



UBAK

26th

INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS



11-12 JULY 2026



ANKARA / TÜRKİYE

FULL TEXT BOOK

TAM METİN KİTABI



www.ubaksymposium.org

Publishing Director / Yayın Yönetmeni

Emel ÇETİNKAYA

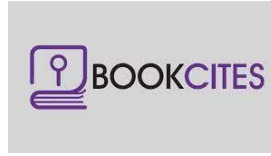
Editor/ Editör

Prof. Dr. Emel ÇETİNKAYA

Cover Design / Kapak Tasarımı

Faruk Karaaslan

Bu kitapta yayınlanan Bildiri Tam metinleri “Bookcites Kitap Atıf Dizini” tarafından taranmaktadır.



ISBN: 978-625-8694-74-1

1st Edition / 1.Baskı: 25 July 2026

BERİKAN YAYINEVİ : Kültür Mah. Kızılırmak Cad. Gonca Apt.
No: 61/6 Çankaya-Kızılay/ANKARA
Tel: (0312) 232 62 18
Fax: (0312) 232 14 99 ANKARA

TAM METİNLER PROCEEDINGS

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

01	MİKROŞERİT ANTENLERİN DÜZLEMSEL MİKRODALGA KAVRAMLARINDAN BİYOMEDİKAL SİSTEMLERE EVRİMİ	5
02	BİYOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA YENİ BİR İNSAN HAKKI: GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKI	14
03	GAZ SENSÖRLERİNİN KORUNMASINDA KULLANILAN ADSORBENT MALZEMELERİN NDIR, PID VE ELEKTROKİMYASAL SENSÖRLER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI LİTERATÜR ANALİZİ	21
04	OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN ÇOCUKLARDA SEMBOLİK OYUN ÖĞRETİMİNDE JASPER TEKNİĞİNİN ETKİLİLİĞİ: BİR META ANALİZ ÇALIŞMASI	30
05	EKRAN TABANLI OYUN SİSTEMLERİNDE FİZİKSEL ERGONOMİ: TARİHSEL ANALİZ VE MODÜLER ERGONOMİK KONSOL (MEK-T) MODEL ÖNERİSİ	39
06	YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA MAHREMİYETİN DÖNÜŞÜMÜ	45
07	DİJİTAL EKOSİSTEMDE ÇAĞDAŞ BESTECİLİK: DİJİTAL TÜKETİM KÜLTÜRÜNÜN ESTETİK YANSIMALARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	51
08	AKSA TUFANI OPERASYONU'NUN ARAP ŞİİRİNDEKİ YANSIMALARI	63
09	ALKALİ HİDROLİZ SONRASI KONVANSİYONEL VE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLYESTER DOKUMA KUMAŞLARIN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ	72
10	EVLİ BİREYLERDE BELİRSİZLİĞE TAHAMMÜLSÜZLÜK: TÜRKİYE'DE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ	81
11	KURUMSAL YÖNETİM VE SAHİPLİK YAPISININ BANKALARIN KREDİ VERME DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: TÜRK MEVDUAT BANKALARINDAN KANITLAR (2013–2023)	88
12	AKILLI ÜRETİM ORTAMLARINDA DİJİTAL İKİZ DESTEKLİ SMED YAKLAŞIMI	96
13	EVLİ BİREYLERDE EŞ UYUMU ÖLÇEĞİ GELİŞTİRME ÖN PSİKOMETRİK ÖZELLİKLERİ ÇALIŞMASI: AÇIMLAYICI FAKTÖR ANALİZİ SONUÇLARI	103
14	DOĞURGANLIK ORANLARINDAKİ DÜŞÜŞ VE İSKANDİNAV REFAH DEVLETLERİNDE DOĞURGANLIK EĞİLİMLERİ: İSVEÇ VE DANIMARKA ÖRNEĞİ (2000–2024)	110
15	MİKROMODAL DOKUMA KUMAŞLARDA İPLİK EĞİRME SİSTEMİ VE ÖN TERBİYE İŞLEMİNİN KUMAŞ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	117
16	TÜRKİYE'DE MÜZİK ARAŞTIRMALARINDA YÖNTEM EĞİLİMLERİ: KONSERVATUVAR LİSANSÜSTÜ TEZLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	124
17	BİLECİK, BURSA VE SAKARYA İLLERİ İSPANAK ÜRETİM ALANLARINDA GÖRÜLEN YABANCI OT TÜRLERİ, YOĞUNLUKLARI VE RASTLANMA SIKLIKLARININ BELİRLENMESİ	135
18	GETİRİ EĞRİSİ ÖNGÖRÜSÜNDE KARMAŞIKLIK KAZANDIRIR MI? GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN PİYASALARDA DİNAMİK NELSON-SİEGEL MODELİ İÇİN TAHMİN STRATEJİLERİ	143
19	ENDÜSTRİYEL SABİT GAZ DEDEKTÖRLERİNDE SENSÖR DRİFT TELAFİSİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI ÇOK TEKNOLOJİLİ FÜZYON MİMARİSİ ÖNERİSİ	150
20	HAVALI DİSK FRENLERDE PİSTON KEÇESİ TASARIMININ SIZDIRMAZLIĞA OLAN ETKİSİ	159
21	POLİKARBONAT MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI	164

ORCID: 0000-0002-3793-6828 | /0000-0001-6756-0668

Mikroşerit Antenlerin Düzlemsel Mikrodalga Kavramlarından Biyomedikal Sistemlere Evrimi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kara¹, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Mutlu¹¹ Ordu Üniversitesi* Corresponding Author: Mustafa KARA
mustafa.kara@odu.edu.tr

ÖZET

Mikroşerit antenler çoğu zaman basit baskılı ışıma elemanları olarak tanıtılır; ancak mühendislik tarihleri daha geniş bir dönüşümü göstermektedir. Düşük profilli mikrodalga yapıları olarak başlamışlar ve zamanla uyumlu diziler, uydu ve navigasyon terminalleri, mobil haberleşme ekipmanları, kablosuz sensör düğümleri, giyilebilir elektronikler ve implant odaklı biyomedikal sistemler için olanak sağlayan bileşenlere dönüşmüşlerdir. Bu makale, söz konusu dönüşümün anlatıma dayalı teknik bir incelemesini sunmaktadır. Çalışma, literatürü yalnızca kronolojik olarak tekrar etmek yerine, mikroşerit anten gelişimini antenin elektronik sistemlerde değişen işlevine göre düzenlemektedir: önce kompakt bir ışıma elemanı, sonra platformla uyumlu bir mikrodalga elemanı, daha sonra bir haberleşme arayüzü ve son olarak vücuda yakın biyomedikal bir bileşen olarak. İnceleme, temel yama-alt tabaka-toprak düzlemi yapılandırmasını, alt tabaka ve besleme tercihlerinin etkisini, minyatürleştirmenin rolünü ve antenin biyolojik dokuya yakın ya da doku içinde çalıştığında ortaya çıkan özel zorlukları tartışmaktadır. Biyomedikal bölüm, ayar bozulması, özgül soğurma oranı, biyouyumluluk ve verimlilik kaybına dikkat ederek giyilebilir izleme, implante edilebilir telemetri, mikrodalga tanı ve terapötik destek üzerine odaklanmaktadır. Bu makalenin temel katkısı, tarihsel dönemleri, tasarım kısıtlarını ve uygulama beklentilerini ilişkilendiren yazar tarafından tanımlanmış bir sınıflandırmadır. İnceleme, modern mikroşerit anten tasarımının artık tek amaçlı bir rezonans problemi olmadığı; elektromanyetik performans, malzeme seçimi, kullanıcı güvenliği, üretim yöntemi ve sistem düzeyinde entegrasyon tarafından şekillendirilen çok kısıtlı bir tasarım görevi olduğu sonucuna varmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit anten, yama anten, biyomedikal anten, giyilebilir sistem, implante edilebilir cihaz, SAR, kablosuz sağlık izleme.

Evolution Of Microstrip Antennas From Planar Microwave Concepts To Biomedical Systems

ABSTRACT

Microstrip antennas are often introduced as simple printed radiators, yet their engineering history shows a broader transformation. They began as low-profile microwave structures and gradually became enabling components for conformal arrays, satellite and navigation terminals, mobile communication equipment, wireless sensor nodes, wearable electronics and implant-oriented biomedical systems. This paper presents a narrative technical review of that transformation. Instead of repeating the literature chronologically only, the study organizes microstrip antenna development according to the changing function of the antenna in electronic systems: first as a compact radiator, then as a platform-compatible microwave element, later as a communication interface, and finally as a body-adjacent biomedical component. The review discusses the basic patch-substrate-ground configuration, the influence of substrate and feeding choices, the role of miniaturization, and the special difficulties that appear when the antenna operates close to or inside biological tissue. The biomedical section focuses on wearable monitoring, implantable telemetry, microwave diagnosis and therapeutic support, with attention to detuning, specific absorption rate, biocompatibility and efficiency loss. The main contribution of this paper is an author-defined classification that links historical periods, design constraints and application expectations. The review concludes that modern microstrip antenna design is no longer a single-objective resonance problem; it is a multi-constraint design task shaped by electromagnetic performance, material selection, user safety, fabrication route and system-level integration.

Keywords: Microstrip antenna, patch antenna, biomedical antenna, wearable system, implantable device, SAR, wireless health monitoring.

1. Introduction

The progress of antenna engineering can be understood as the gradual movement of electromagnetic functions from separate hardware blocks into the surfaces, packages and bodies of electronic systems. In this movement, the microstrip antenna has a particular place. It is not merely a smaller version of a conventional antenna; it is a design approach that allows the radiating element, feeding network and supporting platform to be treated as parts of the same physical structure.

The earliest idea of a microstrip microwave antenna is commonly associated with the 1953 symposium work of Deschamps and Sichak. That early concept did not immediately create a large application field

because suitable materials, fabrication methods and microwave design tools were still developing. A more visible practical stage was reached in the 1970s, especially with conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. Later review studies and textbooks established the design vocabulary that is still used today: patch dimensions, substrate permittivity, feeding configuration, impedance matching, bandwidth, radiation efficiency and pattern control (Deschamps & Sichak, 1953; Munson, 1974; Carver & Mink, 1981; Bahl & Bhartia, 1980; Pozar, 1992). This historical transition from early conceptual work to mature engineering practice is summarized in Figure 1.

The reason for revisiting this topic is that the meaning of “microstrip antenna” has widened. In a classical microwave system, the designer may ask whether the patch resonates at the intended frequency and whether the gain is acceptable. In a wearable or implantable biomedical system, the same question is incomplete. The antenna must also tolerate curvature, proximity to lossy tissue, possible frequency shift, patient movement, encapsulation layers and strict safety limits. Therefore, the historical development of microstrip antennas should be connected with the changing environments in which they operate. As also illustrated in Figure 1, this development path extends from the foundational microwave concept to modern biomedical and body-centric applications.

This paper has been prepared for a multidisciplinary scientific congress and is written as a compact review with an engineering-centered interpretation. The aim is to give a clear route from the invention of the microstrip concept to its present biomedical uses, while avoiding a purely descriptive literature summary. The study therefore introduces a classification framework that relates each application period to its dominant design pressure.

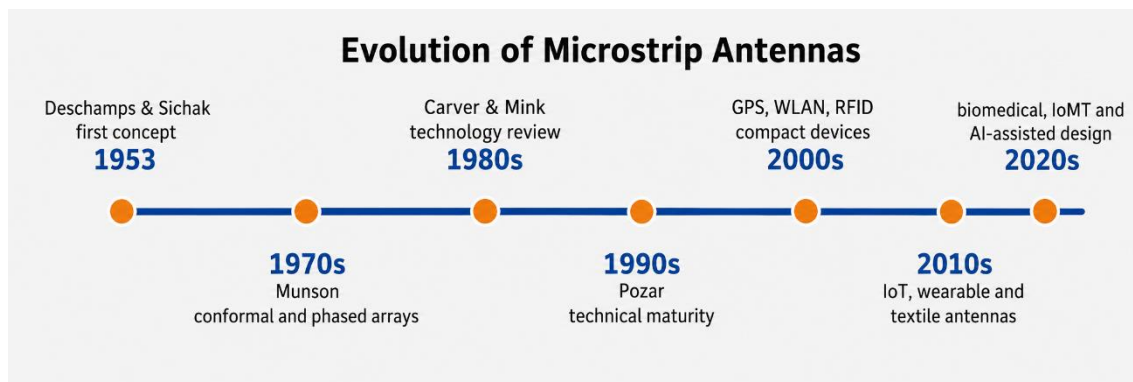


Figure 1. Interpreted development route of microstrip antennas from early concepts to biomedical systems

2. Review Boundaries and Classification Approach

This work is a narrative technical review. It does not report a newly fabricated antenna, a new measurement campaign or a numerical simulation dataset. Its value is in reorganizing established knowledge around a practical question: how did microstrip antennas move from planar microwave concepts to biomedical systems, and which design constraints became more important during that movement?

The classification used here was produced by reading the development of microstrip antennas from the system side rather than from the geometry side. A rectangular patch, circular patch or slot-loaded patch may look different in drawings, but the more important issue for this review is the job assigned to the antenna. In some systems it is a low-profile radiator. In others it is a conformal array element, a compact wireless link, a sensor interface or a biomedical communication bridge. This functional view makes it easier to compare old and new applications without treating them as unrelated topics. The period-based interpretation adopted in this study is summarized in Table 1.

Four interpretation axes were used while preparing the review: historical stage, dominant design aim, operating environment and biomedical relevance. Historical stage separates early concepts from practical arrays, wireless communication applications and body-related systems. Dominant design aim shows whether size, bandwidth, pattern, safety or integration is the primary concern. Operating environment distinguishes free-space, platform-mounted, wearable and implantable conditions. Biomedical relevance identifies the point at which the antenna becomes part of health monitoring, diagnosis or therapy-related

infrastructure. As shown in Table 1, the main design pressure gradually shifts from planar realization and platform compatibility toward body interaction, safety limits and biomedical integration.

Table 1. Author-defined reading of microstrip antenna development

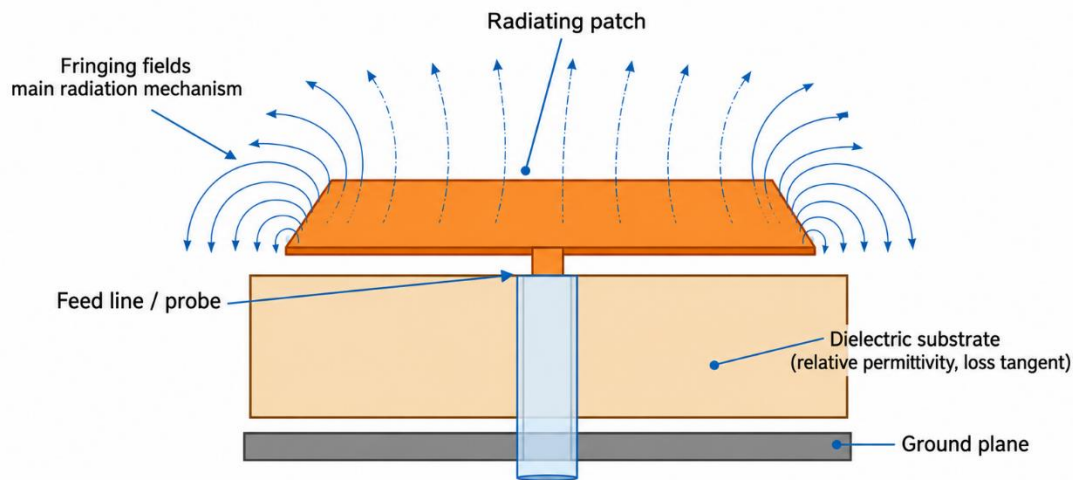
Period	Typical driver	Engineering meaning
1950s-1960s	Planar microwave concepts	The antenna is considered as a printed radiating structure rather than a separate metallic object.
1970s-1980s	Conformal and array systems	Low profile and platform compatibility become important for aerospace, radar and phased-array use.
1990s-2000s	Wireless and navigation terminals	Compact antennas are integrated into mobile, GPS, WLAN, RFID and sensor platforms.
2010s-2020s	Wearable and biomedical electronics	The antenna begins to interact strongly with flexible materials, tissue loading, safety limits and body motion.

3. Design Background of Microstrip Antennas

The basic microstrip antenna is built around a layered structure: a conductive radiating patch on one side of a dielectric substrate and a ground conductor on the other side. Although this description is simple, the electromagnetic behavior is not determined by the patch alone. The substrate controls the effective wavelength, the ground plane changes the radiation condition, and the feed introduces both power transfer and parasitic effects. For that reason, the antenna is better understood as a small electromagnetic system rather than as a single metal plate. The basic structural arrangement of this layered configuration is illustrated in Figure 2.

The most visible design parameter is the patch size, because it fixes the approximate resonant condition. However, the final response depends on several coupled choices. A substrate with higher dielectric constant reduces physical size, but it may trap more energy in the substrate and reduce radiation efficiency. A thicker substrate may improve bandwidth, but surface waves and unwanted radiation can increase. Feeding by a coaxial probe may be convenient in prototypes, whereas a microstrip line is more compatible with planar circuits. Aperture and proximity coupling can improve bandwidth and reduce some feed-related problems, but they usually make fabrication more complex. As indicated in Figure 2, the radiating patch, dielectric substrate, ground plane and feeding structure should therefore be evaluated as mutually interacting parts of the same design.

In practical design, these choices are rarely made one by one. The designer begins with a frequency band and an application requirement, estimates the first dimensions, selects a substrate, chooses a feeding method, simulates the structure, and then adjusts the geometry according to impedance matching, bandwidth, gain, pattern and efficiency. In biomedical designs, this flow must be extended by adding body-equivalent phantoms, tissue-layer models, bending scenarios, encapsulation effects and SAR evaluation. This extension is one of the major differences between classical microstrip design and modern biomedical antenna design.



Basic layers of a rectangular microstrip patch antenna

Figure 2. Basic structure and parameter relations of a rectangular microstrip patch antenna

Microstrip antenna design is controlled by several interdependent variables rather than by a single geometric parameter. Patch geometry, substrate permittivity, substrate thickness, feeding method and ground-plane size all affect the final electromagnetic response of the antenna. The main design variables and their possible benefits and penalties are summarized in Table 2. This relationship is important because an improvement in one performance parameter may create a limitation in another. For example, increasing the dielectric constant of the substrate can reduce antenna size, but it may also decrease radiation efficiency and narrow the useful bandwidth. Similarly, increasing substrate thickness can support wider bandwidth, while also increasing the possibility of surface waves or unwanted radiation.

As shown in Table 2, microstrip antenna design is therefore a trade-off process in which resonance, size, bandwidth, gain, fabrication simplicity and integration requirements must be evaluated together.

Table 2. Design variables and their influence in a microstrip antenna

Variable	Possible benefit	Possible penalty
Patch geometry	Controls resonance, polarization and current distribution.	Complex shapes may complicate tuning and repeatable fabrication.
Substrate permittivity	Can reduce physical size and support compact layouts.	May lower radiation efficiency and narrow useful bandwidth.
Substrate thickness	Can improve bandwidth and impedance flexibility.	May increase surface waves or undesired radiation.
Feeding method	Determines integration with circuits and matching strategy.	Adds mechanical or electromagnetic parasitics if poorly selected.
Ground plane	Stabilizes the reference surface and shields the back side.	Size limitations may distort pattern and matching.

In practical design, these choices are rarely made one by one. The designer begins with a frequency band and an application requirement, estimates the first dimensions, selects a substrate, chooses a feeding method, simulates the structure, and then adjusts the geometry according to impedance matching, bandwidth, gain, pattern and efficiency. This application-oriented design sequence is presented in Figure 3. In biomedical designs, this flow must be extended by adding body-equivalent phantoms, tissue-layer models, bending scenarios, encapsulation effects and SAR evaluation. This extension is one of the major differences between classical microstrip design and modern biomedical antenna design.

As shown in Figure 3, the design process should not end with resonance matching alone; it must continue through simulation, optimization, safety evaluation and validation under the intended operating conditions.

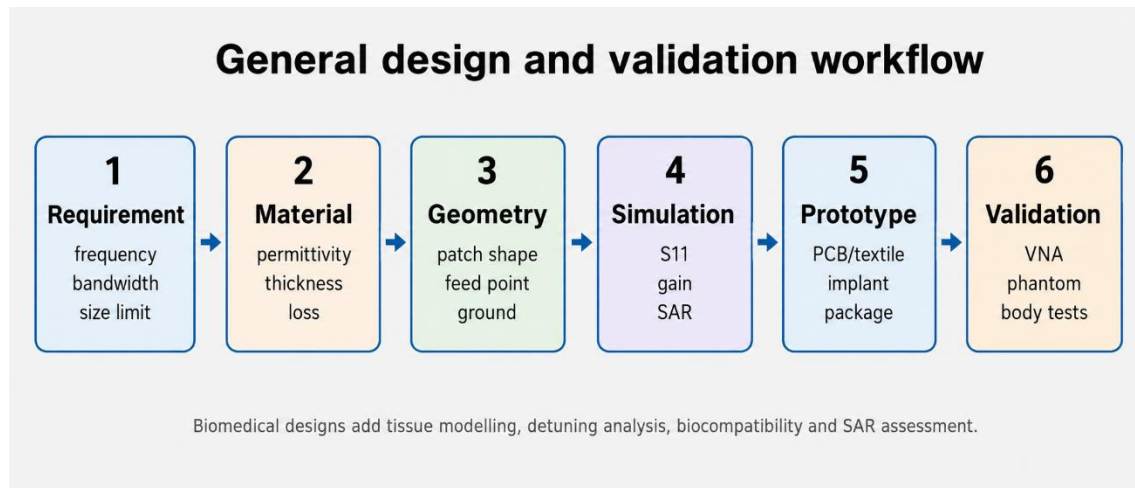


Figure 3. Application-oriented design flow from requirements to validation

4. application routes from communication to biomedical systems

Microstrip antennas first gained attention because they could be mounted on surfaces where wire or aperture antennas were not convenient. Aircraft skins, satellite panels and missile bodies required low-profile radiators that would not disturb the mechanical outline of the platform. In this sense, the early advantage of microstrip technology was not only electrical; it was also mechanical and architectural. The expansion of microstrip antenna use from platform-based communication systems to biomedical technologies is illustrated in Figure 4.

Navigation and communication systems later expanded the use of patch antennas. GPS receivers benefited from compact patches capable of circular polarization. WLAN, RFID and mobile communication devices used printed antennas because they were inexpensive, repeatable and compatible with circuit boards. Radar and phased-array systems used microstrip elements because the feeding network and the radiating elements could be arranged in a planar format. Each field emphasized a different property, but the same general technology remained useful. These application classes and their corresponding antenna expectations are summarized in Table 3.

The biomedical route is a later and more demanding branch. A wearable monitoring patch is affected by clothing, sweat, posture and bending. An implantable antenna is affected by tissue permittivity, tissue conductivity, packaging material and depth from the skin. A microwave imaging antenna must interact with biological contrast without exceeding safety limits. These examples show that the antenna is no longer outside the user; it becomes part of the user-device environment.

As shown in Figure 4 and Table 3, the main design pressure gradually shifts from platform compatibility and compact communication performance toward body interaction, miniaturization, biocompatibility and safety.

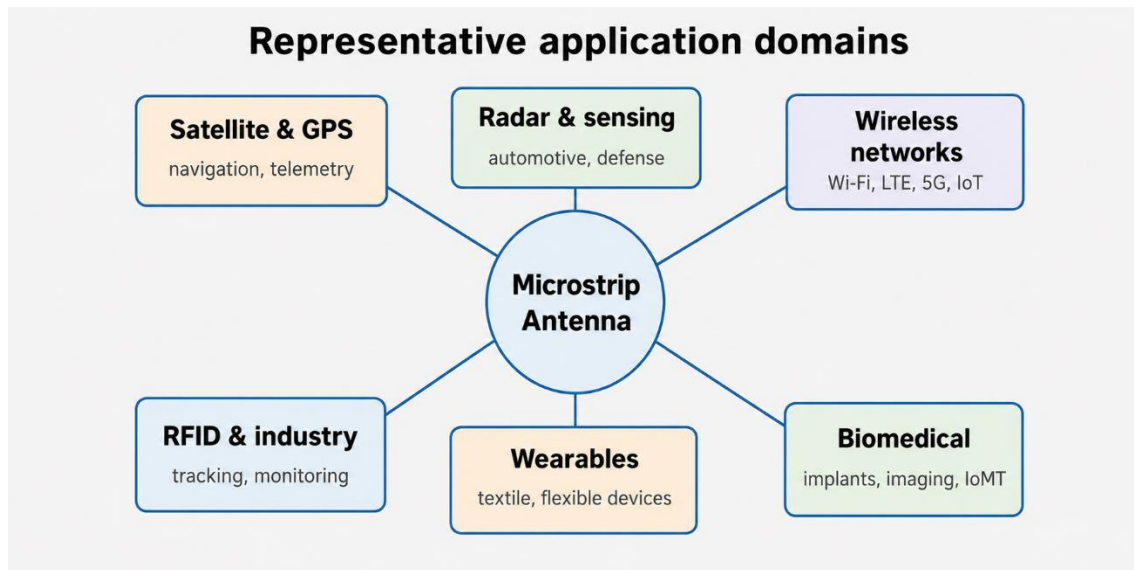


Figure 4. Expansion of microstrip antenna use from communication platforms to biomedical technologies

Table 3. Application classes and antenna expectations

Application class	Typical expectation	Main design pressure
Aerospace and conformal platforms	Low profile, light weight and surface compatibility.	Mechanical integration and pattern stability.
Satellite and navigation terminals	Reliable polarization and stable link behavior.	Polarization purity and environmental tolerance.
Mobile, WLAN, RFID and IoT systems	Compactness, low cost and repeatable production.	Size, bandwidth and integration with electronics.
Wearable medical systems	Operation near the body during daily movement.	Bending, detuning and low SAR.
Implantable medical systems	Communication through lossy biological tissue.	Miniaturization, biocompatibility, power budget and safety.

5. Biomedical Use of Microstrip Antennas

Biomedical microstrip antennas can be grouped into four practical branches: wearable monitoring, implantable telemetry, microwave diagnostic systems and therapy-related support. This grouping is useful because each branch imposes a different combination of electromagnetic and non-electromagnetic requirements. A wearable antenna may be relatively larger than an implantable antenna, but it must survive bending and user motion. An implantable antenna may have a short communication range, but its material, size and SAR behavior are critical. Diagnostic antennas may operate outside the body, but they must provide repeatable interaction with biological tissues. The four biomedical branches and their related design constraints are illustrated in Figure 5.

Wearable antennas are generally used in body-area networks, rehabilitation systems, remote patient monitoring and health-related sensing platforms. In these applications, flexible substrates and textile-compatible conductors are attractive because the antenna may be attached to clothing or directly positioned close to the skin. The challenge is that the antenna environment changes continuously. Distance from the body, curvature, moisture and movement can shift the resonant frequency and change the radiation pattern. As summarized in Table 4, flexibility, user comfort, resonance stability and low SAR are therefore central priorities for wearable biomedical antennas.

Implantable antennas are more constrained because the available volume is small and biological tissue is lossy. Communication is commonly considered in medical implant or industrial-scientific-medical bands, depending on the device purpose and regulatory environment. The antenna must be encapsulated by a biocompatible material and must still provide a usable link through tissue. In this case, successful design cannot be judged only by the free-space S_{11} result. Tissue model validation, safety assessment and link

reliability are equally important. Table 4 also shows that implantable antennas require a different balance of priorities, including miniaturization, tissue communication, encapsulation and biocompatibility.

Microwave diagnosis and therapy-related applications show another side of the same technology. Antenna arrays can be used to illuminate tissue and receive scattered fields for imaging studies, while localized microwave systems may be investigated for controlled heating or treatment support. In such systems, the antenna is part of a measurement or treatment chain. Therefore, calibration, repeatability and patient safety become as important as resonance and gain. As shown in Figure 5 and Table 4, biomedical microstrip antennas should be evaluated not only as radiating elements but also as parts of a wider sensing, communication, diagnosis or therapy-support system.

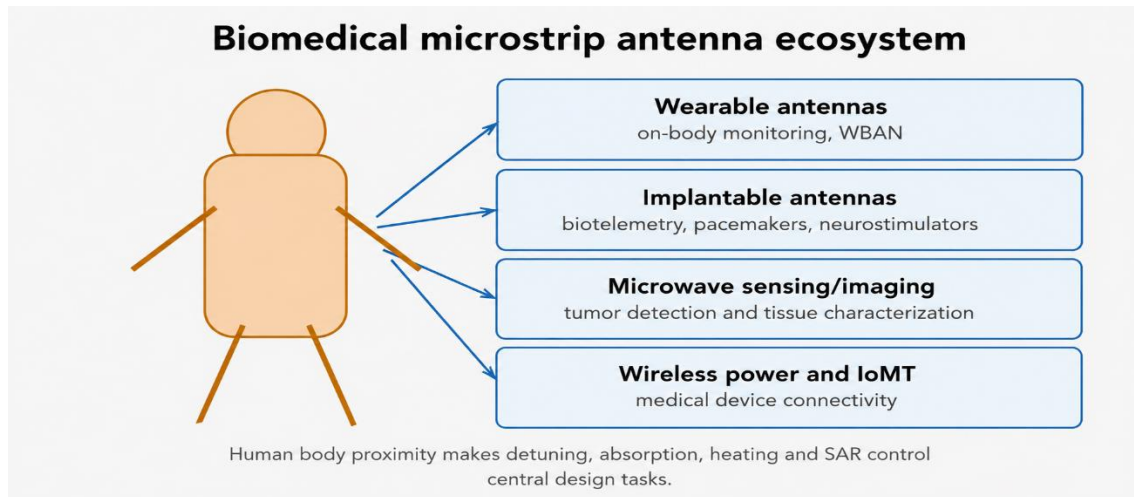


Figure 5. Biomedical branches of microstrip antenna use and related constraints

Table 4. Biomedical microstrip antenna classes and design priorities

Class	Typical use	Priority in design
Wearable antennas	Body-area networks, rehabilitation and remote monitoring.	Flexibility, comfort, stable resonance and low SAR.
Implantable antennas	Biotelemetry, biosensors, pacemakers and neural devices.	Miniaturization, tissue link, encapsulation and biocompatibility.
Diagnostic antennas	Microwave imaging and tissue contrast detection.	Repeatable coupling, sensitivity and safe exposure.
Therapy-related antennas	Localized heating or treatment support studies.	Energy focusing, temperature control and patient protection.

6. Safety, Detuning and Design Trade-offs

The main difference between a biomedical antenna and a conventional communication antenna is the safety boundary. In ordinary free-space communication, poor matching or low efficiency may reduce link quality. In biomedical use, poor design can also increase local absorption or create unreliable operation. Specific absorption rate is therefore a central parameter in body-related radio-frequency assessment, and exposure guidance such as ICNIRP limits is normally considered during the evaluation of RF systems (ICNIRP, 2020). The main design compromises associated with safety, detuning and performance are summarized in Figure 6.

Detuning is another important problem. A microstrip antenna resonates according to the effective dielectric environment around it. When skin, fat, muscle or other tissues are close to the antenna, the effective permittivity and losses change. As a result, the antenna that works correctly in air may shift away from the intended band when it is worn or implanted. Designers respond to this problem by using ground shielding, suitable substrate selection, robust matching, wider bandwidth, encapsulation layers and repeated testing with phantoms or tissue-equivalent models. As illustrated in Figure 6, detuning is not an isolated issue but part of a broader trade-off between stability, efficiency, safety and compactness.

Miniaturization also creates a conflict. Biomedical devices often require very small antennas, but reducing the size usually narrows bandwidth and decreases radiation efficiency. Increasing dielectric constant can shrink the antenna, but it may increase stored energy and losses. Adding slots, shorting pins, meanders or metamaterial-inspired loading can help compactness, yet these changes may make the antenna more sensitive to fabrication tolerances. For this reason, biomedical microstrip design is best treated as a balanced optimization problem rather than a search for a single maximum performance value. Figure 6 highlights this balance by showing that improvements in one design objective often introduce penalties in another.

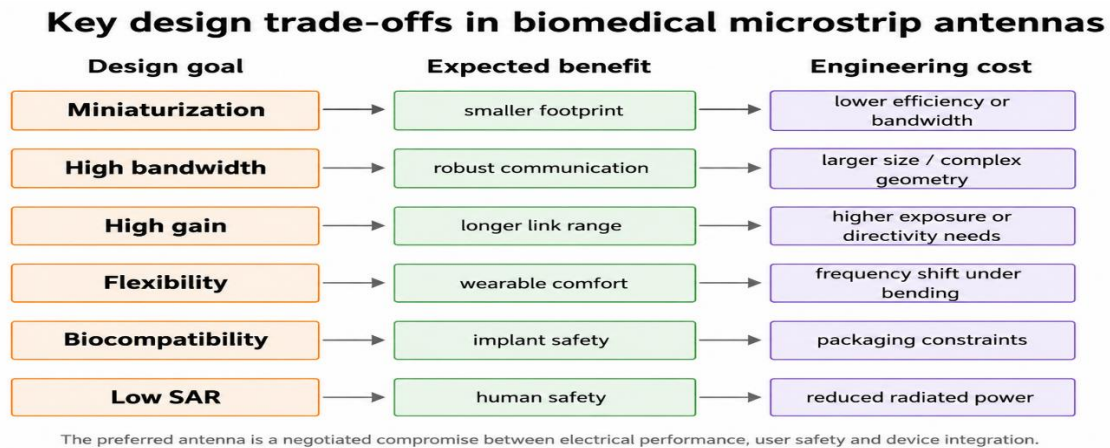


Figure 6. Main trade-offs in biomedical microstrip antenna design

7. Discussion

The development path examined in this paper suggests that microstrip antennas should not be described only as low-profile antennas. That description is correct, but insufficient. Their long-term importance comes from the way they follow the packaging logic of electronic systems. When systems became planar, antennas became printed. When systems became mobile, antennas became compact. When systems approached the body, antennas had to become flexible, safe and tolerant of tissue loading.

The author-defined classification also shows why biomedical microstrip antennas require multidisciplinary interpretation. Electrical engineering provides the electromagnetic model, but it cannot solve the entire problem alone. Materials science is needed for flexible and biocompatible substrates. Biomedical engineering is needed for realistic tissue models and patient-device interaction. Regulatory knowledge is needed for exposure and medical-device communication limits. A design that is successful in only one of these dimensions may still be unsuitable for practical biomedical use.

Another point is the limitation of purely numerical comparison. In many papers, antennas are compared by resonance frequency, return loss, bandwidth and gain. These parameters are necessary, but they do not explain whether the antenna is comfortable, repeatable, safe or robust under movement. For wearable and implantable systems, future comparisons should include detuning under realistic scenarios, SAR distribution, link budget, manufacturing repeatability, encapsulation influence and long-term material behavior.

This review is limited by its narrative scope. It does not attempt to rank all published antenna geometries or to select a universally best design. Such a ranking would be misleading because the correct antenna depends on the medical task, position on or in the body, frequency band, device volume, available power and safety requirement. The more useful outcome is the classification framework itself, which can help researchers position their own microstrip antenna studies within a clearer development route.

8. Conclusion and Discussion

This paper reviewed the evolution of microstrip antennas from early planar microwave concepts to current biomedical applications. The discussion showed that the technology developed through several overlapping stages: conceptual planar radiation, conformal and phased-array use, wireless communication integration,

and body-related biomedical systems. Across these stages, the dominant design pressure changed from mechanical profile and manufacturability to multi-constraint operation near or inside the human body.

The central conclusion is that modern microstrip antenna design has become a system-level problem. In classical applications, resonance frequency, impedance matching, gain and bandwidth are the primary indicators of success. In biomedical applications, these indicators must be evaluated together with SAR, detuning, tissue loading, biocompatibility, flexibility, encapsulation and user safety. This broader design environment explains why microstrip antennas remain important more than half a century after their early proposal.

For future studies, three directions appear particularly important. First, biomedical antenna papers should report testing conditions in a way that allows comparison across studies. Second, wearable antennas should be evaluated under bending, moisture and body-proximity scenarios rather than only in flat free-space conditions. Third, implantable antenna studies should connect miniaturization results with realistic link and safety analyses. These directions can move the field from geometry-oriented reporting toward application-ready biomedical antenna engineering.

References

- Arora, G., Singh, A. K., & Sharma, S. K. (2020). Systemic overview of microstrip patch antenna's for different biomedical applications. *Journal of Healthcare Engineering*.
- Bahl, I. J., & Bhartia, P. (1980). *Microstrip Antennas*. Dedham, MA: Artech House.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Bernhard, J. T., Mayes, P. E., Schaubert, D., & Mailloux, R. J. (2003). A commemoration of Deschamps and Sichak's Microstrip Microwave Antennas: 50 years of development, divergence, and new directions. *Antenna Applications Symposium*, Monticello, IL, USA.
- Carver, K. R., & Mink, J. W. (1981). Microstrip antenna technology. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 29(1), 2-24. <https://doi.org/10.1109/TAP.1981.1142523>
- Deschamps, G. A., & Sichak, W. (1953). Microstrip microwave antennas. *Third Symposium on the USAF Antenna Research and Development Program*, Monticello, IL, USA.
- ETSI. (2016). Ultra Low Power Active Medical Implants operating in the frequency range 402 MHz to 405 MHz. ETSI EN 301 839.
- Federal Communications Commission. (1999). Establishment of a Medical Implant Communications Service in the 402-405 MHz band. *Federal Register*.
- Federal Communications Commission. (n.d.). Medical Device Radiocommunications Service. FCC.
- ICNIRP. (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), 483-524.
- Mohan, A., & Kumar, N. (2024). Implantable antennas for biomedical applications: A systematic review. *BioMedical Engineering OnLine*, 23, 87. <https://doi.org/10.1186/s12938-024-01277-1>
- Munson, R. E. (1974). Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 22(1), 74-78. <https://doi.org/10.1109/TAP.1974.1140723>
- Pozar, D. M. (1992). Microstrip antennas. *Proceedings of the IEEE*, 80(1), 79-91. <https://doi.org/10.1109/5.119568>
- Venkatachalam, D., et al. (2023). Compact flexible planar antennas for biomedical applications: Insight into materials and systems design. *Bioengineering*, 10, 1137. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10101137>

ORCID: 0000-0003-0710-8375 / 0009-0007-9955-4327

Biyoteknoloji Çağında Yeni Bir İnsan Hakkı: Genetik Bütünlük Hakkı

Prof. Dr. Zehra Gönül BALKIR¹, Dr. Öğr. Üyesi Ecem KOCAOĞLAN²

¹ Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, Girne KKTC / gonulbalkir@yahoo.com,

² Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, Girne KKTC / ecemkocaoglan@cau.edu.tr

* Corresponding Author: Zehra Gönül BALKIR
gonulbalkir@yahoo.com

ÖZET

Gen düzenleme teknolojileri, genom dizileme yöntemleri ve biyoteknolojik müdahalelerin hızla gelişmesi, insan bedenine ilişkin klasik hak anlayışının yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Gen düzenleme teknikleri, kalıtsal hastalıkların tedavisi bakımından önemli fırsatlar sunarken, insan genomunun değiştirilmesi ve gelecek kuşakların genetik özelliklerinin belirlenebilmesi gibi ciddi etik ve hukuki sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu çalışma, mevcut insan hakları sisteminin genetik müdahaleler karşısında yeterli koruma sağlayıp sağlamadığını sorgulamakta ve genetik bütünlük hakkının bağımsız bir insan hakkı olarak tanınması gerektiğini ileri sürmektedir. Çalışmamızda insan onuru, bedensel özerklik, biyolojik kimlik ve gelecek kuşakların hakları birlikte değerlendirilerek, genetik bütünlüğün yalnızca bireysel değil aynı zamanda insanlığın ortak biyolojik mirası olarak korunması gerektiği savunulmakta ve biyoteknoloji çağında genetik bütünlük hakkının yeni nesil insan hakları arasında değerlendirilmesine yönelik kuramsal bir hukuk modeli önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Genetik bütünlük hakkı, biyoteknoloji, gen düzenleme, insan hakları

ABSTRACT

The rapid development of gene-editing technologies, genome sequencing methods, and biotechnological interventions necessitates a reassessment of the classical understanding of human rights concerning the human body. While gene-editing techniques offer significant opportunities for the treatment of hereditary diseases, they also give rise to serious ethical and legal challenges, including the modification of the human genome and the possibility of determining the genetic characteristics of future generations.

This study examines whether the existing human rights framework provides adequate protection against genetic interventions and argues that the right to genetic integrity should be recognized as an independent human right. It evaluates human dignity, bodily autonomy, biological identity, and the rights of future generations within a unified framework, arguing that genetic integrity should be protected not only as an individual interest but also as part of the common biological heritage of humanity. Accordingly, the study proposes a theoretical legal model for recognizing the right to genetic integrity as one of the emerging new-generation human rights in the age of biotechnology.

Keywords: Right to genetic integrity, biotechnology, gene editing, human rights.

1. GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyıl, biyoteknoloji alanında yaşanan gelişmelerin insan yaşamını köklü biçimde dönüştürdüğü yeni bir dönemin başlangıcını ifade etmektedir. Genom dizileme teknolojilerinin hız kazanması, gen düzenleme yöntemlerinin klinik uygulamalara yaklaşması, kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının yaygınlaşması ve sentetik biyoloji alanındaki ilerlemeler, insan bedenine yönelik müdahalelerin kapsamını tarih boyunca görülmemiş ölçüde genişletmiştir. Özellikle CRISPR-Cas9 gibi hassas gen düzenleme tekniklerinin geliştirilmesi, yalnızca kalıtsal hastalıkların tedavisine ilişkin umutları artırmamış; aynı zamanda insan genomunun değiştirilmesi, genetik özelliklerin seçilmesi ve gelecek kuşakların biyolojik yapısının belirlenebilmesi gibi çok daha kapsamlı hukukî ve etik tartışmaları da beraberinde getirmiştir.

İnsan genomu, bireyin yalnızca biyolojik özelliklerini belirleyen teknik bir veri dizisi değildir. Genetik yapı; bireyin fiziksel gelişimini, bazı hastalıklara yatkınlığını, biyolojik özelliklerini ve nesiller arasındaki kalıtsal devamlılığı sağlayan temel yapıdır. Bu nedenle genom üzerinde gerçekleştirilen müdahaleler yalnızca tıbbi işlem niteliğinde değerlendirilemez (WHO, 2021). Aynı zamanda insanın biyolojik kimliği üzerinde gerçekleştirilen hukukî sonuç doğuran müdahaleler olarak görülmelidir.

Nitekim UNESCO İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, insan genomunu insanlığın ortak mirası olarak tanımlayarak bu biyolojik yapının yalnızca bireysel değil evrensel bir değer taşıdığını kabul etmektedir (UNESCO, 1997). Bu yaklaşım, genetik korumanın yalnızca bireysel hak ekseninde değil, kolektif insanlık değeri olarak da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Genetik müdahalelerin ortaya çıkardığı sorun yalnızca bireysel hak ihlalleri değildir. Aynı zamanda toplumsal eşitsizliklerin derinleşmesi, genetik ayrımcılık, tasarlanmış insan üretimi, biyolojik üstünlük iddiaları ve yeni öjeni biçimlerinin ortaya çıkma ihtimalidir.

Genetik bütünlüğün korunması, mevcut insan haklarındaki koruma kapsamıyla yeterli değildir. Genetik bilimindeki hızlı gelişmeler sayesinde insan sağlığı ile ilgili pek çok olumlu gelişme sağlansa da genetik biliminin her geçen gün daha fazla hayatımıza dâhil olması ve genetik bilgiler, yaşamımıza olumsuz açıdan da etki edebilir (Taşdemir, 2020: 947).

Genetik müdahalelerin kapsamı dikkate alındığında, genetik bütünlük bağımsız bir insan hakkı olarak ele alınmalıdır. Bu hak yalnızca bireyin mevcut genetik yapısını değil; biyolojik kimliğini, kalıtsal devamlılığını, gelecek kuşakların genetik menfaatlerini ve insanlığın ortak genetik mirasını birlikte koruyan yeni nesil bir insan hakkı niteliği taşımaktadır. Genetik bütünlük hakkı, klasik bedensel bütünlük hakkının genişletilmiş biçimi olmaktan ziyade, biyoteknoloji çağının ortaya çıkardığı yeni koruma ihtiyacına cevap veren özgün bir hukukî kategori olarak değerlendirilebilir.

Çalışmamızda son olarak ise genetik bütünlük hakkının bağımsız bir insan hakkı olarak kabul edilmesini mümkün kılan kuramsal çerçeve ortaya konulacaktır. Böylece biyoteknoloji çağında hukukun yalnızca insan bedenini değil, insanın biyolojik geleceğini de koruyan yeni bir insan hakları anlayışına yönelmesi gerektiği savunulacaktır.

2. BİYOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA İNSAN HAKLARININ DÖNÜŞÜMÜ

İnsan haklarının tarihsel gelişimi incelendiğinde, her hak kategorisinin belirli toplumsal dönüşümlerin ürünü olduğu görülmektedir. Klasik özgürlük hakları mutlak monarşilere karşı bireyin korunması ihtiyacından doğmuş; sosyal haklar sanayi devriminin yarattığı ekonomik eşitsizliklere cevap vermiş; dayanışma hakları ise çevre sorunları, barış ve sürdürülebilir kalkınma gibi küresel problemlerin etkisiyle gelişmiştir (Beyleveld & Brownsword:2001).

İnsan hakları sistemi statik değil, toplumsal ve teknolojik değişimlere bağlı olarak sürekli genişleyen dinamik bir yapıya sahiptir (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine], 2017:15). Günümüzde biyoteknoloji alanında yaşanan gelişmeler de insan haklarının yeni bir dönüşüm sürecine girdiğini göstermektedir.

Özellikle moleküler biyoloji, genom bilimi, sentetik biyoloji, yapay zekâ destekli biyoinformatik sistemleri ve gen düzenleme teknolojileri, insan yaşamına ilişkin kararların kapsamını önemli ölçüde değiştirmiştir. İnsan artık yalnızca biyolojik olarak incelenen bir varlık değil; genetik verileri analiz edilen, biyolojik özellikleri öngörülebilir ve belirli ölçüde biyolojik yapısı değiştirilebilir bir özne hâline gelmiştir. Böylece hukuk, ilk kez insanın biyolojik varlığının en temel yapı taşlarından biri olan genom üzerinde gerçekleştirilen müdahaleleri düzenlemek durumunda kalmaktadır.

Bu gelişmelerin insan hakları bakımından ortaya çıkardığı en önemli sonuçlardan biri, koruma anlayışının fiziksel bedenden biyolojik bilgiye doğru genişlemesidir. Klasik hukuk düzenleri bireyin yaşamını, bedenini ve özgürlüğünü korumaya odaklanırken, günümüzde bireyin genetik verileri de korunması gereken temel hukukî değerler arasında kabul edilmektedir. Genetik bilgiler, kişinin yalnızca mevcut sağlık durumunu değil; gelecekte karşılaşılabileceği hastalık risklerini, biyolojik akrabalarını ve hatta gelecek nesiller üzerinde etkili olabilecek kalıtsal özelliklerini de ortaya koyabilmektedir. Bu nedenle genetik bilgi, sıradan bir kişisel veri olarak değerlendirilemeyecek kadar kapsamlı sonuçlar doğurmaktadır.

3. GENETİK MÜDAHALELERİN HUKUKİ VE ETİK BOYUTU

Biyoteknoloji alanındaki gelişmelerin hukuk bakımından en önemli sonucu, insan bedenine yönelik müdahalelerin niteliğinin değişmesidir. Geçmişte tıbbi müdahaleler büyük ölçüde mevcut hastalıkların tedavisine yönelik olarak gerçekleştirilirken, günümüzde biyoteknolojik yöntemler bireyin henüz ortaya çıkmamış biyolojik özelliklerinin değiştirilmesine, genetik hastalıkların önlenmesine ve hatta belirli genetik niteliklerin seçilmesine imkân tanımaktadır (Doudna & Sternberg, 2017:35).

Müdahalenin konusu artık sadece hastalık olmayıp, doğrudan insan genomu hâline gelmektedir. Hukuk açısından bu değişim, yalnızca yeni bir tıbbi uygulama alanı değil, insanın biyolojik varlığının hangi sınırlar içerisinde değiştirilebileceğine ilişkin temel bir meşruiyet sorunu ortaya çıkarmaktadır.

Genetik müdahalelerin hukuki değerlendirilmesinde ilk ayırım, somatik hücre müdahaleleri ile germ hattı (germline) müdahaleleri arasında yapılmaktadır. Somatik hücrelere yönelik gen düzenlemeleri yalnızca ilgili bireyin hücrelerini etkilemekte ve sonraki kuşaklara aktarılmamaktadır. Buna karşılık sperm, yumurta veya embriyo üzerinde gerçekleştirilen germ hattı müdahaleleri kalıtsal özellik taşıdığı için doğacak çocukları ve onları takip eden nesilleri de etkileyebilmektedir. Bu ayırım yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda hukuki sonuçlar bakımından da belirleyicidir.

Somatik gen tedavileri çoğunlukla tedavi edici tıbbi müdahale niteliğinde değerlendirilmektedir. Burada temel amaç, genetik hastalıkların ortadan kaldırılması veya bireyin sağlık durumunun iyileştirilmesidir. Bu nedenle somatik müdahaleler, hasta hakları, bilgilendirilmiş rıza ve tıbbi gereklilik ilkeleri çerçevesinde değerlendirildiğinde klasik tıp hukukunun sınırları içerisinde açıklanabilmektedir.

Buna karşılık germ hattı müdahaleleri yalnızca mevcut bireyin tedavisini değil, henüz var olmayan bireylerin biyolojik özelliklerini de belirlediği için çok daha karmaşık hukukî ve etik sorunlar doğurmaktadır.

Gerçekten de germ hattına yönelik müdahalelerde karar veren kişiler ile bu kararın sonuçlarına katlanacak kişiler aynı değildir. Müdahale kararını ebeveynler, araştırmacılar veya sağlık kuruluşları vermekte; buna karşılık değiştirilen genetik yapıyla yaşayacak olan birey henüz dünyaya gelmemiş bulunmaktadır. Bu durum, modern hukukta temel kabul edilen özerklik ilkesinin uygulanabilirliğini ciddi biçimde tartışmalı hâle getirmektedir. Çünkü bilgilendirilmiş rıza ancak irade açıklayabilen kişiler bakımından anlamlıdır. Henüz doğmamış bireyler bakımından ise böyle bir iradeden söz etmek mümkün değildir.

Genetik müdahalelerin meşruiyeti yalnızca bireysel rızaya dayandırılmaz. Müdahalenin toplum üzerindeki etkileri, gelecek kuşaklar bakımından doğuracağı sonuçlar ve insanlığın ortak biyolojik mirası üzerindeki etkileri de değerlendirilmek zorundadır (Jonas, 1984:11). Genetik müdahaleler, bireysel tıp hukukunun sınırlarını aşarak biyohukukun kolektif sorumluluk alanına girmektedir. Bu gelişme, hukuk tarihinde yeni bir eşitsizlik biçimini de gündeme getirmektedir.

Klasik eşitsizlikler ekonomik veya sosyal imkân farklılıklarından kaynaklanırken, biyoteknoloji çağında genetik avantajların ekonomik güç yoluyla elde edilmesi mümkün hâle gelebilir. Eğer belirli genetik özellikler yalnızca ekonomik olarak güçlü kesimler tarafından satın alınabilir hâle gelirse, biyolojik eşitsizlikler kalıcı toplumsal sınıflara dönüşebilir. Bu nedenle genetik müdahalelerin hukuki sınırları yalnızca bireysel özgürlüğün değil, sosyal adalet ilkesinin de konusudur.

Genetik müdahalelerin etik boyutunda öne çıkan bir diğer mesele ise gelecek kuşaklara karşı sorumluluk ilkesidir. Geleneksel hukuk büyük ölçüde yaşayan bireyler arasındaki ilişkileri düzenlemektedir. Oysa genetik müdahaleler henüz doğmamış bireylerin yaşam koşullarını doğrudan etkileyebilmektedir. Böylece hukuk ilk kez gelecekte yaşayacak insanların biyolojik haklarını da dikkate almak zorunda kalmaktadır. Genetik bütünlük hakkı, zamansal olarak yalnızca bugünkü bireyleri değil, gelecekteki insan topluluklarını da kapsayan geniş bir koruma alanına sahiptir.

Uluslararası hukukta da bu yaklaşım giderek güçlenmektedir. Özellikle İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi (Oviedo Sözleşmesi), insan genomunu değiştirmeye yönelik müdahalelere önemli sınırlamalar getirmektedir. Sözleşmenin 13. maddesine göre insan genomunu değiştirmeye yönelik müdahaleler ancak önleme, teşhis veya tedavi amacıyla yapılabilir ve bu müdahalelerin sonraki kuşakların genomunu değiştirmesi amaçlanamaz. Bu düzenleme, uluslararası hukukun kalıtsal gen düzenlemelerine ihtiyatlı yaklaşımını göstermektedir.

Benzer şekilde UNESCO'nun İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi de insan genomunun insanlığın ortak mirası niteliğine vurgu yapmakta ve insan onurunun genetik araştırmalar karşısında korunması gerektiğini kabul etmektedir. Bununla birlikte mevcut uluslararası belgeler daha çok etik ilkeleri ortaya koymakta; genetik bütünlüğü bağımsız bir temel hak olarak tanımlamamaktadır (UNESCO, 1997).

Mevcut hukuki boşluk tam da burada ortaya çıkmaktadır. Burada problem, yalnızca belirli biyoteknolojik uygulamaların sınırlandırılması değildir. Asıl sorun, hukukun koruduğu değerlerin açık biçimde tanımlanmamış olmasıdır. Bugün hukuk, genetik müdahaleleri dolaylı olarak insan onuru, özel hayat, beden

bütünlüğü veya sağlık hakkı üzerinden denetlenmektedir. Oysa bu hakların hiçbirisi doğrudan insanın genetik yapısını koruma amacıyla oluşturulmamıştır. Bu nedenle genetik müdahaleler karşısında parçalı bir koruma sistemi ortaya çıkmaktadır.

4. GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKININ BAĞIMSIZ BİR İNSAN HAKKI OLARAK TEMELLENDİRİLMESİ

İnsan hakları teorisinin gelişim süreci incelendiğinde, yeni bir temel hakkın ortaya çıkmasının rastlantısal olmadığı görülmektedir. Her yeni hak, mevcut hak kategorilerinin toplumsal dönüşümleri açıklamakta yetersiz kaldığı dönemlerde ortaya çıkmıştır. Örneğin özel hayatın korunması hakkı, teknolojik gözetim araçlarının gelişmesiyle birlikte klasik özgürlük haklarının yeterli olmaması nedeniyle bağımsız bir hak olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde çevre hakkı da yaşam hakkının doğal bir uzantısı olarak görülmemiş; çevresel bozulmanın kendine özgü nitelikleri nedeniyle ayrı bir insan hakkı olarak gelişmiştir. Aynı tarihsel mantık bugün biyoteknoloji alanında da kendisini göstermektedir. Genetik müdahalelerin ulaştığı düzey, mevcut insan hakları kategorilerinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bugün genetik müdahaleler çoğunlukla yaşam hakkı, beden bütünlüğü, özel hayatın korunması, kişisel verilerin korunması, sağlık hakkı ve insan onuru ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmektedir (Habermas, 2003:21). Kuşkusuz bu hakların her biri genetik teknolojiler bakımından belirli ölçüde koruma sağlamaktadır. Ancak bu koruma dolaylı ve parçalı bir nitelik taşımaktadır. Hiçbirisi doğrudan insanın genetik yapısını koruma amacıyla oluşturulmuş değildir. Bunun sonucu olarak genetik müdahaleler karşısında normatif koruma farklı hak kategorilerine dağılmakta ve sistematik bir bütünlük sağlanamamaktadır.

Örneğin beden bütünlüğü hakkı esas itibarıyla mevcut fiziksel organizmaya yönelik müdahaleleri konu edinmektedir. Ameliyatlar, organ nakilleri, tıbbi deneyler veya fiziksel zor kullanımı bu hakkın klasik uygulama alanlarını oluşturmaktadır (Andorno, 2009:223).. Buna karşılık genetik müdahaleler yalnızca mevcut bedeni etkilemez; bireyin biyolojik gelişim sürecini ve gelecekteki genetik özelliklerini de değiştirebileceği için, beden bütünlüğü hakkının koruduğu hukuki değer ile genetik bütünlüğün koruduğu değer tam anlamıyla örtüşmemektedir.

Benzer şekilde özel hayatın gizliliği hakkı da genetik teknolojiler bakımından önemli koruma sağlamaktadır. Özellikle genetik verilerin izinsiz elde edilmesi, paylaşılması veya ticari amaçlarla kullanılması özel hayatın ihlali olarak değerlendirilebilir. Ancak burada korunan değer genetik bilginin gizliliğidir; genetik yapının kendisi değildir. Özel hayat hakkı, genomun değiştirilmesini değil, genetik bilginin hukuka aykırı kullanılmasını önlemektedir. Bu nedenle genetik bütünlüğün maddi boyutu bakımından yeterli koruma sağlamamaktadır.

Sağlık hakkı bakımından da benzer bir durum söz konusudur. Sağlık hakkı bireyin mümkün olan en yüksek sağlık düzeyine ulaşmasını amaçlar ve genetik tedavileri bu kapsamda destekleyebilir. Fakat sağlık hakkının amacı biyolojik kimliği korumak değildir. Hatta bazı durumlarda sağlık hakkı ile genetik bütünlüğün korunması arasında çatışmalar ortaya çıkabilir. Örneğin ciddi bir genetik hastalığın tedavisi amacıyla gerçekleştirilen müdahaleler sağlık hakkını güçlendirirken, aynı zamanda genom üzerinde değişiklik yapılmasını da gerektirebilir. Sağlık hakkı ile genetik bütünlük hakkı birbirini dışlayan değil, farklı koruma alanlarına sahip iki ayrı temel haktır (Council of Europe, 1997).

5. TÜRK HUKUKU VE ULUSLARARASI HUKUK AÇISINDAN GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Genetik bütünlük hakkının bağımsız bir insan hakkı olarak ileri sürülebilmesi, yalnızca kuramsal temellendirmeye değil, aynı zamanda mevcut hukuk düzenleri içerisindeki normatif dayanakların ortaya konulmasına da bağlıdır. Her ne kadar ulusal ve uluslararası hukukta genetik bütünlük hakkı adıyla açıkça tanımlanmış bağımsız bir temel hak henüz bulunmamaktadır. Kişinin genetik korunması ve genetik bilgileri pozitif hukukumuzda kişinin özel ve gizlilik alanında korunması başlığı altında yer alır (Gürbüz, 2011: 113).

Hukuki düzenlemeler ve çeşitli anayasal ilkeler, uluslararası sözleşmeler ve biyohukuk belgeleri, bu hakkın gelişimine imkân sağlayabilecek önemli normatif unsurlar içermektedir. Mevcut pozitif hukuk düzenlerinin genetik bütünlük hakkına, ne ölçüde zemin hazırladığı ayrıca incelenmek zorundadır.

5.1. Uluslararası Hukukta Genetik Korumanın Normatif Temelleri

Biyoteknoloji alanındaki gelişmeler karşısında uluslararası toplumun ilk kapsamlı düzenlemeleri, 1990'lı yılların sonlarından itibaren ortaya çıkmıştır. İnsan genomunun çözümlenmesine yönelik çalışmaların hız kazanmasıyla birlikte uluslararası kuruluşlar, bilimsel ilerlemenin insan onurunu zedelemeyecek şekilde yürütülmesi gerektiğini kabul etmişlerdir.

Bu kapsamda en önemli belgelerden biri, UNESCO İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesidir (UNESCO, 1997). Bildirge, insan genomunun insanlığın ortak mirası olduğunu ifade ederek genetik yapının yalnızca bireysel değil, aynı zamanda evrensel bir değer taşıdığını kabul etmektedir. Bildirgenin temel yaklaşımı, bilimsel araştırmaların teşvik edilmesi ile insan onurunun korunması arasında denge kurulması gerektiği düşüncesine dayanmaktadır.

Bildirge, özellikle üç temel ilkeyi ön plana çıkarmaktadır. Birincisi, insan genomunun ekonomik çıkarların konusu hâline getirilmemesi gerektiğidir. İkincisi, genetik ayrımcılığın yasaklanmasıdır. Üçüncüsü ise insan onurunun bütün genetik araştırmaların üzerinde yer alan üstün bir ilke olduğudur. Bu ilkeler, genetik bütünlük hakkının normatif altyapısını oluşturan önemli dayanaklar arasında yer almaktadır. Ancak Bildirge dikkatle incelendiğinde önemli bir eksiklik de görülmektedir. Korunan değer açık biçimde tanımlanmamıştır. İnsan genomunun korunmasından söz edilmekte; fakat bunun bağımsız bir temel hak niteliği taşıdığı açıkça ifade edilemediğinden, koruma daha çok etik ilkelere dayandırılmaktadır.

Genetik bilginin kötüye kullanımının önüne geçilmesinde uluslararası hukukta genetik ayrımcılık yasağı ile ilgili düzenlemeler kural altına alınmış hatta ülkemiz de konu ile ilgili en önemli uluslararası sözleşme olan Biyoloji ve Tıbbın Uygulanması Bakımından İnsan Hakları ve İnsan Haysiyetinin Korunması Sözleşmesi: İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi'ni imzalayarak, iç hukukumuzda dâhil etmiştir (Taşdemir, 2020: 947).

İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi (Oviedo Sözleşmesi) de biyoteknolojik müdahalelere ilişkin önemli sınırlamalar getirmektedir. Özellikle Sözleşmenin 13. maddesi, insan genomuna yönelik müdahalelerin yalnızca önleme, teşhis veya tedavi amacıyla yapılabileceğini, bu müdahalelerin gelecek kuşakların genomunu değiştirme amacı taşıyamayacağını hükme bağlamaktadır. Çok önemli olan bu düzenleme de uluslararası hukuk, ilk kez kalıtsal genetik müdahaleleri doğrudan sınırlandırmaktadır. Ancak, yine de yasağın dayandığı hukukî değer açık biçimde tanımlanmamıştır. Hukuk müdahaleyi sınırlandırmaktadır; fakat neden sınırlandırdığı konusunda bağımsız bir hak teorisi geliştirmemektedir. Bu eksiklik, genetik bütünlük hakkı kavramıyla giderilebilir.

Zira uluslararası toplum biyoteknolojik gelişmeleri bütünüyle yasaklamamakta ve insanın biyolojik varlığını koruyacak normatif sınırları oluşturmaya çalışmaktadır. Bu nedenle genetik bütünlük hakkı mevcut uluslararası hukuk sistemine yabancı bir öneri değildir. Mevcut ilkelerin sistematik biçimde yeniden yorumlanmasını sağlayacak kavramsal bir çerçevedir. Öte yandan genetik bilginin kötüye kullanımının önüne geçilmesinde uluslararası hukukta genetik ayrımcılık yasağı ile ilgili düzenlemeler kural altına alınmış hatta ülkemiz de konu ile ilgili en önemli uluslararası sözleşme olan Biyoloji ve Tıbbın Uygulanması Bakımından İnsan Hakları ve İnsan Haysiyetinin Korunması Sözleşmesi: İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi'ni imzalayarak, iç hukukumuzda dâhil etmiştir (Taşdemir, 2020: 947).

5.2. Türk Hukuku Açısından Genetik Bütünlük Hakkı

Türk hukukunda genetik bütünlüğün bağımsız bir temel hak olarak düzenlendiği söylenemez. Bununla birlikte Anayasa ve çeşitli kanun hükümleri genetik bütünlüğün korunmasına dolaylı biçimde hizmet eden önemli güvenceler içermektedir.

Öncelikle Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 17. maddesi, herkesin yaşama, maddi ve manevi varlığını koruma ve geliştirme hakkına sahip olduğunu düzenlemektedir. Aynı maddede kişinin vücut bütünlüğüne dokunulamayacağı ve tıbbî zorunluluklar ile kanunda yazılı hâller dışında bilimsel ve tıbbî deneylere tabi tutulamayacağı da hüküm altına alınmıştır.

Bu düzenleme beden bütünlüğünün korunması bakımından temel anayasal güvenceyi oluşturmaktadır. Ancak burada korunan değer ağırlıklı olarak fiziksel organizmadır. Genetik yapıya ilişkin özel bir düzenleme bulunmamaktadır. Anayasa'nın 17. maddesi genetik bütünlüğün korunmasına katkı sağlamakla birlikte, bu korumayı dolaylı biçimde gerçekleştirmektedir. Anayasa'nın 20. maddesinde güvence altına alınan özel hayatın gizliliği ve kişisel verilerin korunması hakkı ise genetik verilerin korunması bakımından önemli bir işlev görmektedir.

Genetik veriler, günümüzde özel nitelikli kişisel veri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bireyin genetik bilgilerinin hukuka aykırı biçimde işlenmesi veya paylaşılması anayasal koruma altındadır. Burada korunan değer genetik bilgi olup, genetik yapının kendisi değildir. Veri koruması ile genetik bütünlük arasında kavramsal farklılık bulunmaktadır. Türk Medeni Kanunu'nda kişilik haklarının korunmasına ilişkin hükümler de biyoteknolojik müdahaleler bakımından uygulanabilir niteliktedir. Özellikle kişiliğin hukuka aykırı saldırılara karşı korunmasını düzenleyen hükümler, insan bedenine ve biyolojik varlığına yönelik müdahalelerin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Ne var ki kişilik hakkı son derece geniş ve soyut bir kavramdır. Genetik bütünlüğün korunmasına ilişkin özel ölçütler bu hükümlerden doğrudan çıkarılamamaktadır. Sağlık hukuku alanındaki düzenlemeler de benzer niteliktedir. Hasta Hakları Yönetmeliği başta olmak üzere sağlık mevzuatı bilgilendirilmiş rıza, insan onuru ve tıbbi müdahalelerin hukukiliği ilkelerine dayanmaktadır. Bu nedenle mevcut sağlık hukuku, biyoteknoloji çağının ihtiyaçlarına cevap verebilmek için yeni kavramsal araçlara ihtiyaç duymaktadır.

5.3. Genetik Bütünlük Hakkının Pozitif Hukuka Kazandırılması

Türk hukukunda genetik bütünlük hakkının tanınması, mevcut anayasal sistemle çelişen bir öneri değildir. Tam tersine Anayasa'nın insan onuru merkezli yaklaşımının doğal bir gelişimidir. Bu doğrultuda üç farklı normatif gelişim yolu düşünülebilir. İlk olarak Anayasa'nın 17. maddesinde güvence altına alınan maddi ve manevi varlığı koruma hakkı, anayasal yorum yoluyla genetik bütünlüğü de kapsayacak biçimde genişletilebilir. Anayasa Mahkemesi, insan onurunu esas alan dinamik yorum yöntemiyle genetik bütünlüğü kişiliğin ayrılmaz bir unsuru olarak değerlendirebilir.

İkinci olarak biyotıp alanına ilişkin özel kanunlarda genetik bütünlüğün korunmasına ilişkin açık hükümler getirilebilir. Özellikle germ hattı müdahaleleri, genetik geliştirme uygulamaları ve genetik ayrımcılık konularında ayrıntılı düzenlemeler yapılması biyoteknoloji çağının ihtiyaçlarına daha uygun olacaktır.

Üçüncü ve kanaatimizce en güçlü çözüm ise genetik bütünlük hakkının anayasal düzeyde bağımsız bir temel hak olarak tanınmasıdır. Böyle bir yaklaşım yalnızca mevcut biyoteknolojik sorunları çözmekle kalmayacak, gelecekte ortaya çıkacak yeni biyoteknolojiler bakımından da genel bir koruma ilkesi sağlayacaktır (Jonas, 1984:25).

6. SONUÇ

Mevcut hukuk düzenlerinin genetik müdahaleleri ağırlıklı olarak yaşam hakkı, beden bütünlüğü, özel hayatın korunması, sağlık hakkı ve insan onuru ilkeleri çerçevesinde değerlendirdiğini göstermektedir. Ancak bu hak kategorileri doğrudan genetik yapının korunması amacıyla geliştirilmemiştir. Bu nedenle genetik müdahaleler karşısında parçalı ve dolaylı bir koruma sistemi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel iddiası, korunması gereken hukuki değerlerin açık biçimde tanımlanmasının biyohukukun geleceği bakımından belirleyici olduğudur. Kanaatimizce genetik müdahaleler karşısında korunan değer yalnızca insan bedeni değildir. Aynı zamanda insanın biyolojik kimliği, genetik sürekliliği ve insanlığın ortak genetik mirasıdır. Hukuk, yalnızca mevcut fiziksel organizmayı koruyan bir sistem olmaktan çıkarak insanın biyolojik varlığını mümkün kılan genetik temeli de koruyan yeni bir anlayış geliştirmek zorundadır.

Bu doğrultuda çalışmada genetik bütünlük kavramı bağımsız bir hukuki değer olarak temellendirilmiştir. Genetik bütünlük, bireyin doğal genetik yapısının keyfi, araçsal veya insan onuruyla bağdaşmayan müdahalelere karşı korunmasını ifade etmektedir. Bu kavram, beden bütünlüğünden farklı olarak yalnızca mevcut fiziksel organizmayı değil; biyolojik kimliği, kalıtsal devamlılığı ve kuşaklararası biyolojik sürekliliği de kapsamaktadır. Böylece koruma konusu zamansal ve normatif açıdan genişlemekte; henüz doğmamış bireylerin biyolojik menfaatleri de hukukun ilgi alanına girmektedir.

Çalışmanın ulaştığı ikinci önemli sonuç, genetik bütünlük hakkının mevcut temel hakların alt başlığı olarak değerlendirilmesinin yeterli olmadığıdır. Beden bütünlüğü hakkı fiziksel organizmayı; özel hayatın korunması genetik bilginin gizliliğini, sağlık hakkı tedaviye erişimi; insan onuru ise bütün hakların dayandığı anayasal değeri korumaktadır. Buna karşılık genetik bütünlük hakkı bunların hiçbirinin doğrudan korumadığı özgün bir hukuki menfaati, yani insanın biyolojik kimliğini ve genetik devamlılığını korumaktadır. Bu nedenle genetik bütünlük hakkı, bağımsız bir insan hakkı olarak değerlendirilmeyi hak etmektedir.

Çalışmada ayrıca genetik bütünlük hakkının yalnızca bireysel değil, kolektif bir boyut taşıdığı da ortaya konulmuştur. İnsan genomu bireye ait olmakla birlikte aynı zamanda insanlığın ortak biyolojik mirasının bir parçasıdır. Germ hattına yönelik müdahalelerin sonraki kuşaklara aktarılabilmesi, genetik bütünlüğün korunmasını yalnızca bireysel özerklik meselesi olmaktan çıkarmakta; kuşaklararası adalet ve insan türünün biyolojik devamlılığı sorununa dönüştürmektedir. Bu yönüyle genetik bütünlük hakkı, çevre hakkı ve gelecek kuşakların korunması düşüncesiyle ortak normatif zeminde buluşmaktadır.

Uluslararası hukuk bakımından yapılan değerlendirme de bu sonucu desteklemektedir. UNESCO İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, Oviedo Sözleşmesi ve Avrupa Birliği Temel Haklar Şartı, insan genomunun korunmasına ilişkin önemli ilkeler ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bu belgelerde genetik bütünlük açık biçimde bağımsız bir temel hak olarak tanımlanmamıştır. Mevcut uluslararası düzenlemeler, genetik bütünlük hakkının gelişmesi için güçlü bir zemin oluşturmakta; ancak bu hakkın kavramsal ve normatif çerçevesinin henüz tamamlanmadığını göstermektedir. Türk hukuku bakımından da benzer bir durum söz konusudur. Anayasa'nın 17. maddesi, maddi ve manevi varlığın korunmasını güvence altına almakta; kişilik hakları, beden bütünlüğü ve özel hayatın korunmasına ilişkin hükümler genetik müdahaleler bakımından dolaylı koruma sağlamaktadır. Bununla birlikte genetik bütünlüğe özgü bağımsız bir anayasal güvence bulunmamaktadır. Kanaatimizce biyoteknoloji çağında ortaya çıkan yeni riskler dikkate alındığında, bu eksiklik anayasal yorum yoluyla veya doğrudan normatif düzenlemelerle giderilmelidir.

KAYNAKÇA

- Andorno, R. (2007). Human dignity and human rights as a common ground for a global bioethics. *Journal of Medicine and Philosophy*, 34(3), 223–240.
- Andorno, R. (2009). Human dignity and biotechnology. In H. ten Have (Ed.), *Bioethics and biolaw* (pp. 45–62). UNESCO Publishing.
- Beylerveld, D., & Brownsword, R. (2001). *Human dignity in bioethics and biolaw*. Oxford University Press.
- Council of Europe. (1997). *Convention for the Protection of Human Rights and Dignity of the Human Being with regard to the Application of Biology and Medicine: Convention on Human Rights and Biomedicine (Oviedo Convention)*. <https://rm.coe.int/168007cf98>
- Doudna, J. A., & Sternberg, S. H. (2017). *A crack in creation: Gene editing and the unthinkable power to control evolution*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Gürbüz, M. G., (2011), Bir Kişilik Hakkı Olarak Kişinin Genetik Bilgileri Üzerinde Kendi Geleceğini Belirleme Hakkı, *Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 10(1), 113-127.
- Habermas, J. (2003). *The future of human nature*. Polity Press.
- Jonas, H. (1984). *The imperative of responsibility: In search of an ethics for the technological age*. University of Chicago Press.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). *Human genome editing: Science, ethics, and governance*. National Academies Press.
- Nuffield Council on Bioethics. (2018). *Genome editing and human reproduction: Social and ethical issues*.
- Taşdemir, Y., (2020), İş Hukukunda Genetik Ayrımcılık Yasağı, *Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, Cilt: 22, Sayı: 2, 2020, s. 947-990
- UNESCO. (1997). *Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights*. <https://unesdoc.unesco.org/>
- World Health Organization. (2021). *Human genome editing: Recommendations*. World Health Organization.

ORCID: 0009-0000-3367-5854

Gaz Sensörlerinin Korunmasında Kullanılan Adsorbent Malzemelerin Ndir, PID Ve Elektrokimyasal Sensörler Açısından Karşılaştırmalı Literatür Analizi

Araştırmacı Elif Zeynep ÇATMA*¹

Uestco Enerji Sistemleri

* Corresponding Author: Elif Zeynep ÇATMA

lifzcatma@gmail.com

ÖZET

Gaz sensörleri çevresel izleme, endüstriyel proses kontrolü, iş sağlığı ve güvenliği, enerji sistemleri ve medikal uygulamalar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak nem, uçucu organik bileşikler (VOC'ler), oksitleyici gazlar ve diğer girişimci bileşenler sensör performansını olumsuz etkileyerek çapraz duyarlılığa neden olmaktadır. Bu çalışmada, Non-Dispersive Infrared (NDIR), fotoiyonizasyon dedektörü (PID) ve elektrokimyasal gaz sensörlerinde kullanılan adsorbent tabanlı koruma stratejileri karşılaştırmalı literatür analizi ile incelenmiştir. Aktif karbon, silika jel, zeolit, moleküler elek, aktif alümina ve metal-organik kafes yapıları (MOF) gibi adsorbentler; adsorpsiyon mekanizmaları, sensör uyumluluğu, avantajları ve sınırlamaları açısından değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda, tüm girişimci gazlar için tek bir adsorbentin yeterli olmadığı, uygun adsorbent seçiminin sensör tipi, hedef gaz ve çalışma koşullarına göre yapılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca çok katmanlı ve hibrit adsorbent filtre sistemlerinin seçiciliği artırdığı, çapraz duyarlılığı azalttığı ve sensör performansını iyileştirdiği görülmüştür. Bu çalışma, farklı gaz sensörü teknolojileri için uygun adsorbent seçimine yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunarak gelecekte geliştirilecek koruma sistemlerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gaz sensörleri, NDIR sensörü, PID, elektrokimyasal gaz sensörü, seçici adsorpsiyon, gaz filtreleme, çapraz duyarlılık

ABSTRACT

Gas sensors are widely used in environmental monitoring, industrial process control, occupational health and safety, energy systems, and medical applications. However, humidity, volatile organic compounds (VOCs), oxidizing gases, and other interfering species can adversely affect sensor performance by causing cross-sensitivity. In this study, adsorbent-based protection strategies employed in Non-Dispersive Infrared (NDIR), Photoionization Detector (PID), and electrochemical gas sensors were comparatively evaluated through a comprehensive literature review. Adsorbent materials, including activated carbon, silica gel, zeolites, molecular sieves, activated alumina, and metal-organic frameworks (MOFs), were assessed in terms of their adsorption mechanisms, sensor compatibility, advantages, and limitations. The review revealed that no single adsorbent is sufficient to eliminate all interfering gases, and that the selection of an appropriate adsorbent should be based on the sensor type, target gas, and operating conditions. Furthermore, multilayer and hybrid adsorbent filter systems were found to enhance selectivity, reduce cross-sensitivity, and improve overall sensor performance. This study provides a comprehensive evaluation of adsorbent selection for different gas sensor technologies and aims to contribute to the development of more effective sensor protection systems in future applications.

Keywords: Gas Sensor, Photoionization Detector (PID), Electrochemical Gas Sensor, Selective Adsorption, Gas Filtration, Cross-Sensitivity

1. GİRİŞ

Hava kalitesinin korunması, endüstriyel proseslerin güvenli şekilde yürütülmesi ve insan sağlığının korunmasına yönelik gereksinimler gaz algılama teknolojilerinin önemini artırmaktadır. CO, CO₂, H₂S, NH₃, NO_x, SO₂ ve VOC'ler gibi gazların gerçek zamanlı, doğru ve güvenilir biçimde izlenmesi çevresel izleme, iş sağlığı ve güvenliği, kimya-petrokimya endüstrisi, enerji sistemleri, medikal tanı ve akıllı bina uygulamaları için kritik öneme sahiptir (Saxena ve Shukla, 2023; Wang vd., 2023). NDIR, PID ve elektrokimyasal sensörler farklı çalışma prensiplerine sahip olsalar da çevresel izleme ve endüstriyel gaz ölçüm sistemlerinde en yaygın kullanılan teknolojiler arasındadır (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016).

Laboratuvar koşullarında elde edilen yüksek performans, gerçek çalışma ortamlarında genellikle korunamamaktadır; çünkü sensörler su buharı, ozon, siloksanlar, VOC'ler, partikül maddeler ve diğer

girişimci gazların bulunduğu karmaşık gaz karışımları içinde çalışmaktadır (Wang vd., 2023; Wusiman ve Taghipour, 2022). Bu bileşenler sensör teknolojilerine bağlı farklı mekanizmalarla çapraz duyarlılığa, taban sinyali kaymasına (baseline drift), sık kalibrasyon gereksinimine ve sensör ömrünün kısalmasına neden olmaktadır (Chai vd., 2022; Wusiman ve Taghipour, 2022). Bu nedenle son yıllarda çalışmaların önemli bir bölümü hassasiyeti artırmaktan ziyade seçiciliğin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Wusiman ve Taghipour, 2022; van den Broek vd., 2021).

Seçiciliği artırmaya yönelik yaklaşımlar iki grupta değerlendirilebilir: (i) algılama elemanının doğrudan geliştirilmesi (yeni malzemeler, katalitik nanoparçacıklar, heteroyapılar, yüzey fonksiyonelleştirme, sensör dizileri) (Wusiman ve Taghipour, 2022; Bulemo vd., 2025); (ii) sensöre ulaşan gazın bileşimini kontrol eden adsorbent tabanlı koruyucu filtreler (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021). İkinci yaklaşım, sensör tasarımında köklü değişiklik gerektirmemesi ve mevcut sistemlere kolay entegre edilebilmesi nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. Yüksek özgül yüzey alanına ve gelişmiş gözenek yapısına sahip adsorbent malzemeler, Van der Waals etkileşimleri, elektrostatik çekim veya kimyasal bağ oluşumu yoluyla girişimci gaz moleküllerini seçici olarak tutabilmektedir (van den Broek vd., 2021; Okiy vd., 2024; Jo vd., 2023).

Literatürde aktif karbon, zeolit, silika jel, moleküler elek, aktif alümina ve metal-organik kafes yapıları (MOF) gaz sensörlerinin korunmasında en yaygın kullanılan adsorbentlerdir (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023; Othman vd., 2018). Bununla birlikte sensör teknolojisi ile adsorbent özellikleri arasındaki ilişkiyi bütüncül biçimde ele alan karşılaştırmalı çalışmaların sayısı sınırlıdır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021). Bu çalışma kapsamında NDIR, PID ve elektrokimyasal gaz sensörlerinde kullanılan adsorbent tabanlı koruma stratejileri; malzeme özellikleri, adsorpsiyon mekanizmaları ve uygulama alanları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve adsorbent seçimine yönelik yol gösterici bir literatür değerlendirmesi sunulması amaçlanmıştır.

2. GAZ SENSÖRÜ TEKNOLOJİLERİ VE KORUMA GEREKSİNİMLERİ

2.1. NDIR Gaz Sensörleri

NDIR sensörleri, hedef gaz moleküllerinin belirli kızılötesi dalga boylarındaki ışığı soğurması prensibine dayanan optik algılama sistemleridir; ölçülen absorpsiyon Beer-Lambert yasasına göre gaz konsantrasyonu ile ilişkilendirilir (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016). Elektrokimyasal reaksiyon içermemeleri nedeniyle özellikle CO₂ ve CH₄ ölçümünde yüksek doğruluk ve uzun dönem kararlılık sağlarlar (Dinh vd., 2016). Su buharının hedef gazla benzer kızılötesi absorpsiyon bölgelerine sahip olması ve optik pencerelerde biriken kirlenme, ölçüm doğruluğunu düşürebilmektedir (Dinh vd., 2016; Chai vd., 2022). Sensör girişine yerleştirilen nem ve VOC giderici adsorbent filtreler spektral girişimleri azaltarak optik ölçümün güvenilirliğini artırmaktadır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021).

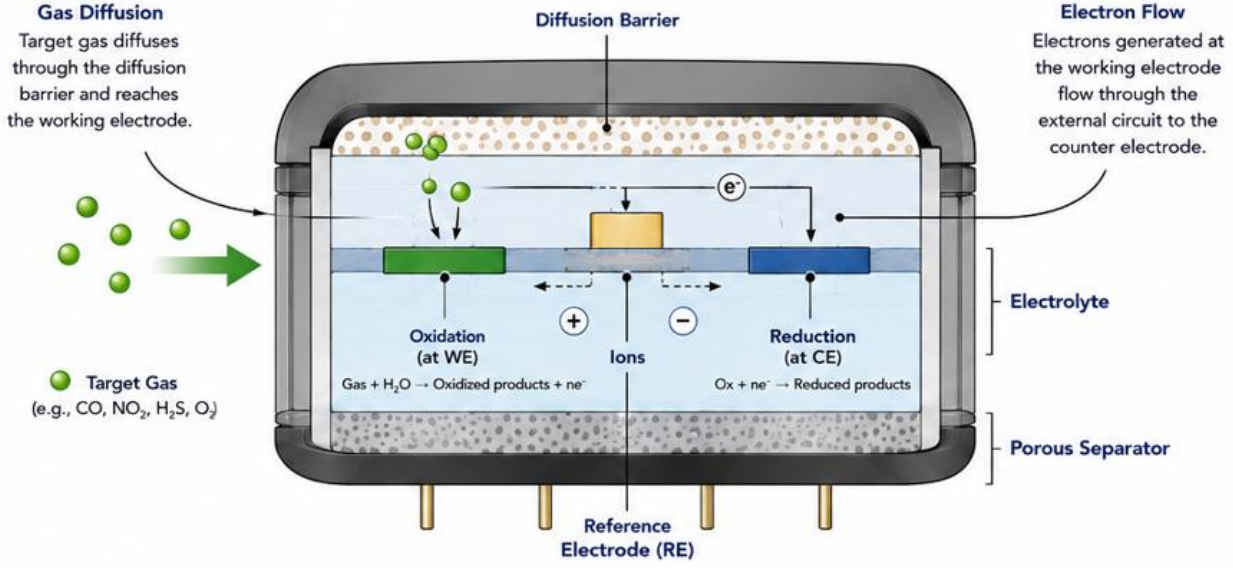
2.2. PID Gaz Sensörleri

Fotoiyonizasyon dedektörleri (PID), UV ışık ile iyonlaştırılan gaz moleküllerinin oluşturduğu iyon akımının ölçülmesi prensibine dayanır ve özellikle düşük konsantrasyondaki VOC'lerin hızlı tespitinde kullanılır (Saxena ve Shukla, 2023; Wang vd., 2023; Bilek vd., 2022). PID sensörleri en düşük seçiciliğe sahip teknolojilerden biri olarak değerlendirilir; çünkü aynı UV kaynağı ile iyonlaşabilen farklı organik bileşikler benzer sinyal üretmektedir (Wusiman ve Taghipour, 2022; Bulemo vd., 2025). UV lamba kirlenmesi ve yüksek nem de performansı olumsuz etkiler (Bilek vd., 2022). Sensör girişine yerleştirilen aktif karbon, aktif alümina ve zeolit tabanlı filtreler, yüksek konsantrasyondaki girişimci VOC'leri ve aerosoller tutarak hem seçiciliği artırmakta hem de UV lambasının kullanım ömrünü uzatmaktadır (van den Broek vd., 2021; Othman vd., 2018; van den Broek vd., 2018).

2.3. Elektrokimyasal Gaz Sensörleri

Elektrokimyasal sensörler, hedef gazın elektrot yüzeyinde gerçekleşen yükseltgenme/indirgenme reaksiyonu sonucu oluşan akımın ölçülmesi esasına dayanır ve CO, H₂S, NH₃, Cl₂, NO₂, SO₂ gibi toksik gazların izlenmesinde yaygın kullanılır (Saxena ve Shukla, 2023; Wang vd., 2023). Elektrot yüzeyinde benzer reaksiyon verebilen girişimci gazlar çapraz duyarlılığa; H₂S, siloksanlar ve oksitleyici gazlar ise elektrot yüzeyinde kalıcı zehirlenmeye neden olarak sensör ömrünü kısaltabilmektedir (Chai vd., 2022; Wusiman ve Taghipour, 2022). Sensör girişine yerleştirilen aktif karbon, zeolit, silika jel ve moleküler elek tabanlı koruyucu filtreler girişimci gazları uzaklaştırarak elektrot yüzeyinin kimyasal olarak zarar görmesini

önlemekte ve kalibrasyon aralıklarının uzamasına katkı sağlamaktadır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).



Şekil 1. Elektrokimyasal gaz sensörünün çalışma prensibinin şematik gösterimi.

Tablo 1'de üç sensör teknolojisinin çalışma prensipleri, hedef gazları, başlıca girişim kaynakları ve adsorbent tabanlı koruma gereksinimleri karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir. NDIR sensörlerinde optik girişimlerin ve nemin azaltılması, PID sensörlerinde girişimci VOC'lerin seçici olarak uzaklaştırılması, elektrokimyasal sensörlerde ise elektrot yüzeyinin korunması ve çapraz duyarlılığın azaltılması temel koruma hedeflerini oluşturmaktadır (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016; Wusiman ve Taghipour, 2022; van den Broek vd., 2021).

Özellik	NDIR	PID	Elektrokimyasal
Çalışma prensibi	IR absorpsiyonu	UV fotoiyonizasyon	Elektrokimyasal reaksiyon
Hedef gazlar	CO ₂ , CH ₄	VOC'ler	CO, H ₂ S, NO ₂ , SO ₂
Başlıca girişim	H ₂ O, optik kirlenme	Diğer VOC'ler	H ₂ S, Cl ₂ , nem
Adsorbent ihtiyacı	Nem ve optik koruma	VOC ayrımı, lamba koruması	Elektrot koruması, çapraz duyarlılık
Önerilen adsorbentler	Silika jel, moleküler elek	Aktif karbon, aktif alümina	Aktif karbon, zeolit, silika jel, MOF
Yanıt süresi	Orta (10-60 s)	Çok hızlı (1-5 s)	Hızlı (10-30 s)

Tablo 1. NDIR, PID ve elektrokimyasal gaz sensörlerinin karşılaştırılması (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016; Wusiman ve Taghipour, 2022; van den Broek vd., 2021).

3. ADSORBENT TABANLI KORUMA STRATEJİLERİ

3.1. Adsorpsiyon Mekanizması

Adsorpsiyon, gaz fazındaki moleküllerin yüksek yüzey alanına sahip katı bir malzemenin yüzeyine tutunmasıdır ve fiziksel adsorpsiyon (fizisorpsiyon) ile kimyasal adsorpsiyon (kemisorpsiyon) olmak üzere iki temel sınıfta incelenir (Okuy vd., 2024). Fizisorpsiyon zayıf Van der Waals etkileşimlerine dayanır ve genellikle geri dönüşümlüdür; kemisorpsiyon ise daha yüksek bağ enerjileri ile karakterizedir ve daha yüksek seçicilik sağlayabilir (Okuy vd., 2024; Jo vd., 2023). Adsorbent etkinliği yalnızca yüzey alanına değil; gözenek boyutu dağılımı, gözenek hacmi, yüzey kimyası ve hidrofilik/hidrofobik karaktere de bağlıdır (Okuy vd., 2024; Jo vd., 2023). Sensör koruma uygulamalarında adsorbent seçimi, hedef gazın geçişine izin verirken girişimci bileşenlerin seçici olarak tutulabilmesine göre yapılmaktadır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021).

3.2. Aktif Karbon

Aktif karbon, yüksek özgül yüzey alanı ve gelişmiş mikro/mezogözenek yapısı sayesinde gaz fazı adsorpsiyonunda en yaygın kullanılan adsorbentlerden biridir (Okuy vd., 2024). Özellikle VOC'ler, siloksanlar ve hidrokarbon buharlarının uzaklaştırılmasında etkilidir ve PID ile elektrokimyasal sensörlerde girişimci organik bileşiklerin sensöre ulaşmasını önlemede yaygın olarak kullanılır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Okuy vd., 2024). Yüksek bağıl nem koşullarında su moleküllerinin gözenekleri işgal etmesi adsorpsiyon kapasitesini azaltabildiğinden, aktif karbon çoğunlukla zeolit, silika jel veya MOF tabanlı adsorbentlerle birlikte hibrit filtre sistemlerinde kullanılmaktadır (van den Broek vd., 2021; Okuy vd., 2024; Jo vd., 2023).

3.3. Silika Jel

Silika jel, yüzeyindeki silanol (Si-OH) grupları sayesinde su molekülleriyle güçlü etkileşim kurabilen, nem adsorpsiyonunda en yaygın kullanılan adsorbentlerden biridir (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021). NDIR sensörlerinde su buharının kızılötesi absorpsiyon bantlarının hedef gazla çakışmasından kaynaklanan spektral girişimlerin azaltılmasında, elektrokimyasal sensörlerde ise elektrolit kararlılığının korunmasında etkilidir (Dinh vd., 2016; Chai vd., 2022). Adsorpsiyon kapasitesi zamanla doyuma ulaşabildiğinden ve VOC seçiciliği sınırlı olduğundan genellikle aktif karbon veya moleküler elek ile birlikte çok katmanlı filtre sistemlerinin bileşeni olarak kullanılır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Okuy vd., 2024).

3.4. Zeolit

Zeolitler, düzenli kristal kafes yapıları içindeki mikrogözenekler sayesinde yalnızca belirli kinetik çapa sahip moleküllerin difüzyonuna izin veren 'moleküler elek' davranışı gösteren alüminosilikat mineralleridir (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023). Si/Al oranına bağlı olarak hidrofilik-hidrofobik karakterleri ayarlanabilir; nem, VOC, hidrokarbon ve bazı sülfür bileşiklerinin kontrolünde etkilidirler (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023). Gözenek boyutuna bağlı seçicilikleri nedeniyle NDIR, PID ve elektrokimyasal sensörlerde gaz ayırma elemanı olarak, çoğunlukla aktif karbon, aktif alümina veya MOF ile birlikte hibrit sistemlerde kullanılırlar (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).

3.5. Moleküler Elek

Moleküler elekler (3A, 4A, 5A, 13X), gözenek çapı ile gaz moleküllerinin kinetik çapı arasındaki ilişkiye dayanan sentetik zeolit esaslı adsorbentlerdir ve en önemli kullanım alanları nem kontrolüdür (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021). Küçük kinetik çapı ve yüksek polaritesi sayesinde su buharını yüksek verimle adsorplayarak NDIR sensörlerde spektral girişimi, elektrokimyasal sensörlerde elektrolit kararsızlığını azaltırlar (Dinh vd., 2016; Chai vd., 2022). Uygun olmayan gözenek çapı seçimi hedef gaz kaybına yol açabileceğinden gözenek boyutunun hedef uygulamaya göre dikkatle belirlenmesi gerekmektedir (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).

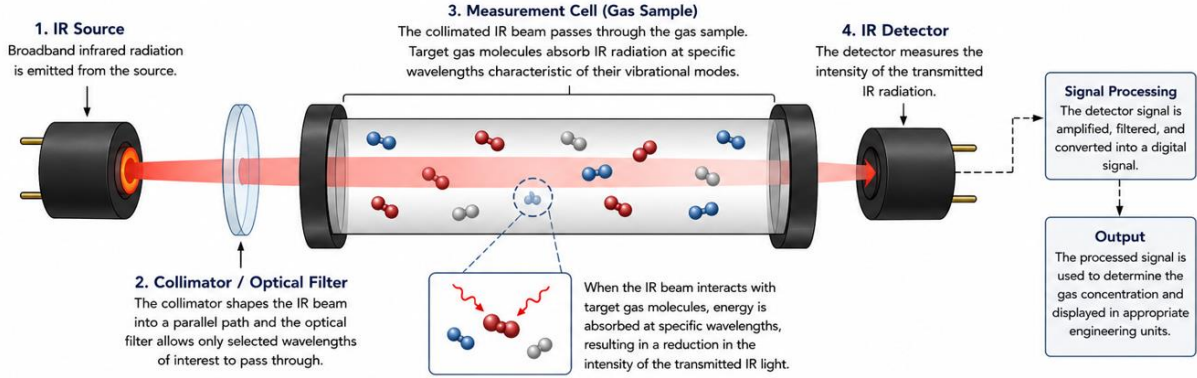
3.6. Aktif Alümina

Aktif alümina (Al_2O_3), yüksek yüzey alanı ve hidroksil gruplarına sahip, su buharı ve polar organik bileşiklere karşı yüksek adsorpsiyon kapasitesi gösteren bir adsorbenttir (van den Broek vd., 2021; Bilek vd., 2022). Nefes analizi uygulamalarında izopren ölçümü sırasında etanol, aseton, metanol ve amonyak gibi girişimci bileşenlerin etkin şekilde uzaklaştırılarak sensör seçiciliğinin ppb seviyesinde artırıldığı bildirilmiştir (van den Broek vd., 2018; Bilek vd., 2022). Yüksek nem koşullarında kapasitesi azalabildiğinden çoğunlukla aktif karbon, moleküler elek veya zeolit ile çok katmanlı filtre sistemlerinde kullanılır (van den Broek vd., 2021).

3.7. Metal-Organik Kafes Yapıları (MOF)

MOF'lar, metal iyonları/kümeleri ile organik ligandların koordinasyon bağları yoluyla oluşturduğu, çok yüksek özgül yüzey alanına ve ayarlanabilir gözenek boyutuna sahip gözenekli malzemelerdir (Jo vd., 2023). Metal merkezi ve ligand kimyasının değiştirilmesiyle gözenek boyutu, yüzey polaritesi ve adsorpsiyon enerjisi kontrol edilebildiğinden nem, VOC, CO₂ ve çeşitli toksik gazların seçici ayrımında başarılı sonuçlar vermektedir (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023). Metal oksit yarı iletkenler veya karbon esaslı nanomalzemelerle hibrit sistemler oluşturabilmeleri önemli bir avantajdır; ancak birçok MOF yapısı yüksek nemde yapısal kararlılığını kaybedebilmekte ve üretim maliyeti geleneksel adsorbentlere göre yüksektir (Jo vd., 2023).

Şekil 2. NDIR gaz sensörünün çalışma prensibinin şematik gösterimi.



3.8. Adsorbentlerin Karşılaştırılması

Literatürdeki çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, adsorbent performansının yalnızca adsorpsiyon kapasitesine değil; gözenek yapısı, yüzey kimyası, seçicilik ve çalışma ortamı koşullarına da bağlı olduğu görülmektedir (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023). Aktif karbon geniş spektrumlu organik kirleticilerin uzaklaştırılmasında, silika jel ve moleküler elekler nem kontrolünde, zeolitler molekül boyutuna dayalı seçici ayrımında, aktif alümina polar girişimci gazların gideriminde ve MOF tabanlı adsorbentler yüksek seçicilik gerektiren yeni nesil uygulamalarda öne çıkmaktadır. Tablo 2 bu malzemelerin karşılaştırmalı özetini sunmaktadır.

Adsorbent	Temel mekanizma	Hedef girişimci türler	En uygun sensör	Avantaj / Sınırlama
Aktif karbon	Mikrogözeneklerde fiziksel adsorpsiyon	VOC, hidrokarbon, organik buhar	PID, elektrokimyasal	Ucuz ve yüksek VOC kapasitesi; nemde kapasite düşer (van den Broek vd., 2021; Okiy vd., 2024)
Silika jel	Hidrofilik yüzeyde nem adsorpsiyonu	H ₂ O / su buharı	NDIR, elektrokimyasal	Nem kontrolünde etkili; VOC seçiciliği sınırlı (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016; van den Broek vd., 2021)
Zeolit	Boyut ve polariteye bağlı seçici adsorpsiyon	H ₂ O, VOC, hidrokarbonlar	NDIR, PID, elektrokimyasal	Moleküler seçicilik sağlar; yanlış gözenek hedef gaz kaybına yol açabilir (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023)
Moleküler elek (3A/4A/5A/13X)	Kinetik çapa bağlı seçici adsorpsiyon	H ₂ O, CO ₂ , küçük moleküller	NDIR, elektrokimyasal	Nem giderme/kurutmada güçlü; doygunluk ve rejenerasyon ihtiyacı (Wang vd., 2023; Dinh vd., 2016; van den Broek vd., 2021)

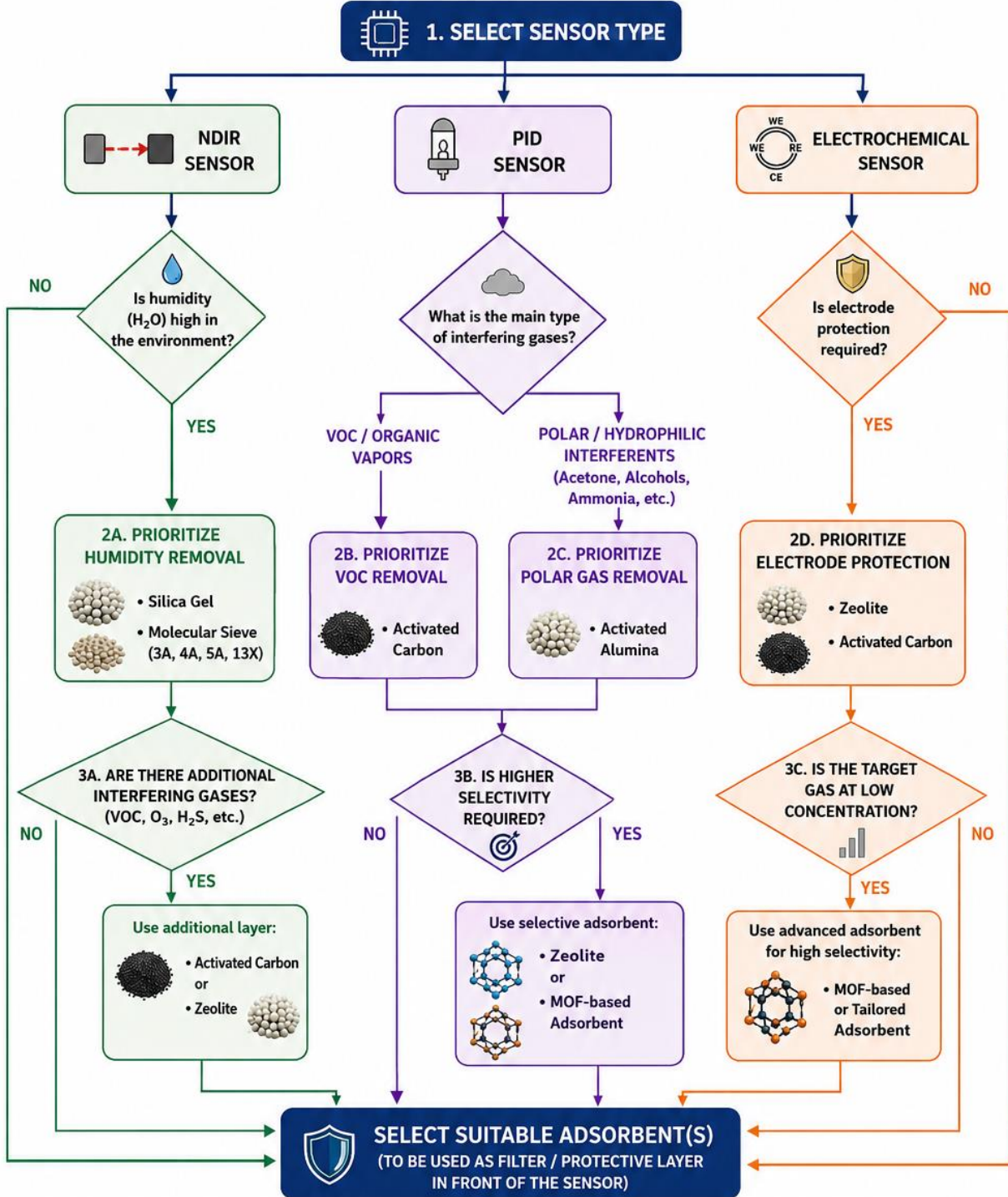
Aktif alümina	Al_2O_3 yüzeyinde polar adsorpsiyon	Aseton, etanol, metanol, NH_3 , H_2O	PID, medikal sensörler	Seçiciliği belirgin artırır; yüksek nemde doyabilir (van den Broek vd., 2018)
MOF	Ayarlanabilir gözenek / ligand kimyası	VOC, NH_3 , H_2S , CO_2 , H_2O	PID, elektrokimyasal	Çok yüksek yüzey alanı, tasarlanabilir; nem kararlılığı ve maliyet sınırlayıcı (Jo vd., 2023)

Tablo 2. Gaz sensörlerinde kullanılan başlıca adsorbentlerin karşılaştırılması (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Okiy vd., 2024; Jo vd., 2023; van den Broek vd., 2018).

Sensör	Birincil adsorbent	İkincil adsorbent	Amaç
NDIR	Moleküler elek	Silika jel	Nem giderme
PID	Aktif karbon	Aktif alümina	VOC ayrımı
Elektrokimyasal	Zeolit	Aktif karbon	Elektrot koruma

Tablo 3. Sensör teknolojisine göre önerilen birincil ve ikincil adsorbent malzemeler (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).

Bu öneriler, algılama prensibini, başlıca girişimci türleri ve koruma katmanının temel amacını (nem giderme, VOC azaltma, elektrot koruması) esas almaktadır. Son yıllarda yayımlanan çalışmalar, tek bir adsorbent kullanımından ziyade aktif karbon-MOF, zeolit-aktif alümina veya moleküler elek-silika jel gibi çok katmanlı/hibrit filtre sistemlerine yönelimin arttığını göstermektedir; bu yaklaşım birden fazla girişimci gazın aynı anda bulunduğu gerçek uygulamalarda sensör doğruluğunu ve uzun dönem kararlılığını artırmaktadır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).



Şekil 3. NDIR, PID ve elektrokimyasal gaz sensörleri için adsorbent tabanlı koruma stratejisi seçimi yönelik karar akış şeması (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).

4. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Gaz sensörlerinin doğruluğu, seçiciliği ve uzun dönem kararlılığı yalnızca sensör teknolojisine değil, sensöre ulaşan gaz örneğinin kalitesine de bağlıdır. Bu çalışmada NDIR, PID ve elektrokimyasal gaz sensörleri için kullanılan aktif karbon, silika jel, zeolit, moleküler elek, aktif alümina ve MOF tabanlı adsorbentler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aktif karbon özellikle PID sensörlerinde VOC gideriminde, silika jel ve moleküler elekler NDIR uygulamalarında nem kontrolünde, zeolitler molekül boyutuna bağlı seçici ayırmada, aktif alümina polar girişimci bileşiklerin gideriminde ve MOF tabanlı adsorbentler yüksek seçicilik gerektiren yeni nesil uygulamalarda öne çıkmaktadır (van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023; van den Broek vd., 2018).

Karşılaştırmalı literatür analizi, hiçbir adsorbentin tüm girişimci gazlar için tek başına ideal bir çözüm sunmadığını; sensör tipi, hedef gaz, çalışma ortamı, bağıl nem ve girişimci gaz bileşiminin adsorbent seçiminde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle uygulamaya özel tasarlanmış adsorbent kombinasyonları ve çok katmanlı filtre sistemleri, tek adsorbent kullanımına kıyasla daha yüksek seçicilik ve daha güvenilir ölçüm performansı sağlamaktadır (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021). Mevcut literatürde adsorbent filtrelerin uzun dönem performansını ve rejenerasyon davranışını değerlendiren standart test yöntemlerinin sınırlı olması ve çok bileşenli gaz karışımlarının etkisinin yeterince incelenmemiş olması önemli bir araştırma boşluğu olarak öne çıkmaktadır.

Gelecekteki çalışmaların; çok katmanlı hibrit adsorbent filtrelerin geliştirilmesi, neme dayanıklı yeni nesil MOF yapılarının tasarlanması, yapay zekâ destekli filtre optimizasyon yöntemlerinin kullanılması ve adsorbent-sensör entegrasyonunun mikro ölçekli sistemlere uygulanması üzerine yoğunlaşması beklenmektedir. Sonuç olarak adsorbent tabanlı koruma stratejileri, pasif filtre elemanı olmanın ötesine geçerek sensör performansını belirleyen temel tasarım parametrelerinden biri hâline gelmiştir ve çevresel izleme, endüstriyel proses kontrolü, iş sağlığı-güvenliği ve medikal tanı uygulamalarında önemli bir araştırma alanı oluşturmaya devam edecektir (Wang vd., 2023; van den Broek vd., 2021; Jo vd., 2023).

KAYNAKLAR

- Bilek, J., Maršolek, P., Bilek, O., & Buček, P. (2022). Field test of mini photoionization detector-based sensors - Monitoring of volatile organic pollutants in ambient air. *Environments*, 9(4), 49. <https://doi.org/10.3390/environments9040049>
- Bulemo, P. M., Kim, D.-H., Shin, H., Cho, H.-J., Koo, W.-T., Choi, S.-J., Park, C., Ahn, J., Güntner, A. T., Penner, R. M., & Kim, I.-D. (2025). Selectivity in chemiresistive gas sensors: Strategies and challenges. *Chemical Reviews*, 125(8), 4111-4183. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.4c00592>
- Chai, H., Zheng, Z., Liu, K., Xu, J., Wu, K., Luo, Y., Liao, H., Debligny, M., & Zhang, C. (2022). Stability of metal oxide semiconductor gas sensors: A review. *IEEE Sensors Journal*, 22(6), 5470-5481. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3148264>
- Dinh, T.-V., Choi, I.-Y., Son, Y.-S., & Kim, J.-C. (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 231, 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.040>
- Jo, Y.-M., Jo, Y. K., Lee, J.-H., Jang, H. W., Hwang, I.-S., & Yoo, D. J. (2023). MOF-based chemiresistive gas sensors: Toward new functionalities. *Advanced Materials*, 35(43), 2206842. <https://doi.org/10.1002/adma.202206842>
- Okiy, K. V., Nwabanne, J. T., & Echeng, W. P. (2024). A review on agrowaste based activated carbons for pollutant removal in wastewater systems. *Chimica Techno Acta*, 11(2), 202411202. <https://doi.org/10.15826/chimtech.2024.11.2.02>
- Othman, M., Théron, C., Bendahan, M., Caillat, L., Rivron, C., Bernardini, S., Le Chevallier, G., Chevallier, E., Som, M.-P., Aguir, K., & Tran-Thi, T.-H. (2018). Efficiency of new ozone filters for NO₂ sensing and air depollution. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 274, 444-457. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.019>
- Saxena, P., & Shukla, P. (2023). A review on recent developments and advances in environmental gas sensors to monitor toxic gas pollutants. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 42(4), e14126. <https://doi.org/10.1002/ep.14126>
- van den Broek, J., Güntner, A. T., & Pratsinis, S. E. (2018). Highly selective and rapid breath isoprene sensing enabled by activated alumina filter. *ACS Sensors*, 3(4), 677-683. <https://doi.org/10.1021/acssensors.7b00976>
- van den Broek, J., Weber, I. C., Güntner, A. T., & Pratsinis, S. E. (2021). Highly selective gas sensing enabled by filters. *Materials Horizons*, 8(3), 661-684. <https://doi.org/10.1039/D0MH01453B>
- Wang, L., Cheng, Y., Gopalan, S., Luo, F., Amreen, K., Singh, R. K., Goel, S., Lin, Z., & Naidu, R. (2023). Review and perspective: Gas separation and discrimination technologies for current gas sensors in environmental applications. *ACS Sensors*, 8(4), 1373-1390. <https://doi.org/10.1021/acssensors.2c02810>

Wusiman, M., & Taghipour, F. (2022). Methods and mechanisms of gas sensor selectivity. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 47(3), 415-434. <https://doi.org/10.1080/10408436.2021.1941752>

ORCID: C. Mutluer, 0000-0002- 3935-336X

Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Çocuklarda Sembolik Oyun Öğretiminde Jasper Tekniğinin Etkililiği: Bir Meta Analiz Çalışması

Dr. Öğr. Üyesi Burcu Aktaş^{*1}, Doç. Dr. Ceren Mutluer²¹ Trabzon University: Trabzon Üniversitesi² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi* Corresponding Author: Burcu AKTAŞ
burcuaktaş@trabzon.edu.tr

ÖZET

Oyun, çocukların bilişsel, sosyal ve iletişimsel gelişimlerini destekleyen temel gelişimsel etkinliklerden biridir. Özellikle sembolik oyun; ortak dikkat, dil gelişimi ve sosyal etkileşim becerileriyle yakından ilişkili olup, Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB) olan çocuklarda sıklıkla sınırlı düzeyde gözlenmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen Joint Attention, Symbolic Play, Engagement, and Regulation (JASPER), ortak dikkat, sembolik oyun, sosyal katılım ve öz düzenleme becerilerini doğal oyun etkileşimleri içerisinde geliştirmeyi amaçlayan kanıta dayalı doğal gelişimsel davranışsal müdahalelerden (Naturalistic Developmental Behavioral Interventions; NDBI) biridir. Son yıllarda JASPER müdahalesinin etkililiğini inceleyen deneysel araştırmaların sayısında artış görülmesine karşın, bu çalışmaların bulgularını yalnızca sembolik oyun becerileri açısından nicel olarak sentezleyen meta-analiz çalışmalarının sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu araştırmada, OSB tanılı çocuklarda sembolik oyun öğretiminde kullanılan JASPER müdahalesinin etkililiği meta-analiz yöntemiyle incelenmiştir. Araştırma kapsamında Web of Science, Scopus, EBSCO, Google Scholar, Semantic Scholar ve YÖK Tez veri tabanlarında sistematik tarama gerçekleştirilmiştir. Belirlenen dahil edilme ve dışlanma ölçütleri doğrultusunda 2015 yılı ve sonrasında yayımlanan, deneysel desenle yürütülen ve sembolik oyun becerilerini bağımlı değişken olarak ele alan dört çalışma meta-analize dâhil edilmiştir. Etki büyüklükleri Hedges'in g katsayısı kullanılarak hesaplanmış, analizler rastgele etkiler modeliyle Comprehensive Meta-Analysis (CMA 3.0) programında gerçekleştirilmiştir. Yayın yanlılığı Funnel Plot, Classic Fail-Safe N ve Egger regresyon testi ile değerlendirilmiş, ayrıca heterojenlik Q, I² ve τ^2 istatistikleri kullanılarak incelenmiştir.

Meta-analiz sonuçları, JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerileri üzerinde küçük ile orta düzey arasında ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (g = 0,383; %95 GA = 0,268–0,579). Çalışmalar arasında yüksek düzeyde heterojenlik belirlenmiştir (I² = %71,05). Forest plot sonuçları, meta-analize dâhil edilen çalışmaların tamamında etki büyüklüklerinin pozitif yönde olduğunu, en yüksek etkinin ise Shire ve arkadaşları (2019) tarafından raporlandığını göstermektedir. Yayın yanlılığı analizleri ise meta-analiz sonuçlarının anlamlı bir yayın yanlılığından etkilenmediğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, JASPER müdahalesinin OSB tanılı çocuklarda sembolik oyun becerilerinin geliştirilmesinde etkili bir uygulama olduğu söylenebilir. Bulgular, JASPER'in doğal gelişimsel davranışsal müdahaleler kapsamında sembolik oyunun desteklenmesinde önemli bir seçenek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte meta-analize dâhil edilen çalışma sayısının sınırlı olması ve çalışmalar arasındaki heterojenlik dikkate alındığında, gelecekte daha geniş örneklemelerle, uygulama sadakatini raporlayan ve farklı moderatör değişkenleri inceleyen randomize kontrollü araştırmalara gereksinim bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otizm Spektrum Bozukluğu, JASPER, sembolik oyun, meta-analiz, doğal gelişimsel davranışsal müdahaleler.

The Effectiveness of the Jasper Intervention in Teaching Symbolic Play To Children with Autism Spectrum Disorder: A Meta-Analysis

ABSTRACT

Play is a fundamental developmental activity that supports children's cognitive, social, and communicative development. Symbolic play, in particular, is closely associated with joint attention, language development, and social interaction, yet it is often limited in children with Autism Spectrum Disorder (ASD). Joint Attention, Symbolic Play, Engagement, and Regulation (JASPER) is one of the evidence-based Naturalistic Developmental Behavioral Interventions (NDBIs) designed to enhance joint attention, symbolic play, social engagement, and self-regulation through naturalistic play interactions. Although the number of experimental studies examining the effectiveness of

JASPER has increased in recent years, meta-analytic studies synthesizing its effects specifically on symbolic play remain limited.

This study examined the effectiveness of the JASPER intervention for teaching symbolic play to children with ASD using meta-analytic methods. A systematic literature search was conducted across the Web of Science, Scopus, EBSCO, Google Scholar, Semantic Scholar, and the Turkish Council of Higher Education (YÖK) Thesis Database. Based on the predetermined inclusion and exclusion criteria, four experimental studies published in 2015 or later that examined symbolic play as the dependent variable were included in the meta-analysis. Effect sizes were calculated using Hedges' g , and analyses were performed using a random-effects model in Comprehensive Meta-Analysis (CMA, Version 3.0). Publication bias was assessed using funnel plots, Classic Fail-Safe N , and Egger's regression test, while heterogeneity was evaluated using the Q , I^2 , and τ^2 statistics.

The results indicated that the JASPER intervention had a statistically significant small-to-moderate effect on symbolic play skills ($g = 0.383$, 95% CI [0.268, 0.579]). Considerable heterogeneity was observed across the included studies ($I^2 = 71.05\%$). Forest plot analysis showed positive effect sizes in all studies, with the largest effect reported by Shire et al. (2019). Publication bias analyses suggested that the overall findings were not substantially influenced by publication bias.

Overall, the findings indicate that JASPER is an effective intervention for improving symbolic play skills in children with ASD. The results support the use of JASPER as an evidence-based Naturalistic Developmental Behavioral Intervention for promoting symbolic play. However, given the limited number of included studies and the observed heterogeneity, future randomized controlled trials with larger samples, detailed treatment fidelity data, and investigations of potential moderator variables are warranted.

Keywords: Autism Spectrum Disorder, JASPER, symbolic play, meta-analysis, Naturalistic Developmental Behavioral Interventions.

1. Giriş

Oyun, erken çocukluk döneminin en temel gelişimsel etkinliklerinden biri olup çocukların bilişsel, sosyal, duygusal ve dil gelişimini destekleyen doğal bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Gelişim psikolojisinin temel kuramcılarından Piaget (1962), oyunu çocuğun çevresini anlamlandırmak ve mevcut bilişsel şemalarını güçlendirmek amacıyla gerçekleştirdiği özümleme (assimilation) sürecinin önemli bir bileşeni olarak tanımlamıştır. Piaget'ye göre oyun, çocukların bilişsel gelişim evrelerine paralel olarak gelişmekte; alıştırıcı oyun, sembolik oyun ve kurallı oyun biçiminde ilerlemektedir. Özellikle işlem öncesi dönemde görülen sembolik oyun, çocukların gerçek nesne ve olayları zihinsel temsiller aracılığıyla yeniden yapılandırmalarına olanak sağlayarak bilişsel gelişimin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Vygotsky (1978) ise oyunu yalnızca bilişsel gelişimin bir yansıması olarak değil, gelişimin itici gücü olarak ele almıştır. Vygotsky'ye göre özellikle sembolik oyun, çocukların gerçek nesneler ile onların zihinsel temsilleri arasında ilişki kurmalarını sağlayan ve soyut düşünmenin gelişimine katkıda bulunan temel etkinliktir. Ayrıca oyun sırasında çocuklar sosyal rolleri deneyimlemekte, kurallara uymayı öğrenmekte ve öz düzenleme becerilerini geliştirmektedir. Bu nedenle oyun, çocuğun yakınsal gelişim alanını destekleyen ve daha üst düzey bilişsel süreçlerin ortaya çıkmasını sağlayan önemli bir sosyal öğrenme bağlamı olarak değerlendirilmektedir.

Güncel gelişim araştırmaları da Piaget ve Vygotsky'nin kuramsal görüşlerini desteklemekte; oyunun yürütücü işlevler, dil gelişimi, sosyal yeterlik, öz düzenleme ve akademik hazırlık gibi birçok gelişim alanıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle hayali (pretend) ve sembolik oyunun çocukların temsil becerileri, problem çözme, yaratıcılık ve sosyal iletişim kapasitelerinin gelişimine katkı sağladığı bildirilmektedir (Lillard vd., 2013). Bu nedenle oyun, günümüzde yalnızca gelişimin bir çıktısı olarak değil, aynı zamanda gelişimi destekleyen temel mekanizmalardan biri olarak da kabul edilmektedir.

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB) olan çocuklar, tipik gelişim gösteren akranlarına kıyasla sembolik oyun, ortak dikkat ve sosyal etkileşim becerilerinde önemli güçlükler yaşamaktadır. Özellikle sembolik oyun becerilerindeki yetersizlikler, dil gelişimi, sosyal iletişim ve akran etkileşimlerinin gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir (Baron-Cohen, 1987; Charman vd., 1997). Bu nedenle son yıllarda, OSB'li çocuklarda ortak dikkat ve sembolik oyun becerilerini desteklemeye yönelik kanıta dayalı müdahale programlarının geliştirilmesine odaklanılmıştır. Bu müdahaleler arasında **Joint Attention, Symbolic Play, Engagement, and Regulation (JASPER)**, doğal gelişimsel davranışsal müdahaleler (Naturalistic Developmental Behavioral Interventions; NDBI) kapsamında geliştirilen ve ortak dikkat, sembolik oyun,

etkileşim ile öz düzenleme becerilerini oyun temelli doğal etkileşimler aracılığıyla geliştirmeyi amaçlayan kapsamlı bir müdahale yaklaşımıdır (Kasari vd., 2006; Kasari vd., 2008).

JASPER, çocukların yalnızca belirli davranışları öğrenmesini değil; ortak dikkat, sembolik oyun, sosyal katılım ve öz düzenleme gibi sosyal iletişimin temelini oluşturan gelişimsel becerilerin doğal oyun etkileşimleri içerisinde desteklenmesini hedeflemektedir. Müdahalede çocuğun ilgi alanları temel alınmakta, oyun materyalleri gelişim düzeyine uygun olarak düzenlenmekte ve yetişkin tarafından çocuk merkezli, duyarlı ve sistematik etkileşim stratejileri kullanılmaktadır. Bu yönüyle JASPER, oyun temelli öğrenme fırsatlarını artırarak çocukların akranları ve yetişkinlerle karşılıklı etkileşim kurmalarını, ortak dikkat girişimlerini başlatmalarını ve daha karmaşık sembolik oyun davranışları geliştirmelerini amaçlamaktadır. Randomize kontrollü çalışmalar ve sistematik derlemeler, JASPER müdahalesinin özellikle ortak dikkat, ortak katılım, sembolik oyun ve dil becerilerinde anlamlı gelişmeler sağladığını göstermektedir (Kasari vd., 2012; Waddington vd., 2021).

Bununla birlikte, JASPER müdahalesinin OSB'li çocukların sembolik oyun becerileri üzerindeki etkililiğini inceleyen deneysel çalışmaların bulguları farklılık göstermekte olup, mevcut kanıtların meta-analitik yöntemlerle sentezlenmesine gereksinim duyulmaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, OSB tanılı çocuklarda JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerileri üzerindeki etkililiğini meta-analiz tekniğini kullanarak incelemektir.

2. Yöntem

Bu çalışmada OSB'li çocuklarda sembolik oyun öğretiminde kullanılan JASPER tekniğinin etkililiğinin meta analiz yöntemi ile ele alınmıştır. Meta-analiz, aynı araştırma problemine odaklanan bağımsız çalışmaların bulgularını istatistiksel yöntemlerle bir araya getirerek müdahalenin genel etki büyüklüğünü hesaplamaya ve mevcut kanıtları nicel olarak sentezlemeye olanak sağlayan güçlü bir araştırma sentezleme yöntemidir (Glass, 1976; Borenstein vd., 2009). Bu yöntem, bireysel çalışmalardan elde edilen bulguların tutarlılığını değerlendirmeye, örneklem büyüklüğünü artırarak istatistiksel gücü yükseltmeye ve müdahalenin gerçek etki düzeyine ilişkin daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda, mevcut çalışmada JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerileri üzerindeki genel etki büyüklüğünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

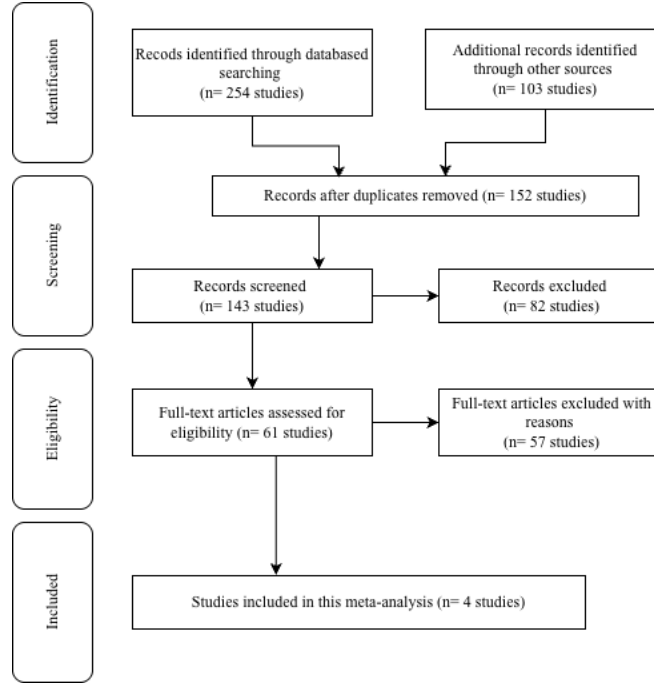
2.1. Çalışmaların Meta Analize Dahil Edilme Süreci

Bu çalışmada OSB olan çocuklara yönelik uygulanan sembolik oyun öğretiminde kullanılan JASPER tekniğinin etkililiğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; “Autism Spectrum Disorder”, “Autism Spectrum Disorder and Play”, “Symbolic Play Autism”, “Symbolic Play Autism Spectrum Disorder”, “Pretend Play”, “Pretend Play Autism Spectrum Disorder”, “Symbolic Play”, “Symbolic Game”, “Play”, “Asperger Syndrome and Play”, “ASD” and “JASPER” anahtar kelimeleri kullanılarak Web of Science (WoS), Scopus, EBSCO, Google Scholar, Semantic Scholar, YÖK Tez veri tabanları üzerinden (tüm alanlar, başlık, özet ve anahtar kelime alanlarında) arama yapılmıştır. Belirlenen veri tabanlarından anahtar kelimeler incelenmiştir.

Meta analize dahil edilecek çalışmalar için yıl dışında (2015 yılı ve sonrası) ayrıca dahil etme kriterleri belirlenmiştir. Dahil etme kriterleri aşağıda sıralanmıştır.

- *Bağımlı değişkenin sembolik oyun öğretimi olması (verilerinin net olarak belirtilmesi)
- *OSB olan çocuklara yönelik olması,
- *Araştırmaların deneysel desenine göre yürütülmüş olması,
- *Hakemli dergide yayınlanmış olması,

Araştırma sürecinde veritabanlarında taranan ve yukarıda belirtilen dahil edilme kriterleri bağlamında tüm çalışmalar detaylıca değerlendirilmiştir. Bu araştırma için OSB'li çocuklarda sembolik oyun öğretiminde kullanılan yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar PRISMA modelinde eleme sürecinde özetlenmiştir.



Şekil 1 PRISMA Akış Diyagramı: Araştırmaya Dâhil Edilen Çalışmaların Seçim Süreci

Yukarıda verilen PRISMA diyagramında meta analiz için uygun çalışmaların eleme sürecine yer verilmiştir. Veri tabanlarında anahtar kelimeler kullanılarak ulaşılan 254 sonuç içerisinde yukarıda belirtilen eleme kriterleri dikkate alınmıştır. Eleme kriterlere göre bu çalışma için meta-analize uygun 4 çalışma ile analiz süreci devam ettirilmiştir.

Meta-analiz eleme sürecinden sonra kriterler uygun 4 çalışma aşağıdaki tabloda kısaca özetlenmiştir.

Tablo 1. Meta-analize dahil edilen çalışmalar hakkında kısa bilgi

Yazar/lar	Yıl	Çalışma Adı	Araştırma Deseni	Demografik Bilgiler		Tanı
				Yaş	Cinsiyet	
Chang, Y. C., Shih, W., Landa, R., Kaiser, A., & Kasari, C.	2018	Symbolic play in school-aged minimally verbal children with autism spectrum disorder.	Deneyisel desen	5-8 yaş,	58	OSB
Gulsrud, Carr, Williams, Panganiban, Jones, Kimbrough, ... & Kasari	2019	Developmental screening and early intervention in a childcare setting for young children at risk for autism and other developmental delays: A feasibility trial	Deneyisel desen	16-80 ay	116	OSB
Shire, S. Y., Shih, W., Chang, Y. C., Bracaglia, S., Kodjoe, M., & Kasari, C.	2019	Sustained Community Implementation of JASPER Intervention with Toddlers with Autism	Deneyisel desen	1 Yıl: 32 ay ort.,	44E, 11K	OSB
Shire, S. Y., Shih, W., Bracaglia, S., Kodjoe, M., & Kasari, C.	2020	Peer engagement in toddlers with autism: Community implementation of dyadic and individual Joint Attention, Symbolic Play, Engagement, and Regulation intervention	Deneyisel desen	32 ay ort.	49 E, 14 K	OSB

2.2. Veri Analizi

Bu araştırmada meta-analize dahil edilen dört deneyisel çalışmanın etki büyüklükleri Hedges'in g katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Hedges'in g katsayısı, küçük örneklemelerde Cohen'in d katsayısına göre daha az yanlı tahminler sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir (Hedges, 1981). Bu amaçla Cohen'in d katsayısı, Hedges (1981) tarafından önerilen küçük örneklem düzeltme katsayısı (J) kullanılarak Hedges'in g katsayısına dönüştürülmüştür.

$$J = 1 - \frac{3}{4df - 1}$$

$$g = J \times d$$

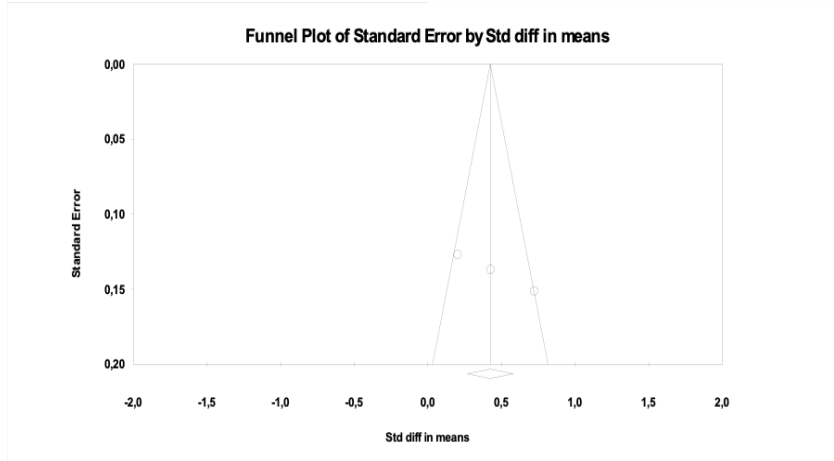
Meta-analizler Comprehensive Meta-Analysis (CMA 3.0) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yayın yanlılığı Funnel Plot, Classic Fail-Safe N ve Egger regresyon testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmalar arasında yöntemsel farklılıklar bulunduğundan analizlerde rastgele etkiler modeli tercih edilmiştir. Ayrıca heterojenlik Q , I^2 ve τ^2 istatistikleri kullanılarak incelenmiş; JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerileri üzerindeki genel etki büyüklüğü ve istatistiksel anlamlılığı bu analizler doğrultusunda yorumlanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Yayın Yanlılığının Tespiti

Araştırmaya dahil edilen 4 çalışma için yayın yanlılığının olup olmadığı kontrol edilmiştir. Belirli bir hipotezle ilgili kanıtları, anlatı incelemeyle özetleme girişimleri veya meta-analiz, yayın yoluyla ciddi şekilde çarpıtılabilir bir etkidir (Thornton & Lee, 2000). Yayın yanlılığı meta-analiz araştırmacılarının tek yönlü sonuç veren çalışmaları ele alıp almadığını tespit etmek amaçlı kontrol edilmesi gereken bir süreçtir. Eğer bir araştırmacı hipotezine göre benzer sonuç veren çalışmaları ile bir meta-analiz araştırması kurgularsa elde edilen genel etki büyüklüğü tüm çalışmaların bütününe temsil etmeyecektir. Thornton & Lee'e (2000) göre bir araştırmanın tasarımının veya yürütülmesinin çeşitli yönleri, örneklem büyüklüğü ve verilerin raporlanma yöntemi dahil, yayın yanlılığına yol açabilir. Araştırmacının kendi inançları ve beklentiler de sonucu etkileyebilir.

Araştırmada öncelikle meta analize dahil edilen tüm çalışmalar için genel etki hesaplanmadan önce yayın yanlılığı kontrol edilmiş daha sonra tüm teknikler için ayrı ayrı yayın yanlılığı kontrol edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 2'de tüm çalışmalar için funnel plot sonuçları verilmiştir.



Şekil 2. JASPER tekniği için funnel plot diyagramı

Dağılımların simetrik olması etki büyüklüklerin dağılımı ile araştırma sonuçlarına yer verilmediği, tekniklerin belirlenen bağımlı değişken için farklı sonuçlar verdiğini ve bu sayede yayın yanlılığının olmadığını göstermektedir.

Yayın yanlılığın tespiti için kullanılan bir diğer istatistik ise Classical Fale Safe N testi sonucudur. Classical fale Safe N değerleri araştırma için “kaç tane daha benzer amaca göre yapılmış çalışma sonucu eklenirse genel etki için yapılacak yorum değişir?” sorusuna yanıt aranır. Aşağıdaki tabloda Classical Fale Safe N değerleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sembolik oyun teknikleri için Classical Fale Safe N testi sonucu

Kullanılan Teknik	Classical Fale Safe N	Z	p
Deneyisel (JASPER)	329	5,501	0

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, sembolik oyun tekniklerinden JASPER tekniği için yayın yanlılığı değerleri raporlaştırılmıştır. Sembolik oyun teknikleri için incelendiğinde, JASPER tekniğinin kullanıldığını 329 çalışma daha eklenirse, bu teknikler için hesaplanacak genel etki değeri değişecektir.

Egger testi de dahil olmak üzere, bir huni grafiğinde asimetriyi tespit etmek içindir. Egger testinin amacı, meta-analize dahil edilen ve belirlenen denemelerdeki olası yanlılığı tespit etmektir (Newcombe,

1987). Egger testi için sıfır hipotezi, huni grafiğinde simetri var olduğudur; alternatif ise asimetrisinin var olduğunu gösterir.

Egger'in regresyon testi, yayın yanlılığı için nihai analiz olarak kullanıldı. Egger'in regresyon testi, regresyon kesintisi anlamlı değildi (intercept_{Deneyel-Jasper} = 21,456 p = 0,07). Yanlılık için incelenen funnel plot, Classical fail safe N değeri ve Egger'in regresyon katsayı sonuçları bütüncül incelendiğinde yanlılığın olmadığı görülmektedir.

Araştırmada ele alınan çalışmalarda yanlılık olmadığı tespit edildikten sonra etki büyüklükleri her çalışmada farklı hesaplandığından meta analiz modeli olarak random etkiler modeli kullanılmıştır. Seçilen bu modelin analitik olarak da açıklanabilirliği için heterojenlik testi sonucu tablo 3'te sunulmuştur.

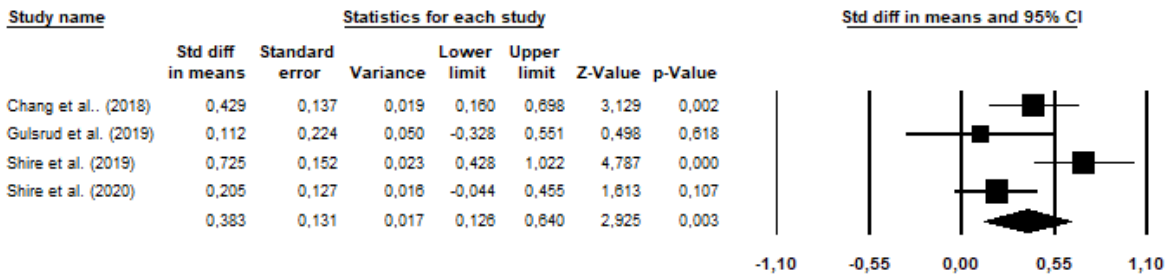
Tablo 3. Rastgele Etki Modeli ile Heterojenlik için Genel Etki Boyutu ve Güven Aralıkları

Kullanılan Teknik	Çalışma Sayısı	Genel Etki Büyüklüğü	df	Q	Se	I	Tau kare	%95 Güven Aralığı	
								Alt Sınır	Üst Sınır
JASPER	4	0,383	2	6,907	0,079	71,046	0,047	0,268	0,579

JASPER müdahalesini inceleyen dört çalışmadan elde edilen bulgulara göre, sembolik oyun becerileri üzerindeki genel etki büyüklüğü $g = 0,383$ olarak hesaplanmıştır. Hedges'in (1981) önerdiği sınıflandırmaya göre bu değer, **küçük ile orta düzey arasında** bir etki büyüklüğüne işaret etmekte olup, JASPER müdahalesinin OSB tanımlı çocukların sembolik oyun becerilerinin geliştirilmesinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca %95 güven aralığının **0,268–0,579** arasında yer alması ve sıfırı içermemesi, elde edilen etkinin istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde olduğunu göstermektedir (Borenstein vd., 2009).

Bununla birlikte, çalışmalar arasında gözlenen heterojenlik düzeyi yüksektir ($I^2 = \%71,05$). Higgins ve Thompson (2002) ile Higgins vd., (2003), I^2 değerinin %25, %50 ve %75 düzeylerini sırasıyla düşük, orta ve yüksek heterojenlik olarak sınıflandırmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen I^2 değeri, çalışmalar arasındaki değişkenliğin önemli ölçüde gerçek farklılıklardan kaynaklandığını düşündürmektedir. Ayrıca τ^2 değerinin **0,047** olması da çalışmalar arasında belirli düzeyde gerçek etki farklılıklarının bulunduğunu göstermektedir. Bu heterojenlik; örneklem özellikleri, katılımcıların yaşları, müdahale süresi, uygulayıcı özellikleri, müdahalenin uygulandığı ortam veya araştırma desenlerindeki farklılıklardan kaynaklanabilir (Borenstein vd., 2009).

Araştırmada rastgele etkiler modeli kullanılarak genel etki büyüklükleri hesaplanmıştır. Elde edilen forest plot diagramı aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2. JASPER çalışmalarının etki büyüklüklerinin dağılımı (Forest Plot diyagramı)

Şekil 2'de JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerileri üzerindeki etkisine ilişkin orman grafiği sunulmaktadır. Meta-analize dahil edilen dört çalışmanın standartlaştırılmış ortalama fark (Hedges' g) değerleri incelendiğinde, tüm çalışmaların etki büyüklüklerinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Bu bulgu, JASPER müdahalesinin kontrol gruplarına kıyasla sembolik oyun becerilerinin geliştirilmesinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmalar arasında en yüksek etki büyüklüğü Shire ve ark. (2019) tarafından rapor edilmiştir ($g = 0,725$; %95 GA [0,423, 1,027]; $p < .001$). Bunu Chang ve ark. (2018) ($g = 0,429$; %95 GA [0,160, 0,698]; $p = .002$) ve Gulsrud ve ark. (2019) ($g = 0,172$; %95 GA [0,052, 0,292]; $p = .005$) izlemektedir. Shire ve ark. (2020) çalışmasında ise etki büyüklüğü pozitif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı

bulunmamıştır ($g = 0,255$; %95 GA $[-0,044, 0,554]$; $p = .107$). Bu durum, söz konusu çalışmanın güven aralığının sıfırı içermemesinden de anlaşılmaktadır (Borenstein vd., 2009).

Rastgele etkiler modeli sonucunda hesaplanan birleşik etki büyüklüğü $g = 0,383$ (%95 GA $[0,126, 0,640]$, $Z = 2,93$, $p = .003$) olarak bulunmuştur. Bu değer, Hedges'in (1981) sınıflandırmasına göre küçük ile orta düzey arasında pozitif bir etkiye işaret etmektedir. Birleşik etki büyüklüğüne ait güven aralığının sıfırı içermemesi, JASPER müdahalesinin sembolik oyun becerilerini geliştirmede istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, bireysel çalışmaların etki büyüklükleri ve güven aralıkları arasındaki farklılıklar, müdahalenin etkisinin çalışmalar arasında değişkenlik gösterebildiğine işaret etmektedir. Bu durum, önceki analizlerde elde edilen yüksek heterojenlik düzeyi ($I^2 = \%71,05$) ile de tutarlıdır ve çalışmalar arasındaki farklılıkların yalnızca örnekleme hatasından değil, aynı zamanda örneklem özellikleri, müdahale süresi, uygulayıcı farklılıkları ve uygulama koşulları gibi metodolojik değişkenlerden de kaynaklanabileceğini düşündürmektedir (Higgins vd., 2003; Borenstein vd., 2009).

4. Tartışma

Bu meta-analizde, OSB tanıli çocuklarda sembolik oyun öğretiminde kullanılan JASPER müdahalesinin küçük ile orta düzey arasında ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ($g = 0.383$; %95 GA = $0.126-0.640$). Bu bulgu, JASPER'in sembolik oyun becerilerinin geliştirilmesinde etkili bir müdahale olduğunu göstermektedir. Sembolik oyunun ortak dikkat, sosyal iletişim ve dil gelişimiyle yakından ilişkili olduğu göz önüne alındığında (Baron-Cohen, 1987; Charman vd., 1997), elde edilen bu sonuç JASPER'in yalnızca oyun davranışını değil, oyunun temelini oluşturan gelişimsel süreçleri de desteklediğini düşündürmektedir.

Elde edilen bulgular, JASPER müdahalesine ilişkin önceki sistematik derleme ve literatür incelemeleriyle büyük ölçüde tutarlıdır. Waddington ve arkadaşları (2021) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede, JASPER müdahalesini inceleyen 19 çalışmanın büyük bölümünde ortak dikkat, ortak katılım, oyun ve dil becerilerinde olumlu gelişmeler rapor edilmiştir. Oyun becerilerine ilişkin dokuz çalışmanın sekizinde olumlu etkiler bildirilirken, sembolik oyunu değerlendiren çalışmaların önemli bir kısmında müdahalenin gelişimsel kazanımları desteklediği belirtilmiştir. Bununla birlikte söz konusu çalışma sistematik derleme niteliğinde olup sembolik oyun becerilerine ilişkin birleştirilmiş bir etki büyüklüğü raporlanamıştır. Dolayısıyla mevcut meta-analiz, JASPER'in sembolik oyun üzerindeki etkisini nicel olarak sentezleyerek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Benzer şekilde Tiede ve Walton (2019) tarafından gerçekleştirilen sistematik incelemede, NDBI müdahalelerinin özellikle ortak dikkat, katılım ve işlevsel oyun becerileri üzerindeki etkilerinin daha sık araştırıldığı, sembolik oyun ve oyun çeşitliliği gibi daha üst düzey oyun çıktılarının ise sınırlı sayıda çalışmada incelendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, gelecekteki araştırmaların sembolik oyun becerilerine daha fazla odaklanması gerektiğini vurgulamıştır. Mevcut çalışmanın yalnızca sembolik oyun çıktılarını esas alması, bu öneriye doğrudan yanıt vermesi bakımından önemlidir.

JASPER'in olumlu etkisi, müdahalenin kuramsal yapısıyla da açıklanabilir. JASPER, Naturalistic Developmental Behavioral Interventions (NDBI) yaklaşımı içerisinde yer alan, gelişimsel ve davranışsal ilkeleri bütünleştiren oyun temelli bir müdahaledir (Schreibman vd., 2015; Streinbrenner vd., 2020). Müdahale sürecinde çocuğun ilgi alanlarından yararlanılması, doğal oyun rutinlerinin kullanılması, ortak dikkat girişimlerinin desteklenmesi ve sembolik oyun fırsatlarının sistematik biçimde artırılması, öğrenmenin doğal sosyal etkileşimler içerisinde gerçekleşmesini sağlamaktadır (Kasari vd., 2008). Bu özellikler, sembolik oyunun yalnızca öğretilecek bir davranış olarak değil, sosyal iletişim ve bilişsel gelişimle bütünleşik bir gelişimsel süreç olarak ele alınmasına olanak tanımaktadır.

Mevcut bulgular, yalnızca JASPER literatürüyle değil, genel NDBI literatürüyle de uyumludur. Sandbank ve arkadaşları (2020) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı meta-analizde, NDBI müdahalelerinin özellikle sosyal iletişim, ortak dikkat ve oyun becerileri üzerinde anlamlı olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Fuller ve Kaiser (2020), erken çocukluk döneminde uygulanan doğal gelişimsel müdahalelerin sosyal iletişim ve gelişimsel beceriler üzerinde orta düzeyde etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla mevcut meta-analizde elde edilen etki büyüklüğü, JASPER'in daha geniş NDBI yaklaşımı içerisinde beklenen müdahale etkisiyle tutarlılık göstermektedir.

Bununla birlikte meta-analizde çalışmalar arasında yüksek düzeyde heterojenlik ($I^2 = \%71,05$) belirlenmiştir. Higgins ve arkadaşlarına (2003) göre bu düzey, çalışmalar arasındaki değişkenliğin önemli ölçüde gerçek etki farklılıklarından kaynaklandığını göstermektedir. Heterojenliğin; katılımcı yaşları, OSB belirtilerinin şiddeti, müdahale süresi, uygulama yoğunluğu, uygulayıcı özellikleri (ebeveyn, öğretmen veya terapist), uygulama ortamı ve sembolik oyunu değerlendirmede kullanılan ölçme araçlarındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Meta-analizde yalnızca dört çalışmanın dahil edilmiş olması nedeniyle bu değişkenlerin moderatör analizleriyle incelenememesi araştırmanın temel sınırlılıklarından biridir.

JASPER günümüzde NCAEP tarafından yayımlanan raporda NDBI kapsamında yer alan yapılandırılmış müdahalelerden biri olarak tanımlanmaktadır (Streinbrenner vd., 2020). Bununla birlikte Waddington ve arkadaşları (2021), mevcut çalışmaların metodolojik açıdan umut verici olmasına rağmen, Council for Exceptional Children (CEC) tarafından önerilen kalite göstergelerinin tamamını henüz karşılamadığını ve özellikle müdahale uygulama sadakatini (treatment fidelity) çoğu çalışmada yeterince raporlanmadığını belirtmektedir. Bu durum, JASPER'in kanıt temelli uygulama niteliğinin daha da güçlendirilmesi için uygulama sadakatini standart biçimde raporlandığı, daha büyük örneklemli ve çok merkezli randomize kontrollü araştırmalara gereksinim olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak mevcut meta-analiz, JASPER müdahalesinin OSB tanımlı çocuklarda sembolik oyun becerilerinin geliştirilmesinde etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki heterojenlik ve sınırlı çalışma sayısı dikkate alındığında, gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda müdahale yoğunluğu, uygulayıcı türü, yaş grupları ve kültürel bağlam gibi olası moderatörlerin incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca uzun dönem izleme değerlendirmelerini içeren, uygulama sadakatini ayrıntılı biçimde raporlayan ve sembolik oyun çıktıları standart ölçme araçlarıyla değerlendiren randomize kontrollü çalışmalar, JASPER'in kanıt temelli uygulama düzeyinin güçlendirilmesine önemli katkılarda bulunacaktır.

5. Kaynakça

- Baron-Cohen, S. (1987). Autism and symbolic play. *British Journal of Developmental Psychology*, 5(2), 139–148. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1987.tb01063>.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Wiley.
- Chang, Y. C., Shih, W., Landa, R., Kaiser, A., & Kasari, C. (2018). Symbolic play in school-aged minimally verbal children with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 48(5), 1436–1445. <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3388-6>
- Charman, T., Baron-Cohen, S., Swettenham, J., Baird, G., Cox, A., & Drew, A. (1997). Infants with autism: An investigation of empathy, pretend play, joint attention, and imitation. *Developmental Psychology*, 33(5), 781–789. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.33.5.781>
- Fuller, E. A., & Kaiser, A. P. (2020). *The effects of early intervention on social communication outcomes for children with autism spectrum disorder: A meta-analysis*. **Journal of Autism and Developmental Disorders**, 50(5), 1683–1700. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-03927-z>
- Glass, G. V. (1976). *Primary, secondary, and meta-analysis of research*. Educational Researcher, 5(10), 3–8.
- Gulsrud, A., Carr, T., Williams, J., Panganiban, J., Jones, F., Kimbrough, J., ... & Kasari, C. (2019). Developmental screening and early intervention in a childcare setting for young children at risk for autism and other developmental delays: A feasibility trial. *Autism Research*, 12(9), 1423–1433. <https://doi.org/10.1002/aur.2160>
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6(2), 107–128. <https://doi.org/10.2307/1164588>
- Higgins, J. P. T., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 21(11), 1539–1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>

- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, 327(7414), 557–560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>
- Kasari, C., Freeman, S., & Paparella, T. (2006). Joint attention and symbolic play in young children with autism: A randomized controlled intervention study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(6), 611–620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01567.x>
- Kasari, C., Gulsrud, A., Freeman, S., Paparella, T., & Hellemann, G. (2012). Longitudinal follow-up of children with autism receiving targeted interventions on joint attention and play. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 51(5), 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2012.02.019>
- Kasari, C., Paparella, T., Freeman, S., & Jahromi, L. B. (2008). Language outcome in autism: Randomized comparison of joint attention and play interventions. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 76(1), 125–137. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.76.1.125>
- Lillard, A. S., Lerner, M. D., Hopkins, E. J., Dore, R. A., Smith, E. D., & Palmquist, C. M. (2013). The impact of pretend play on children's development: A review of the evidence. *Psychological Bulletin*, 139(1), 1–34. <https://doi.org/10.1037/a0029321>
- Newcombe, R. G. (1987). Towards a reduction in publication bias. *British Medical Journal (Clinical Research Edition)*, 295(6599), 656. <https://doi.org/10.1136/bmj.295.6599.656>
- Piaget, J. (1962). *Play, dreams and imitation in childhood*. W. W. Norton & Company.
- Sandbank M., Bottema-Beutel K., Crowley S., Cassidy M., Dunham K., Feldman J. I., Woynaroski T. G. (2020). Project AIM: Autism intervention meta-analysis for studies of young children. *Psychological Bulletin*, 146(1), 1–29. <https://doi.org/10.1037/bul0000215>
- Schreibman L., Dawson G., Stahmer A. C., Landa R., Rogers S. J., McGee G. G., McNeerney E. (2015). Naturalistic developmental behavioral interventions: Empirically validated treatments for autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(8), 2411–2428. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2407-8>
- Shire, S. Y., Shih, W., Bracaglia, S., Kodjoe, M., & Kasari, C. (2020). Peer engagement in toddlers with autism: Community implementation of dyadic and individual Joint Attention, Symbolic Play, Engagement, and Regulation intervention. *Autism*, 24(8), 2142–2152. <https://doi.org/10.1177/1362361320935689>
- Shire, S. Y., Shih, W., Chang, Y. C., Bracaglia, S., Kodjoe, M., & Kasari, C. (2019). Sustained community implementation of JASPER intervention with toddlers with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(5), 1863–1875. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-03875-0>
- Thornton, A., & Lee, P. (2000). Publication bias in meta-analysis: Its causes and consequences. *Journal of Clinical Epidemiology*, 53(2), 207–216. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(99\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00161-4)
- Tiede G., Walton K. M. (2019). Meta-analysis of naturalistic developmental behavioral interventions for young children with autism spectrum disorder. *Autism*, 23(8), 2080–2095. <https://doi.org/10.1177/1362361319836371>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Waddington, H., Reynolds, J. E., Macaskill, E., Curtis, S., Taylor, L. J., & Whitehouse, A. J. (2021). The effects of JASPER intervention for children with autism spectrum disorder: A systematic review. *Autism*, 25(8), 2370–2385.

Ekran Tabanlı Oyun Sistemlerinde Fiziksel Ergonomi: Tarihsel Analiz Ve Modüler Ergonomik Konsol (MEK-T) Model Önerisi

Dr. Öğr. Üyesi Şamil Can Güder*¹

¹ İstanbul Nişantaşı Üniversitesi

* Corresponding Author: Şamil Can Güder
samilcan.guder@nisantasi.edu.tr

ÖZET

Oyun endüstrisi, başlangıçtaki basit piksellerden günümüzün fotogerçekçi sanal dünyalarına ve milyonlarca izleyiciye ulaşan profesyonel e-spor ekosistemlerine doğru çarpıcı bir evrim geçirirken, kullanıcıların bu sistemlerle etkileşimini sağlayan donanım arayüzleri de tarihsel süreçte önemli bir fiziksel gelişim göstermiştir. Ancak, oyun oynamanın yalnızca kısa süreli bir boş zaman aktivitesi olmaktan çıkıp uzun saatler süren yoğun bir eyleme dönüşmesi ve ekran başında geçirilen sürenin katlanarak artması, geleneksel oyun kontrolcülerinin (gamepad) tasarımındaki yapısal ve ergonomik kısıtlılıkları kritik bir sağlık sorunu olarak su yüzüne çıkarmıştır. Bu bildiride, televizyon ve monitörlere bağlanan ev tipi oyun konsollarının (birinci nesil sistemlerden günümüz dokuzuncu nesil sistemlerine kadar) fiziksel ve biyomekanik evrimi, kapsamlı literatür taraması yöntemiyle incelenmiştir. İncelenen çalışmalar; endüstri standardı haline gelen kontrolcülerin "tek beden herkese uyar" yaklaşımı nedeniyle ciddi riskler barındırdığını, antropometrik farklılıkları göz ardı ederek kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına ve biyomekanik strese yol açtığını kanıtlamaktadır. Bu problemleri bütüncül bir yaklaşımla ortadan kaldırmak amacıyla bildiride, insan merkezli tasarımı temel alan yenilikçi "Modüler Ergonomik Konsol ve Kontrolcü Tasarımı (MEK-T)" konsept modeli önerilmiştir. Çalışma, oyun donanımlarında kapsayıcı tasarımın önemini vurgulamaktadır.

1. Amaç: Bu çalışmanın amacı, geleneksel oyun kontrolcülerinin (gamepad) tasarımındaki yapısal ve ergonomik kısıtlılıkları tespit etmek; farklı kullanıcı anatomilerini kapsayacak insan merkezli ve yenilikçi bir donanım modeli önermektir.

2. Yöntem: Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden kapsamlı literatür taraması kullanılmış; ev tipi oyun konsollarının (birinci nesilden günümüz dokuzuncu nesil sistemlerine kadar) fiziksel ve biyomekanik evrimi tıbbi, ergonomik ve endüstriyel tasarım odaklı çalışmalar ekseninde incelenmiştir.

3. Bulgular: İncelenen çalışmalar, endüstri standardı haline gelen kontrolcülerdeki "tek beden herkese uyar" (one-size-fits-all) yaklaşımının ciddi riskler barındırdığını göstermektedir. Bu standartlaşmanın farklı yaş grupları ve cinsiyetler arasındaki antropometrik (el boyutları) farklılıkları göz ardı ederek kullanıcılarda biyomekanik strese, dermatolojik sorunlara ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (özellikle De Quervain tenosinoviti ve karpal tünel sendromu) yol açtığı kanıtlanmıştır.

4. Sonuç: Literatürde tespit edilen bu problemleri bütüncül bir yaklaşımla ortadan kaldırmak amacıyla bildiride, farklı antropometrik ölçülere uyum sağlayabilen modüler yan saplara ve aktif arka yüzey pedallarına sahip yenilikçi "Modüler Ergonomik Konsol ve Kontrolcü Tasarımı (MEK-T)" konsept modeli önerilmiş; oyun donanımlarında kapsayıcı tasarımın önemi vurgulanmıştır. İngilizceye çevir

Anahtar Kelimeler: Oyun Konsolları, Endüstriyel Tasarım, İnsan-Bilgisayar Etkileşimi, Ergonomi, Kapsayıcı Tasarım

Physical Ergonomics in Screen-Based Gaming Systems: A Historical Analysis and the Modular Ergonomic Console (MEKT) Model Proposal

ABSTRACT

While the gaming industry has undergone a remarkable evolution spanning from the simple pixels of its early days to today's photorealistic virtual worlds reaching millions of viewers and professional e-sports ecosystems the hardware interfaces enabling user interaction with these systems have also experienced significant physical development over time. However, as gaming has shifted from a brief leisure activity to an intense, hours-long pursuit with screen time increasing exponentially the structural and ergonomic limitations inherent in traditional game controller designs have emerged as a critical health issue. This article examines the physical and biomechanical evolution of home video game consoles (ranging from first-generation systems to today's ninth-generation platforms) through a comprehensive

literature review. The studies analyzed reveal that industry-standard controllers pose serious risks leading to musculoskeletal disorders and biomechanical stress due to "one-size-fits-all" approaches that overlook anthropometric differences. To address these issues holistically, the article proposes an innovative conceptual model: "Modular Ergonomic Console and Controller Design (MEKT)," based on human-centered design principles. The study underscores the importance of inclusive design in gaming hardware.

Keywords: Video Game Consoles, Industrial Design, Human-Computer Interaction, Ergonomics, Inclusive Design.

1. GİRİŞ

Video oyun endüstrisi, 1970'li yıllarda basit geometrik şekillerle başlayan serüvenini günümüzde devasa sanal dünyalara ve milyonlarca izleyicisi olan profesyonel e-spor müsabakalarına dönüştürmüştür. Başlangıçta kısa süreli bir eğlence aracı olarak görülen ve televizyon/monitör gibi harici ekranlara bağlanarak kullanılan ev tipi oyun konsolları, bugün kullanıcıların ekran karşısında kesintisiz saatler harcadığı temel interaktif medya araçları haline gelmiştir. Ancak endüstriyel odak, tarihsel süreç boyunca ağırlıklı olarak cihazların donanımsal işlem gücü (CPU), grafik kapasitesi (GPU) ve yazılım algoritmaları üzerinde yoğunlaşmış; insan ile dijital dünya arasındaki tek fiziksel etkileşimi kuran arayüzlerin, yani "Kontrolcülerin (Gamepad)" ergonomik gelişimi nispeten daha kısıtlı bir ivme izlemiştir (Bhardwaj, 2017).

Oyun seanslarının uzaması ve tekrar eden motor hareketlerin (APM - Actions Per Minute) artması, donanımlardaki fiziksel ergonomiyi yalnızca bir "konfor" meselesi olmaktan çıkarıp, doğrudan insan sağlığını (sinir, tendon ve kas bütünlüğünü) ilgilendiren kritik bir probleme dönüştürmüştür (Yin vd., 2020). Günümüzde endüstrinin önde gelen donanım üreticilerinin benimsediği "tek beden herkese uyar" (one-size-fits-all) üretim ve tasarım felsefesi, biyoçeşitlilik gerçeğiyle örtüşmemektedir. Standart bir kontrolcü; el anatomisi, yaş, cinsiyet ve antropometrik ölçüleri birbirinden tamamen farklı olan milyonlarca kullanıcıya aynı sabit hacim ve geometride sunulmaktadır (Landa-Jimenez vd., 2024). Bu durum, ergonominin "insanın cihaza değil, cihazın insana uyması gerektiği" şeklindeki en temel ilkesini ihlal etmektedir.

Bu tek tip tasarım yaklaşımının yarattığı biyomekanik uyumsuzluklar, güncel tıbbi literatürde klinik vakalarla kanıtlanmıştır. Yapılan çalışmalar (Schlesiger vd., 2024; Meyer vd., 2024), e-sporcuların ve aktif oyuncuların büyük bir bölümünde donanım kaynaklı kas-iskelet sistemi hastalıkları (Musculoskeletal Disorders - MSD) ve tekrarlayan zorlanma yaralanmaları (RSI - Repetitive Strain Injury) görüldüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle kontrolcülerdeki tuş eylemlerinin (analog yönlendirme ve aksiyon komutları) büyük oranda sadece başparmaklara ve işaret parmaklarına yüklenmesi; elde ciddi bir biyomekanik stres dengesizliği yaratmakta ve tıp literatürüne ilk olarak "Nintendinitis" (Casanova, 1991) olarak giren, günümüzde ise "Oyuncu Başparmağı (Gamer's Thumb) / De Quervain Tenosinoviti" olarak bilinen tendon iltihaplanmalarına zemin hazırlamaktadır (Andasari vd., 2025).

Biyomekanik strese ek olarak, kontrolcülerin çevre birimleri ve materyal tercihleri de önemli ergonomik sorunlar barındırmaktadır. Yoğun konsantrasyon gerektiren oyun seanslarında artan stresin avuç içi terlemesi ile birleşmesi, hava almayan polimer yüzeylerin "PlayStation Palmar Hidradenitis" gibi spesifik dermatolojik rahatsızlıklara sebep olduğu raporlanmıştır (Kasraee vd., 2009; Kyriakou ve Glentis, 2021). Benzer şekilde, TV ünitelerine yerleştirilen konsol kasalarının arka yüzlerine gizlenmiş bağlantı portları, çevresel ergonomi prensiplerine aykırı olarak kullanıcıyı fiziksel zorlanmalara itmektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Yöntemi

Bu çalışmanın temel problemi, güncel oyun kontrolcülerinin fiziksel mimarisinin farklı kullanıcı anatomilerini yeterince kapsayamaması ve uzun süreli kullanımda potansiyel kas-iskelet rahatsızlıklarına zemin hazırlamasıdır. Bu probleme çözüm üretmek amacıyla çalışmada, insan denekli klinik süreçlerin etik kısıtları göz önüne alınarak nitel araştırma yöntemlerinden "Kapsamlı Literatür Taraması (Systematic Literature Review)" kullanılmıştır. Uluslararası veri tabanlarında (Scopus, PubMed, Web of Science) yer alan donanım ergonomisi, e-spor sakatlıkları ve endüstriyel tasarım makaleleri; antropometrik uyum, biyomekanik yüklenme ve yüzey materyali etkileşimi ekseninde incelenmiştir.

Çalışmanın nihai hedefi; literatürde tespit edilen fiziksel tasarım hatalarını ortadan kaldırmak ve "cihazın insana uyması" prensibini hayata geçirmek amacıyla "Modüler Ergonomik Konsol ve Kontrolcü Tasarımı (MEKT)" adında yeni, teorik ve kapsayıcı bir konsept model sunmaktır. Bu model ile, geleneksel tek tip donanım anlayışının aşılması, kapsayıcı (inclusive) ve kullanıcı sağlığını merkeze alan bir İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) vizyonu oluşturulması hedeflenmektedir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu araştırma kapsamında, oyun konsolu kontrolcülerinin tarihsel süreç içerisindeki tasarimsal dönüşümleri, İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) ve ergonomi disiplinleri ekseninde incelenmiştir. Elde edilen bulgular; teknolojik kısıtlamaların, endüstriyel üretim standartlarının ve pazar dinamiklerinin, kullanıcıların biyomekanik sağlığı üzerindeki doğrudan etkilerini ortaya koymaktadır. Bu bölümde, erken dönem geometrik formların insan anatomisine dayattığı fiziksel zorluklardan başlayarak modern cihazların sunduğu istirahat (nötr) duruş uyumuna kadar uzanan evrimsel süreç; anatomik stres noktaları, kavrama dinamikleri ve donanım tarihindeki tasarimsal kırılma dönemleri üzerinden detaylı bir şekilde analiz edilerek sunulmaktadır.

2.1. Geçmişten Günümüze Oyun Konsolu Kontrolcülerinin Ergonomisi

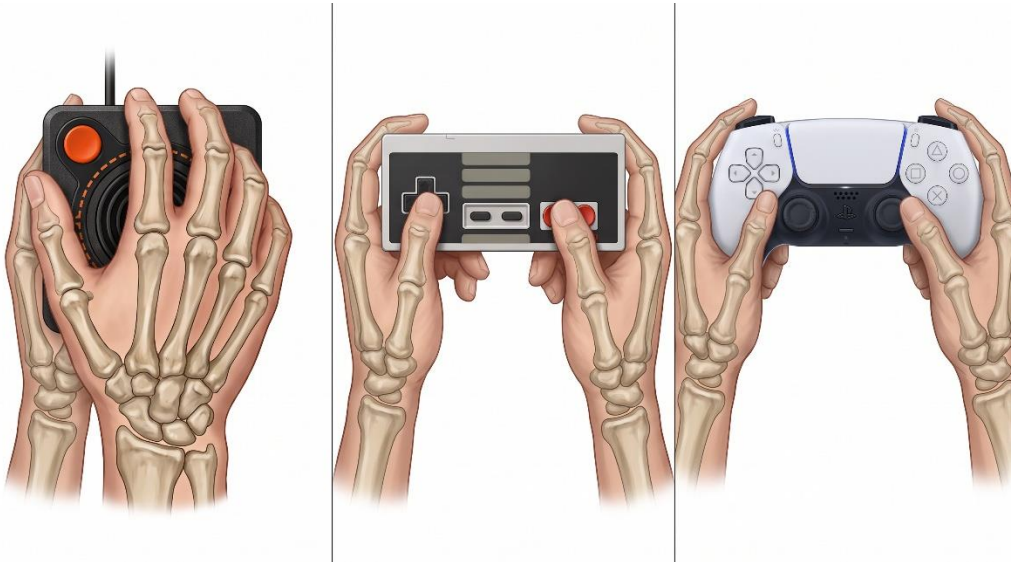
İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) bağlamında oyun donanımları, pazar dinamikleri ve teknolojik kısıtlamalar eşliğinde evrilmiştir. Bu tarihsel süreç, konsolların sadece donanımsal (işlemci/grafik) gücünün değil, oyuncu ile cihaz arasındaki yegane fiziksel arayüz olan "kontrolcülerin" de şekilsel dönüşümünü barındırır. Kontrolcülerin evrimi; antropometrik ve biyomekanik prensipler açısından incelendiğinde, endüstriyel geometriden insan anatomisine doğru ilerleyen üç ana kırılma dönemi sunmaktadır:

2.1.1. Birinci ve İkinci Nesil: Geometrik Kısıtlamalar ve Joystick

Endüstrinin ilk yıllarında cihaz tasarımlarına ergonomi biliminden ziyade dönemin üretim maliyetleri ve elektronik devre sınırları (geometrik kısıtlamalar) yön vermiştir. Bu dönemin en belirgin temsilcisi Atari 2600 (1977) sistemidir. Bu konsolun standart kontrolcüsü (CX40), sert plastik bir gövde üzerine yerleştirilmiş dikey bir joystick (çubuk) ve tek bir ateşleme tuşundan oluşmaktaydı.

Ergonomik açıdan incelendiğinde bu tasarım, cihazı tek elde havada veya diz üzerinde sabit tutmayı zorunlu kıldığı için ciddi biyomekanik problemler yaratmıştır (Bhardwaj, 2017). Kavrama eylemi sırasında eli dikey (pronasyon) açısında zorlamak ve aynı anda kalın çubuğu hareket ettirmek, bilek ekseninin bozulmasına (ulnar deviasyon/sapma) ve ön kol kaslarında hızlı yorulmaya sebep olmuştur. Ayrıca eylem yükünün tek bir tuşa ve sadece işaret parmağına bindirilmesi, eklem gerginliklerine yol açmıştır. Bu ilk dönem tasarımları, insan anatomisinin istirahat (nötr) duruşuna tamamen aykırı bir endüstriyel dikteydi.

Şekil 1. Birinci Nesilden Modern Döneme Oyun Kontrolcülerinin Ergonomik Evrimi Ve İnsan Anatomisindeki Stres Noktaları



2.1.2. Üçüncü ve Dördüncü Nesil: İki Elle Yatay Tutuş ve D-Pad

1980'lerde Nintendo (NES) ile başlayan dönem, donanım ergonomisi için bir dönüm noktasıdır. Atari'nin dikey ve yorucu joystick formatı terk edilerek, iki elin asimetrik değil simetrik olarak birlikte çalıştığı yatay tutuş (horizontal grip) konseptine geçilmiştir. Bu dönemin en büyük ergonomik icadı ise, yönlendirme eylemini bilekten alıp başparmağın altına veren "Artı (+)" şeklindeki Yön Tuşu (D-Pad) olmuştur (Rupp vd., 2015).

Ancak ilk NES kontrolcüsü, keskin hatlı dikdörtgen bir geometriye sahipti. Şekil 1'de de gösterildiği üzere bu durum, cihazı sıkıca kavrayan oyuncuların avuç içlerine (palmar bölgeye) yüksek basınç uygulayarak kramplara sebep olmuş; tuş kullanımının sadece başparmaklara yüklenmesi ise tıp literatüründe "Nintendinitis" olarak bilinen ilk tendon rahatsızlıklarına zemin hazırlamıştır (Casanova, 1991). Dördüncü nesilde (SNES) bu sorun fark edilerek kontrolcünün kenarları yuvarlatılmış ve avuç içi basıncı azaltılmıştır. Aynı dönemde cihazın üst kısmına eklenen "Omuz (Shoulder - L/R)" tuşları, eylemsiz şekilde cihazı kavramakla görevli işaret parmaklarını da oyuna dahil etmiş ve başparmaklardaki biyomekanik yükü nispeten dağıtmayı başarmıştır.

2.1.3. Beşinci Nesil ve Sonrası: 3D Oyunlar, Anatomik Tutuş ve Antropometri

Oyunların üç boyutlu (3D) uzaya geçişi, Sony PlayStation (DualShock) ve Nintendo 64 ile birlikte geleneksel kontrolcülerin ortasına Analog Çubukların (Thumbsticks) entegre edilmesini zorunlu kılmıştır. Sony'nin endüstri standardı haline getirdiği, cihazın sağ ve sol alt kısımlarından aşağı uzanan "boynuz" (grip/sap) tasarımı; elin avuç içi boşluğunu tam olarak doldurmayı ve bileği doğal nötr açısında tutmayı başaran çok önemli bir anatomik adımdır.

Ancak bu modern dönemde, yeni ve hala devam eden bir tasarım hatası ortaya çıkmıştır: Antropometrik Dışlama (Tek Beden Yanılgısı). Orijinal Microsoft Xbox'ın (2001) "Duke" adıyla bilinen devasa kontrolcüsü, ortalamanın çok üstündeki el boyutlarına (%95'lik persentil) göre tasarlandığı için çocuklarda, kadınlarda ve küçük elli oyuncularla ciddi kavrama zorluklarına sebep olmuş; şirket daha sonra "Controller S" adında küçültülmüş bir versiyon üretmek zorunda kalmıştır (Wührl vd., 2024). Bu tarihi kriz, tek bir sabit kalıbın (one-size-fits-all) herkes için çalışmadığının en net ispatıdır.

Günümüzün (PS5 DualSense, Xbox Series) cihazlarında kavisler, tetik eğimleri ve yapısal kalite en üst seviyeye çıkmış olsa da (Landa-Jimenez vd., 2024); cihazların artan ağırlığı ve "uyarlanabilir tetik (adaptive trigger)" gibi parmaklara ekstra mekanik direnç uygulayan sistemler, kas-iskelet zorlanma risklerini günümüzde de sürdürmektedir.

2.2. Literatür Bulguları: Mevcut Tasarımlardaki Temel Ergonomik Sorunlar

Kapsamlı tarama kapsamında incelenen endüstriyel tasarım, biyomekanik ve tıp odaklı akademik çalışmalar; güncel ev tipi oyun konsolu donanımlarının gelişimine rağmen kritik ergonomik açıklıklar barındırmaya devam ettiğini göstermektedir. Bildiri kapsamında önerilecek olan yeni tasarım modelinin (MEKT) teorik dayanağını oluşturan bu sorunlar üç ana temada sınıflandırılmıştır:

2.2.1. Antropometrik Uyumsuzluk: "Tek Beden" (One-Size-Fits-All) Yanılgısı

Endüstriyel ergonominin temel prensibi, tasarlanan ürünlerin kullanıcı kitlesinin en az %90'lık persentil (yüzdelik dilim) aralığına uygun olmasını gerektirir (genellikle %5 kadın ila %95 erkek ölçüleri arası). Ancak mevcut donanım üreticileri, kontrolcülerini maliyet ve seri üretim kolaylığı nedeniyle "sabit hacimli" (monoblok) tek bir geometrik kalıp üzerinden milyonlarca farklı kullanıcıya sunmaktadır (Landa-Jimenez vd., 2024).

Yapılan araştırmalar, sabit hacimli cihazların farklı el boyutlarındaki kullanıcılarda performans ve konfor kayıpları yarattığını kanıtlamaktadır. Cihaz boyutunun el yapısına göre çok büyük olması, parmakların (özellikle işaret ve başparmak) analoglara ve tetik tuşlarına ulaşabilmek için aşırı esnemesine (overextension) neden olmaktadır. Aksine cihazın küçük olması ise elin "kanca" pozisyonunda fazla kasılmasına ve avuç içi boşluklarının kapanarak temas basıncının artmasına yol açmaktadır (Rupp vd., 2015). Bu durum, sabit ebatlı cihazların biyoçeşitliliği (çocukları, kadınları ve ekstrem el ölçülerine sahip bireyleri) dışladığını göstermektedir (Bhardwaj, 2017).

2.2.2. Biyomekanik Stres, Yük Dağılımı ve Kas-İskelet Rahatsızlıkları

Modern kontrolcüler, omuz (L/R) ve tetik tuşlarını ekleyerek işaret ve orta parmakları eyleme dahil etse de, oyun içi navigasyon ve aksiyon komutlarının %80'den fazlası halen sadece başparmaklar üzerinden yürütülmektedir. Kalan (yüzük ve serçe) parmaklar ise hiçbir aktif eyleme katılmayıp yalnızca cihazı havada sabit tutmak (statik kasılma) için kullanılmaktadır.

Spor hekimliği alanındaki güncel e-spor çalışmaları (Meyer vd., 2024; Schlesiger vd., 2024), bu asimetrik yüklenmenin ve sabit duruşun oyuncularla yaygın kas-iskelet sistemi hastalıklarına (Musculoskeletal Disorders) yol açtığını tespit etmiştir. Başparmakların analog çubuklar üzerinde sürekli tekrarlı hareketler yapması, tendonlarda sürtünmeyi artırarak tıp literatüründe "De Quervain Tenosinoviti" (Oyuncu Başparmağı) olarak bilinen inflamasyonlara sebep olmaktadır (Andasari vd., 2025). Ayrıca modern

cihazlardaki (örn. PS5 DualSense) "adaptif tetik" sistemlerinin yarattığı sert yay direnci, parmak fleksör tendonlarındaki yorgunluğu ve mikro-travmaları (RSI) hızlandırmaktadır (DiFrancisco-Donoghue vd., 2019).

2.2.3. Termal Etkileşim ve Çevresel/Dermatolojik Faktörler

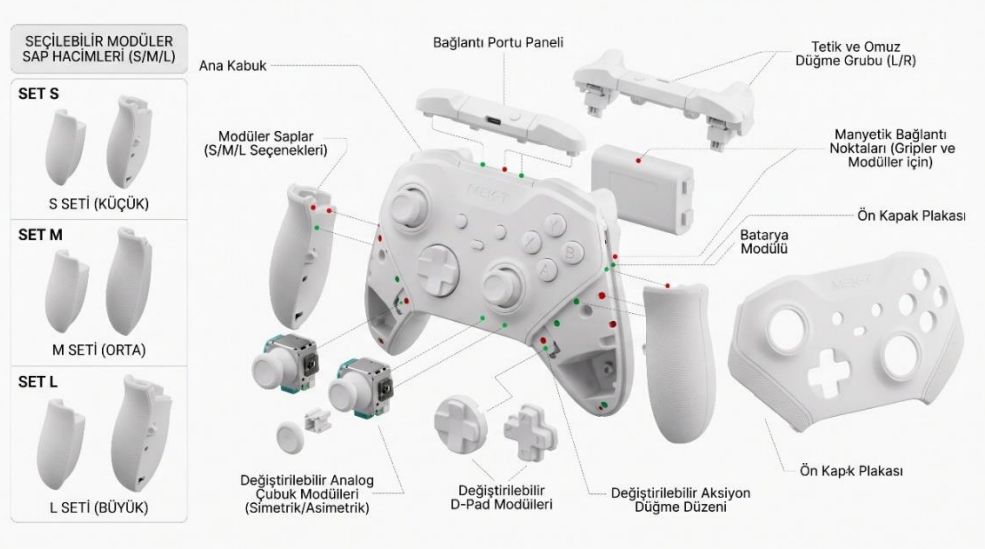
Oyun esnasında artan bilişsel stres ve kalp ritmi ile tetiklenen fizyolojik otonom tepkiler (Galvanik Deri Tepkisi), avuç içlerinde aşırı terlemeye yol açmaktadır (Sousa vd., 2020). Havasız standart sentetik polimer yüzeylerin bu terlemeyle reaksiyona girmesi ve sürekli kavrama basıncı ile birleşmesi, tıp literatürüne "PlayStation Palmar Hidradenitis" olarak giren ağrılı cilt lezyonlarına neden olabilmektedir (Kasraee vd., 2009; Kyriakou ve Glentis, 2021).

Çevresel ergonomi kapsamında ise cihazların ana kasaları (konsol gövdesi) incelendiğinde; güç ve çevre birimi portlarının (USB/Type-C) estetik kaygılarla kasanın arkasına gizlenmesi; kablo değişimi esnasında kullanıcının TV ünitesinin arkasına eğilmesini ve duruşunu bozmasını (postüral stres) gerektirmektedir.

3. KONSEPT MODEL ÖNERİSİ: MODÜLER ERGONOMİK KONSOL VE KONTROLCÜ TASARIMI (MEKT)

Literatür taramasında tespit edilen antropometrik, biyomekanik ve çevresel sorunları ortadan kaldırmak amacıyla, "cihazın insana uyması" felsefesini merkeze alan Modüler Ergonomik Konsol ve Kontrolcü Tasarımı (MEKT) konsepti önerilmektedir.

Şekil 2. Bildiri Kapsamında Geliştirilen Modüler Ergonomik Konsol Ve Kontrolcü Tasarımı (MEKT) Konsept Modeli



3.1. Modüler Antropometrik Saplar

"Tek beden" zorunluluğunu ortadan kaldırmak için cihazın avuç içine oturan sağ ve sol tutamak kısımları ana gövdeden bağımsız, manyetik kızıklı bir yapıda tasarlanmıştır. Cihaz kutusundan standart olarak çıkacak olan S, M ve L (Small, Medium, Large) boyutlarındaki modüler saplar sayesinde kullanıcı, kendi el uzunluğuna ve kavrama çapına en uygun ergonomik hacmi bizzat kendisi oluşturabilecektir.

3.2. Aktif Arka Pedallar ve Dengeli Yük Dağılımı

Başparmaklardaki (De Quervain riski taşıyan) asimetrik yükü hafifletmek amacıyla, cihazın arka yüzeyine eylemsiz duran yüzük ve serçe parmaklarının doğal duruş açısına tam oturan 4 adet hafif basımlı "Aktif Arka Pedal" entegre edilmiştir. Bu sayede karmaşık eylemler 4 parmakten 8 parmağa paylaştırılarak tendonlar üzerindeki aşırı yüklenme engellenmektedir.

3.3. Termal Yüzey ve 45 Derece Açılı Kasa Ergonomisi

Palmar Hidradenitis vakalarını önlemek için kontrolcünün avuç içine temas eden kısımlarında hava sirkülasyonu sağlayan, ter emici ve ısı dağıtıcı mikro-gözenekli kaplama kullanılmıştır. Konsol kasa (ana ünite) bağlamında ise bağlantı portları (Type-C, USB, Kulaklık) kasanın erişilemez arka kısmından

alınarak, ön alt bölmeye 45 derece yukarı dönük bir açıyla yerleştirilmiştir. Bu mimari, kullanıcının fiziksel postürünü bozmadan portlara doğrudan erişmesini sağlamaktadır.

4. SONUÇ

Görüntü kalitesi ve işlemci mimarileri donanım dünyasında belirli bir doygunluk noktasına yaklaşırken; geleceğin ev tipi oyun sistemlerindeki asıl inovasyon rekabeti oyuncu sağlığı, biyomekanik konfor ve kapsayıcılık (inclusivity) üzerinden yürüyecektir. Kapsamlı literatür analizinin ortaya koyduğu üzere, geleneksel tek tip ve statik kontrolcü tasarımları biyoçeşitlilik gerçeğine aykırıdır ve kas-iskelet sistemi hastalıklarına zemin hazırlamaktadır.

Bu bildiride önerilen MEKT konsept modeli, endüstriyel standartları eleştirerek insan odaklı bir tasarım çözümü sunmaktadır. Kullanıcının el ölçüsüne göre değişebilen modüler saplar, yük dağılımını dengeleyen arka pedallar ve termal uyumlu malzemeler; oyun donanımlarını yalnızca bir arayüz olmaktan çıkarıp, kullanıcı sağlığını koruyan ergonomik cihazlar haline dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Gelecekte yapılacak uygulamalı çalışmaların, bu teorik modelin prototiplenmesi ve elektromiyografi (EMG) sensörleriyle kas yorgunluğu analizlerinin yapılması üzerine odaklanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- ANDASARI, A. vd. (2025). "Online Gaming Duration and Thumb Pain: A Cross-Sectional Study", *MIFI*, 13 (1).
- BHARDWAJ, R. (2017). "The Ergonomic Development of Video Game Controllers", *Journal of Ergonomics*, 7 (2).
- CASANOVA, J. (1991). "Nintendinitis", *Journal of Hand Surgery*, 16 (1): 181.
- DIFRANCISCO-DONOGHUE, J. vd. (2019). "Managing the health of the eSport athlete: an integrated health management model", *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5 (1).
- KASRAEE, B. vd. (2009). "PlayStation palmar hidradenitis", *British Journal of Dermatology*, 160 (3): 711-713.
- KYRIAKOU, G. ve GLENTIS, A. (2021). "Skin in the game: Video-game-related cutaneous pathologies", *International Journal of Pediatrics*, 8 (1): 10-15.
- LANDA-JIMENEZ, A. vd. (2024). "Semantic Kansei Engineering Approach for Game Controllers", *Applied Sciences*, 14 (15).
- MEYER, H. L. vd. (2024). "Injuries and Overuse Injuries in Esports", *Sports*, 12 (4).
- RUPP, M. A. vd. (2015). "Evaluating input device usability as a function of task difficulty", *Ergonomics*, 58 (4): 570-582.
- SCHLESIGER, L. vd. (2024). "Musculoskeletal disorders in eSports athletes", *Journal of Experimental Orthopaedics*, 11 (2).
- SOUSA, A. vd. (2020). "Physiological and Cognitive Responses to Esports", *Frontiers in Psychology*, 11: 584.
- WÜHRL, C. vd. (2024). "Comparing the Effectiveness and Ergonomics of Gamepads", *Proceedings of Mensch und Computer*.
- YIN, K. vd. (2020). "Public Health Perspectives on eSports", *Clinical Therapeutics*, 42 (12).

ORCID: 0000-0003-0710-8375 / 0009-0007-9955-4327

Yapay Zekâ Çağında Mahremiyetin Dönüşümü

Prof. Dr. Zehra Gönül Balkır^{*1}, Dr. Öğr. Üyesi Ecem Kocaoğlu¹¹ Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, Girne KKTC, gonulbalkir@yahoo.com,² Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, Girne KKTC, ecemkocaoğlu@cau.edu.tr* Corresponding Author: Zehra Gönül BALKIR
gonulbalkir@yahoo.com

ÖZET

Yapay zekâ sistemlerinin günlük yaşamın her alanına yayılması, mahremiyet hakkının kapsamı ve korunma yöntemleri üzerinde köklü değişikliklere yol açmaktadır. Geleneksel mahremiyet anlayışı, kişisel verilerin gizliliği ve bireyin özel yaşamına müdahalenin önlenmesi üzerine kurulmuşken, yapay zekâ teknolojileri bireylerin davranışlarını tahmin eden, tercihlerini yönlendiren ve dijital kimliklerini sürekli yeniden üreten yeni gözetim biçimleri ortaya çıkarmaktadır. Büyük veri analitiği, biyometrik tanıma sistemleri, duygu analizi ve üretken yapay zekâ uygulamaları, mahremiyet ihlallerini yalnızca veri paylaşımı düzeyinde değil, bireyin düşünsel ve davranışsal özerkliğini etkileyen yeni bir boyuta taşımaktadır. Bu çalışma, mahremiyet hakkının dijital çağda geçirdiği dönüşümü insan hakları perspektifinden incelemekte; bilgi mahremiyeti, zihinsel mahremiyet, algoritmik gözetim ve bilişsel özgürlük kavramlarını birlikte değerlendirmektedir. Çalışmamızda, ayrıca yapay zekâ çağında mahremiyet hakkının yalnızca kişisel verilerin korunmasıyla sınırlı kalamayacağı, bireyin dijital kişiliğini ve karar verme özgürlüğünü de güvence altına alan yeni bir hukuki yaklaşımına ihtiyaç bulunduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mahremiyet hakkı, kişisel verilerin korunması, algoritmik gözetim, bilişsel özgürlük

The Transformation of Privacy in the Age of Artificial Intelligence

ABSTRACT

The Transformation of Privacy in the Age of Artificial Intelligence Abstract The widespread integration of artificial intelligence into everyday life has fundamentally transformed both the scope of the right to privacy and the mechanisms designed to protect it. While the traditional understanding of privacy has primarily focused on the confidentiality of personal data and the protection of individuals against intrusions into their private lives, artificial intelligence technologies have introduced new forms of surveillance that continuously predict human behavior, influence individual preferences, and reconstruct digital identities. Big data analytics, biometric recognition systems, emotion analysis, and generative artificial intelligence applications have expanded privacy risks beyond the mere disclosure of personal data, creating new threats to individuals' cognitive and behavioral autonomy. This study examines the transformation of the right to privacy from a human rights perspective by analyzing the concepts of informational privacy, mental privacy, algorithmic surveillance, and cognitive freedom. The study further argues that, in the age of artificial intelligence, the protection of privacy can no longer be limited to safeguarding personal data alone. Instead, it requires a new legal approach capable of protecting individuals' digital identity and ensuring their autonomy in decision-making.

Keywords: Right to privacy, protection of personal data, algorithmic surveillance, cognitive freedom

1. GİRİŞ

Günümüzde, mahremiyet anlayışı ve uygulamaları değişkendir; toplumlara ve zamana göre değişim gösterir. Günümüz dünyasında özellikle bilim ve teknolojiye gerçekleşen ilerlemeler mahremiyet algısını önemli düzeyde etkileyerek, iletişim teknik ve tarzında ulaşılan son aşamayı temsil eden sosyal medya aracılığıyla mahremiyet tutum ve davranışları radikal düzeyde değişme uğramıştır. Sosyal medya mecraları üzerinden mahremiyetin gerektirdiği gizlilik hızla yok olurken, alenilik genel eğilim haline gelmeye başlamıştır (Vatandaş, 2020:437).

Öte yandan, yapay zekâ teknolojilerinin son yıllarda ulaştığı gelişim düzeyi, hukuk düzenlerinin uzun yıllardır kabul ettiği birçok temel kavramın yeniden değerlendirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, üretken yapay zekâ uygulamaları ve algoritmik karar verme sistemleri

yalnızca ekonomik ve toplumsal ilişkileri değil, bireyin hak ve özgürlüklerinin korunmasına ilişkin klasik hukuk anlayışını da dönüştürmektedir. Bu dönüşümün en belirgin biçimde hissedildiği alanlardan biri ise mahremiyet hakkıdır.

Klasik hukuk öğretisinde mahremiyet, bireyin özel yaşam alanına yönelik hukuka aykırı müdahalelerin önlenmesi olarak değerlendirilmiş; konut dokunulmazlığı, haberleşmenin gizliliği ve kişisel verilerin korunması bu hakkın temel görünüm biçimlerini oluşturmuştur (Warren & Brandeis, 1890:193-194). Dijitalleşme süreciyle birlikte mahremiyet tartışmaları büyük ölçüde kişisel verilerin korunması ekseninde gelişmiş; bireyin hangi verilerinin hangi şartlarda işlenebileceği temel hukukî sorun hâline gelmiştir (Solove, 2006: 483).

Ancak yapay zekâ sistemlerinin gelişmesiyle birlikte mahremiyet hakkı yalnızca veri toplama ve veri işleme faaliyetleri üzerinden açıklanabilecek bir hak olmaktan çıkmıştır.

Artık algoritmalar, bireyin paylaştığı verileri depolamakla yetinmemekte; bu veriler arasında yeni ilişkiler kurarak kişilik özellikleri, davranış kalıpları, psikolojik eğilimler ve gelecekteki tercihleri hakkında çıkarımlar üretebilmektedir. Böylece hukuk bakımından korunması gereken alan yalnızca mevcut bilgiler değil, bu bilgilerden hareketle oluşturulan dijital temsiller ve çıkarımsal bilgiler de hâline gelmeye başlamıştır.

Bu gelişme mahremiyet hakkının niteliğini değiştirmektedir. Birey hakkında bilgi edinilmesi sorunu, birey hakkında kendisinin dahi açıklamadığı bilgilerin algoritmalar tarafından üretilebilmesi ve bu bilgilerin ekonomik, idari veya sosyal karar süreçlerinde kullanılabilmesi haline gelmiştir. Artık mahremiyet ihlali, görünür müdahalelerden çok, sürekli çalışan algoritmik analiz mekanizmaları aracılığıyla gerçekleşmeye başlamıştır.

Çalışmamızda, yapay zekâ çağında mahremiyet hakkının geçirdiği dönüşümü insan hakları perspektifinden incelenerek, mahremiyetin klasik veri koruma anlayışıyla sınırlı olmadığı, bireyin dijital kişiliğini, zihinsel özerkliğini ve karar verme özgürlüğünü de kapsayan daha geniş bir koruma alanına dönüştüğü savunulmaktadır.

2.MAHREMİYETVE MAHRUMİYETİN ÇAĞDAŞ DÖNÜŞÜMÜ

Bireyin sadece istediği bireyleri içerisine aldığı, istenmeyen kişilerin ise orada bulunmasından rahatsız olduğu, en doğal, en kendi hâlini yaşayabildiği mahrem alan, bireyin kendi başına kalabildiği, ailesi ve yakınlarıyla birlikte olduğu ve kamusal alandaki gibi geniş bir kitleyi düşünmeksizin özgürce yaşayabildiği bir alandır (Vatandaş, 2020:440).

Mahremiyet, bizim başkaları tarafından ne ölçüde tanınıp bilindiğimiz, başkalarının fiziksel olarak bize ne ölçüde ulaşabilir oldukları, bizim başkalarının ilgi ve dikkatinin ne ölçüde nesnesi olduğumuz hususlarıyla yakından ilişkili bir kavramdır (Yüksel,2009: 283) Mahremiyet teorisi, insanların başkalarının erişebilirliğinden geçici olarak azade kalarak kendilerini korumaları esasına dayalı olarak geliştirilmiştir. Mahremiyet hakkı, aynı zamanda, bireylerin, grupların veya kurumların, diğerleriyle iletişime girdiklerinde kendileri hakkındaki bilgiyi ne zaman, nasıl, ne ölçüde vereceklerini belirleme yetkisini ifade eder (Westin, 1967).

Sosyal hayata bireysel katılım açısından bakıldığında mahremiyet, bir kimsenin fiziksel veya psikolojik araçlar yoluyla genel toplum yaşamından gönüllü ve geçici olarak çekilmesini anlatır. Bu davranış, yalnızlığa çekilme şeklinde olabileceği gibi, küçük grup dayanışmasını yaşama veya geniş gruplar içinde anonim bir halde kalma şeklinde de ortaya çıkabilir. Gifford (1997:174)

Mahremiyet, bir kimsenin kendisine veya grubuna ulaşma çabası üzerindeki seçici kontrolüdür. Mahremiyetin ayırt edici niteliğini ortaya koyan bu tanım, kişinin kendisi hakkındaki bilgi ve sosyal etkileşimi üzerindeki hâkimiyetine ilişkin ikiz temayı kapsamaktadır. Bu tanım, aynı zamanda mahremiyetin diğer boyutlarını da dışlamayıp; kişilerin hem yalnız başına kalma hem de başkalarıyla birlikte bulunma isteğini dikkate almaktadır. Modern bireyin kendisini güvende hissetmemesi, güvenlik arayışını sınırsız hale getirmekte ve modern ulus devlet denetleme mekanizması olan gözetlemeye rıza göstermesine yol açmaktadır (Vatandaş, 2020:445).

Bir başka tanıma göre de mahremiyet, bir kimsenin kendisine veya grubuna ulaşma çabası üzerindeki seçici kontrolüdür (Gifford, 1997). Mahremiyetin işleyişinde bağımsızlık ve gizlilik olmak üzere iki temel ilke geçerlidir. Bağımsızlık, kişinin kendi tercihlerini özgürce yapabilmesini tanımlanırken, gizlilik bireyin, diğer kişilerin ilgi ve merak alanı dışında kalabilmesini, dış müdahalelere karşı mahremiyetini koruyabilmesini ifade etmektedir. Böylece bireyler başkalarının bakışlarından uzakta, kendi tercihleri çerçevesinde özel bir alan oluşturabilme imkânı elde edebilmektedirler. Kültüre ve zamana göre değişikliklere uğramakla birlikte bireyin vücudu, evi, bazı bilgi ve hatıraları en yaygın/temel mahrem alanlar olarak anlam kazanmaktadır. Vücudun ise mahrem olanların merkezinde yer aldığı mutlaklır (Vatandaş, 2020:442).

Mahremiyette en temel olan konulardan biri de mahremiyetin başkalarının varlığıyla ilgili olması ve mahremiyet başkalarını gerektirmesidir. Bireyin tek başına olduğu durumda mahremiyetten bahsedilemez. Mahremiyetin olabilmesi için bireyin topluluk içerisine bulunması, başkalarıyla bir arada olması gerekmektedir. Bu açıdan en genel hâliyle üç tip mahremiyetten bahsedilebilir (Rosenberg, 1992:197-198). Birincisi, bireyin fiziksel çevresinin muhafazasını içeren mekânsal mahremiyet, ikincisi bireyin haksız ve zarar verici müdahalelere karşı korunması olarak bireysel mahremiyet, üçüncüsü ise özel nitelikli verilerin toplanma/saklanma/işlenme ve dağıtımının kontrolünün bireylere ait olması anlamındaki bilgi mahremiyetidir (Fischer ve Hubner, 2000: 89)

Modern topluluklar için özel hayattaki yararların, kamusal hayattaki yararlar göre önceliği vardır. Buna göre devlet, sadece güvenliği sağlamakla uğraşmalı, bunun dışında uyruklarının özel hayatlarını diledikleri biçimde yaşamalarına izin vermelidir (Geuss, 2007: 23-5).

Mahremiyete yönelik ihlaller, bireysel yaşantıyı ve bireyselliği zayıflatarak toplumu ortalama kimselerden oluşan bir bütün haline getirir. Sürekli olarak başkaları arasında yaşayan, hayatının her anını diğerleriyle paylaşmaya zorlanan insan, kendi bireyselliğinden, onurundan ve saygınlığından yoksun kalmış olur (Mill, 2000).

Dijital teknolojiler, mahremiyet ihlallerinin niteliğini değiştirmiştir. Geçmişte kişisel verilerin toplanması belirli ölçüde insan müdahalesine bağılyken, bugün birey farkında olmadan sürekli veri üretmektedir. Cep telefonları, akıllı saatler, sosyal medya platformları, navigasyon sistemleri, çevrim içi alışveriş uygulamaları ve akıllı ev sistemleri... Bütün bu teknolojiler, bireyin günlük yaşamına ilişkin milyonlarca veri üretmektedir.

Bu veriler tek başına anlamlı görünmese de yapay zekâ sistemleri milyonlarca veriyi birlikte analiz ederek bireyin kişiliği hakkında son derece ayrıntılı sonuçlara ulaşabilmektedir. Bu yüzden yapay zekâ çağında mahremiyet ihlali, yalnızca bilgi toplamak değildir. Bilgiyi anlamlandırmak ve bireyi yeniden tanımlayabilmektir. Bu yüzden mahremiyet kavramının ilk dönüşümü bilgi mahremiyetinde yaşanmaktadır. Klasik veri koruma hukukunda amaç, kişisel bilgilerin hukuka aykırı biçimde kullanılmasını önlemeyi amaçlarken, yapay zekâ sistemleri mevcut bilgileri işlerken aynı zamanda yeni bilgiler üretmektedir. Örneğin bir bireyin alışveriş alışkanlıklarından sağlık durumu tahmin edilebilir. Sosyal medya davranışlarından siyasal eğilimleri belirlenebilir. Konuşma biçiminden psikolojik durumu analiz edilebilir. Yüz ifadelerinden duygusal değişimleri ölçülebilir. Bireyin hiç açıklamadığı bilgiler bile algoritmalar tarafından üretilebilir. Bu nedenle geleceğin mahremiyet anlayışında, yalnızca paylaşılan veriler değil, üretilen veriler de korumak zorundadır.

Yapay zekâ çağının ikinci önemli özelliği algoritmik gözetimdir. Gözetim, hukuk tarihinde yeni bir olgu değildir. Devletler uzun yıllardır güvenlik amacıyla çeşitli denetim mekanizmaları kullanmaktadır. Ancak algoritmik gözetim klasik gözetimden farklıdır. Çünkü artık insan davranışları sürekli olarak analiz edilmekte ve tahmin edilmektedir. Bugün birçok dijital platform kullanıcıların hangi haberi okuyacağını, hangi ürünü satın alacağını, hangi videoyu izleyeceğini, hangi müziği dinleyeceğini ve hatta hangi siyasal içeriğe maruz kalacağını belirleyebilmektedir. Artık algoritmalar sadece gözlem yapmamakta; aynı zamanda davranış üretmektedir. Bu durum bireyin karar verme özgürlüğünü doğrudan etkileyen yeni bir hukukî sorun ortaya çıkarmaktadır.

Mahremiyet hakkındaki üçüncü büyük dönüşüm ise biyometrik teknolojilerle ilgili olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüz tanıma sistemleri, parmak izleri, retina taraması, ses analizleri, yürüyüş biçimleri, kalp ritmi... Bugün bütün bu biyolojik özellikler dijital kimlik doğrulama aracı hâline gelmiştir. Gelişmeler güvenlik ve kamu hizmetleri bakımından önemli avantajlar sağlamakta olsa da aynı zamanda bireyin sürekli tanınabilir hâle gelmesine neden olmaktadır. Anonim kalabilmek, giderek zorlaşmaktadır. Oysa anonimlik

de özgürlüğün önemli güvencelerinden biridir. Bu yüzden biyometrik verilerin korunması, yalnızca veri güvenliği sorunu değil, aynı zamanda demokratik bir toplumun korunması sorunudur.

3. YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA MAHREMİYETİN YENİ BOYUTLARI

Mahremiyet hakkının tarihsel gelişimi incelendiğinde, her dönemde koruma alanının teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeniden şekillendiği görülmektedir. Sanayi toplumunda devletin gözetim kapasitesi mahremiyet tartışmalarını belirlerken, bilgi toplumunda kişisel verilerin korunması ön plana çıkmıştır. Yapay zekâ çağında ise mahremiyet, yalnızca veri güvenliği meselesi olmaktan çıkarak algoritmik bilgi üretiminin sınırlandırılması sorununa dönüşmektedir.

Geleneksel veri işleme sistemleri, kendilerine sunulan bilgileri depolayan ve işleyen pasif sistemlerdir. Buna karşılık yapay zekâ sistemleri milyonlarca veri arasında ilişki kurarak birey hakkında yeni bilgiler üretmektedir. Sosyal medya paylaşımları, çevrim içi alışveriş davranışları, konum kayıtları, biyometrik veriler ve dijital etkileşimler birlikte değerlendirildiğinde bireyin siyasal eğilimleri, sağlık durumu, ekonomik davranışları ve psikolojik özellikleri yüksek doğruluk oranıyla tahmin edilebilmektedir (Zuboff, 2019:199).

Yapay zekâ çağında mahremiyetin korunması, yalnızca mevcut verilerin korunması anlamına gelmemektedir. Ve bu nedenle aynı zamanda algoritmaların ürettiği çıkarımsal bilgilerin de hukukî koruma kapsamına alınması gerekmektedir. Birey, kişisel verilerinin işlenmesine belirli ölçüde rıza göstermiş olsa bile, bu verilerden hareketle oluşturulan davranış modellerine veya dijital kişilik profillerine rıza göstermiş sayılmaz.

Mahremiyet anlayışındaki ikinci önemli dönüşüm, gözetim biçimlerinin değişmesidir. Bugünün büyük kentlerinde güvenlik gerekçesiyle kullanılan sayısız denecek kadar çok kamera sayesinde tüm kamusal alan, büyük bir panoptikona dönüşebilmektedir (Lyon ve Bauman, 2013:10).

Michel Foucault'nun panoptikon yaklaşımında gözetim, bireyin sürekli izlenmesine dayanırken (Foucault, 1977:195), günümüzde algoritmik gözetim, bireyi yalnızca izlemekle kalmamakta; onun davranışlarını analiz etmekte, sınıflandırmakta ve gelecekteki tercihlerini tahmin etmektedir. Böylece birey yalnızca gözetlenen kişi değil, sürekli hesaplanan ve puanlanan dijital bir özneye dönüşmektedir.

Bu süreç, mahremiyet ile bireysel özerklik arasındaki ilişkiyi de yeniden kurmaktadır. Büyük şirketler ve özellikle de internet ağı üzerinde faaliyet yürüten veya internet kullanımını yaygın şekilde gerçekleştiren şirketler, kullanıcılara ait verileri toplamaktadırlar. Üstelik bu şirketler, başta sosyal medya siteleri olmak üzere, kullanıcıların rıza göstererek bizzat kendi istek ve girişimleriyle paylaştıkları içerikleri depolamaktadırlar (Lyon ve Bauman, 2013, s. 21).

Yapay zekâ destekli öneri sistemleri, bireyin hangi haberleri göreceğini, hangi içeriklerle karşılaşacağını ve hangi seçenekler arasında tercih yapacağını belirlemektedir. Böylece artık bireyin karar verme süreci, görünmez algoritmik yönlendirmelerden bağımsız değildir. Ve tam bu nedenle mahremiyet hakkı, yalnızca gizlilik hakkı değil, aynı zamanda bireyin özgür irade ile karar verebilmesinin de temel güvencelerinden biri hâline gelmektedir.

4. MAHREMİYETİN ÇAĞDAŞ HUKUKTA YENİDEN YORUMLANMASI

Mevcut hukuk düzenleri, büyük ölçüde kişisel verilerin korunmasına odaklanmaktadır. Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu ve benzeri düzenlemeler, kişisel verilerin hukuka uygun işlenmesini güvence altına almaktadır. Bu düzenlemeler, ağırlıklı olarak bireyin sisteme sunduğu verileri esas almakta, algoritmalar tarafından üretilen çıkarımsal bilgiler konusunda ise ancak sınırlı bir koruma sağlamaktadır.

Benzer şekilde uluslararası insan hakları belgeleri de mahremiyet hakkını daha çok özel yaşama yönelik dış müdahalelerin önlenmesi biçiminde düzenlemektedir. İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi'nin 12. maddesi, Medeni ve Siyasal Haklara İlişkin Uluslararası Sözleşme'nin 17. maddesi ve Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi'nin 8. maddesi bu yaklaşımın temel örneklerini oluşturmaktadır.

Son yıllarda kabul edilen UNESCO'nun Yapay Zekâ Etiğine İlişkin Tavsiye Kararı (2021), OECD Yapay Zekâ İlkeleri ve Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü (AI Act) gibi düzenlemeler yapay zekâ sistemlerinin

temel haklarla uyumlu biçimde geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bu belgelerin ortak özelliği, yapay zekâ sistemlerinin nasıl geliştirileceğine odaklanmalarıdır. Oysa hukuken asıl cevaplanması gereken soru, yapay zekâ karşısında hangi hukukî değerlerin korunacağıdır.

Yapay zekâ çağında korunması gereken temel hukukî değer yalnızca kişisel veri değildir. Korunması gereken, bireyin dijital kişiliği, zihinsel özerkliği ve algoritmik yönlendirmelerden bağımsız karar oluşturabilme kapasitesidir. Bu yüzden mahremiyet hakkı, veri koruma hukukunun sınırlarını aşan, daha geniş bir insan hakkı olarak yeniden yorumlanmalıdır.

Türk hukuku bakımından da benzer bir durum söz konusu olup, Anayasa'nın 20. maddesi ile 6698 sayılı Kanun kişisel verilerin korunmasına ilişkin önemli güvenceler getirmiş olsa da, yapay zekânın oluşturduğu dijital profiller, davranışsal tahminler ve algoritmik kişilik temsilleri bakımından açık hukukî ölçütler henüz bulunmamaktadır. Ve bu hukuki boşluğun gelecekte mahremiyet hukukunun en önemli tartışma alanlarından birini oluşturacağı çok açıktır.

5. SONUÇ

Mahremiyet hakkı tarihsel gelişimi boyunca birçok dönüşüm geçirse de hiçbir dönemde bugünkü kadar köklü bir değişim yaşamamıştır. Yapay zekâ sistemleri bireyin yalnızca bilgilerini değil; davranışlarını, tercihlerini, ilişkilerini, duygularını ve karar verme süreçlerini de analiz edebilmektedir. Artık geleceğin hukukunda mahremiyet, yalnızca gizlilik hakkı olarak tanımlanamaz. Yapay zekâ teknolojileri, mahremiyet hakkının kapsamını köklü biçimde değiştirmiştir. Klasik hukuk anlayışında mahremiyet bireyin özel yaşam alanının ve kişisel verilerinin korunmasına dayanırken, günümüzde algoritmik sistemler birey hakkında yeni bilgiler üretmekte, davranışlarını tahmin etmekte ve karar verme süreçlerini dolaylı biçimde etkileyebilmektedir. Bu nedenle mahremiyet hakkı yalnızca veri güvenliğiyle açıklanabilecek bir hak olmaktan çıkmıştır.

Çalışma da ulaşılan en temel sonuç, mevcut veri koruma hukukunun yapay zekâ çağındaki mahremiyet sorunlarını tek başına karşılayamadığıdır. Hukukun koruma alanı yalnızca kişisel verileri değil, algoritmalar tarafından oluşturulan çıkarımsal bilgileri, dijital kişiliği ve bireyin zihinsel özerkliğini de kapsayacak biçimde genişletilmelidir.

Bu çerçevede mahremiyet hakkının geleceği, yalnızca kişisel verilerin korunması ekseninde birlikte bireyin düşünsel bağımsızlığını, karar oluşturma süreçlerini ve dijital ortamda kendisi olarak kalabilme kapasitesini güvence altına alan yeni bir insan hakları yaklaşımı içerisinde değerlendirilmelidir. Yapay zekâ çağında mahremiyetin gerçek amacı, bilgiyle birlikte insanın özgür düşünebilme ve özgürce karar verebilme kapasitesini korumaktır.

Mahremiyet; bireyin dijital kişiliğini, zihinsel bütünlüğünü, bilişsel özgürlüğünü ve davranışsal özerkliğini koruyan kapsamlı bir insan hakkına dönüşmekte olduğundan hukukun temel görevi, teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek, bu gelişmelerin insan onurunu, özgürlüğünü ve bireyin kendi yaşamını belirleme hakkını zedelememesini sağlayacak yeni hukukî güvenceleri oluşturmaktır. Zira bu nokta da asık büyük tehlike, bireyin mahremiyetini kaybetmesinin ötesinde, bireyin mahremiyetini kaybettiğini fark edemeyecek kadar görünmez ve sürekli işleyen bir dijital gözetim düzeninin oluşturulmasıdır. Bu yüzden geleceğin insan hakları hukukunun temel görevi, verileri korumaya çalışırken, insanın özgür iradesini ve dijital çağıdaki özerkliğini de koruyabilmek olacaktır.

KAYNAKÇA

Council of Europe. (1950). Convention for the Protection of Human Rights and Fundamental Freedoms (European Convention on Human Rights). <https://www.echr.coe.int>

European Parliament and Council. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 (General Data Protection Regulation). Official Journal of the European Union, L119, 1–88.

European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union.

- Fischer, S. ve Hubner, M. (2000). Privacy and security at risk in the global information society, T. Douglas, B. D. Loader (Ed.), Cybercrime: Law enforcement, security and surveillance in the information age içinde (s.45-63). London: Routhledge.
- Foucault, M. (1977). Discipline and Punish: The Birth of the Prison (A. Sheridan, Trans.). Pantheon Books.
- Geuss, Raymond (2007), Kamusal Şeyler, Özel Şeyler, İstanbul.
- Gifford, R., (1997), Environmental Psychology (Boston: Allyn and Bucon).
- Lyon, D. ve Bauman, Z. (2013). Akışkan gözetim. (E. Yılmaz, Çev.). İstanbul: Ayrıntı Yayınları. (Orijinal çalışma basım tarihi 2012).
- Mill, J. S., (2000), Özgürlük Üstüne, İstanbul.
- OECD. (2019). OECD Principles on Artificial Intelligence. OECD Publishing.
- Rosenberg, R. S. (1992). The social impact of computers. London: Academic Press
- Solove, D. J. (2006). A taxonomy of privacy. University of Pennsylvania Law Review, 154(3), 477–564.
- United Nations. (1948). Universal Declaration of Human Rights.
- UNESCO. (2021). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence.
- Vatandaş, S. (2020). Mahremiyetin dönüşümü ve iletişim araçları. Humanitas, 8(16), 437-458,
- Warren, S. D., & Brandeis, L. D. (1890). The right to privacy. Harvard Law Review, 4(5), 193–220.
- Westin, A. F. (1967). Privacy and Freedom. Atheneum.
- Yüksel, M., (2009), Mahremiyet Hakkına Ve Bireysel Özgürlüklere Felsefi Yaklaşımlar , Ankara Üniversitesi SBF Dergisi 64/01 (01 Ocak 2009): 275-298.
- Zuboff, S. (2019). The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. PublicAffairs.
- 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu. (2016). Resmî Gazete (Sayı: 29677).
- 1982 Anayasası. (1982). Türkiye Cumhuriyeti Anayasası.

ORCID: 0000-0002-4084-246X

Dijital Ekosistemde Çağdaş Bestecilik: Dijital Tüketim Kültürünün Estetik Yansımaları Üzerine Bir İnceleme

Dr. Ahmet Tamer Topuz*
1 Bağımsız Araştırmacı

* Corresponding Author: Ahmet Tamer Topuz
ahmet.tamer.topuz@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma, dijital ekosistemin çağdaş bestecilik pratiği üzerindeki estetik etkilerini platformlaşma, dikkat ekonomisi ve dijital tüketim kültürü ekseninde incelemektedir. Araştırmanın amacı, çevrimiçi müzik platformlarının üretim, dolaşım ve dinleme pratiklerinde meydana getirdiği dönüşümlerin çağdaş bestecilik anlayışına nasıl yansıdığını ortaya koymaktır. Nitel araştırma yönteminin benimsendiği çalışmada, güncel literatür temelinde kavramsal bir çerçeve oluşturulmuş; ardından dijital ekosisteme farklı estetik yaklaşımlar geliştiren Rebecca Saunders, Michel van der Aa ve Max Richter'in bestecilik pratikleri örnek olay incelemesi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, dijital platformların algoritmik işleyişi, optimizasyon mantığı ve playlist odaklı tüketim kültürünün kompozisyon süreçlerini etkilediğini; buna karşın çağdaş bestecilerin bu koşullara direniş, entegrasyon ve adaptasyon ekseninde farklı yaratıcı stratejiler geliştirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak çalışma, dijitalleşmenin çağdaş bestecilik pratiğini tek yönlü biçimde belirleyen bir süreç olmadığını, teknik optimizasyon ile sanatsal özerklik arasında yeni estetik olanaklar ve üretim modelleri doğuran çok katmanlı bir dönüşüm alanı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital ekosistem, çağdaş bestecilik, platformlaşma, dikkat ekonomisi, playlist estetiği.

Contemporary Composing in the Digital Ecosystem: An Examination of the Aesthetic Reflections Of Digital Consumption Culture

ABSTRACT

This study examines the aesthetic impact of the digital ecosystem on contemporary compositional practice through the concepts of platformization, the attention economy, and digital consumption culture. The aim is to reveal how transformations in music production, circulation, and listening practices driven by digital platforms have reshaped contemporary composition. Employing a qualitative research design, the study first establishes a conceptual framework through an extensive review of current literature and then analyzes the compositional practices of Rebecca Saunders, Michel van der Aa, and Max Richter as case studies representing distinct aesthetic responses to the digital environment. The findings indicate that algorithmic recommendation systems, optimization strategies, and playlist-oriented listening cultures increasingly influence compositional processes. Nevertheless, contemporary composers respond to these conditions through diverse artistic strategies characterized by resistance, integration, and adaptation. The study concludes that digitalization should not be understood as a deterministic force that constrains artistic creativity; rather, it constitutes a multilayered environment in which technical optimization and artistic autonomy continuously interact, giving rise to new aesthetic possibilities and compositional approaches.

Keywords: Digital ecosystem, contemporary composition, platformization, attention economy, playlist aesthetics.

1. GİRİŞ

Dijital ekosistem, günümüzde çevrimiçi akış hizmetleri, sosyal medya platformları ve dijital kayıt teknolojileri aracılığıyla müzikal ürünlerin üretim, dolaşım ve tüketim pratiklerinin dijital ağlar üzerinden yeniden şekillendiği karmaşık bir yapıyı ifade etmektedir (Yılma Şakalar ve Şakalar, 2025:109). Bu ağ yapısı, yalnızca teknik veri aktarımını değil, aynı zamanda dijital yayın platformlarının algoritmik yapıları vasıtasıyla kullanıcı deneyiminin yeniden kurgulanmasını da kapsayan çok katmanlı bir süreci temsil etmektedir (Yılma Şakalar ve Şakalar, 2024:67).

Dinleyiciye erişim pratiklerinde yapısal bir dönüşümü beraberinde getirerek fiziksel formatların yerini alan dijital platformlar, müziği anlık tüketilen bir veri akışına dönüştürmüştür (Sulistioyuwono vd., 2026:44). Bu noktada platformlar, sadece teknik birer dağıtım mecraası olmanın ötesine geçerek, yönlendirici içerik

düzenlemeleri ve öneri algoritmalarıyla müziğin hem duyulma biçimini hem de yaratım sürecindeki estetik tercihleri belirleyen kurucu birer aktöre dönüşmüştür (Polak ve Schaap, 2025:4775-4776).

Geleneksel müzik üretim ve dağıtım süreçlerinde köklü bir değişime sebep olan dijital platformların yaygınlaşması, besteleme pratiğini yalnızca teknik bir yetkinlik alanı olmaktan çıkarıp, algoritmik verimlilik ve yönlendirici içerik düzenlemeleriyle şekillenen yeni bir estetik arayışına dönüştürmüştür (Morris, 2020:3). Geleneksel analog kayıt döneminden, dijital platformların sunduğu akış (streaming) altyapısı ve öneri algoritmaları aracılığıyla veri temelli olarak yeniden biçimlenen besteleme pratiklerine doğru yapısal bir dönüşüm yaşanmış ve bu dönüşüm tarihsel bir kopuş niteliği taşımıştır (Le Guern ve Fleury, 2025:1). Bu süreçte müzik, salt estetik bir deneyim olmaktan çıkarak, platformların koşullandırma gücüyle biçimlenen ve dikkat ekonomisinin taleplerine göre yeniden formatlanan “platformlaşmış” bir üretim alanı haline gelmiştir (Kiberg, 2025:263).

Bu çalışma, söz konusu dijital ekosistemin estetik düzlemdeki yansımalarını, üretim ve tüketim paradigmalarındaki dönüşümü göz önüne alarak, platformlaşma, dikkat ekonomisi ve playlist estetiği gibi temel kavramlar ışığında teorik bir zemine oturtmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın müteakip bölümlerinde, söz konusu dijital ekosisteme yönelik farklı estetik tavırlar sergileyen çağdaş besteciler Rebecca Saunders, Michel van der Aa ve Max Richter’in eserleri, belirlenen bu kavramsal çerçeve ışığında irdelenecektir. Böylelikle popüler müzik endüstrisi üzerinden sıkça tartışılan dijitalleşme olgusu, çağdaş sanat müziğinin özerklik ve estetik iddiaları ekseninde yeniden ele alınacaktır.

2. DİJİTAL TÜKETİM KÜLTÜRÜNÜN ESTETİK BİLEŞENLERİ

Dijital tüketim kültürü, müziğin fiziksel bir nesne olmaktan çıkarak platform altyapıları ve veri akışları üzerinden sürekli olarak analiz edilen, sıralanan ve yeniden bağlam kazandırılan varoluşu temel alan bir tüketim modeline dayanmaktadır (Sulistioyuwono vd., 2026:48). Bu süreçte dinleyicinin müzikal tercihleri, artan algoritmik öneri sistemleri tarafından şekillendirilmekte; dinleyici, bu sistemlerle güven, yakınlık ve hayal kırıklığı temelli karmaşık sosyo-teknik ilişkiler kuran bir konuma yerleşirken, aynı zamanda kişiselleştirme mantığının öngörülebilirliğiyle sınırlandırılmaktadır (Freeman vd., 2022:4-8). Bu süreç yalnızca dağıtım kanallarını değil, müziğin temel yapısını ve estetik değerlerini de köklü biçimde dönüştürmüştür; bestecilik pratikleri de algoritmik, ekonomik ve teknolojik parametreler tarafından yeniden biçimlendirilmiştir (Le Guern ve Fleury, 2025:41-42). Bu bölümde, çağdaş bestecilik pratiğini şekillendiren temel dijital dinamikler ele alınırken, “üretken yapay zekâ” (GenAI), bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

2.1. Platformlaşma ve Dikkat Ekonomisi

Müziğin dijital platformlar aracılığıyla sunulması, “platformlaşma” (platformization) denilen bir süreci beraberinde getirmiştir. Bu süreçte müzik, estetik bir nesne olmaktan ziyade, platformun algoritmik yapısına hizmet eden bir “veri seti” olarak işlenir (Morris, 2020:5). Bu optimizasyon süreci, içerik üreticilerinin eserleri dinleyiciyi platform üzerinde tutmaya yönelik stratejilerle yeniden şekillendirmesini zorunlu kılarak, kültürel içeriklerin platform ekosistemine uyumlu hale getirilmesi baskısını artırmaktadır (Morris, 2020:1-4).

Thomas H. Davenport ve John C. Beck’in özellikle işletme ve yönetim stratejileri perspektifinden küresel ölçekte popülerleştirdiği; bilişsel psikolojiden pazarlamaya kadar pek çok farklı disiplinde uygulama alanı bulan “dikkat ekonomisi” (Davenport ve Beck, 2001), bilginin aşırı bolluğu karşısında kıt kaynak haline gelen insan dikkatini yönetmeyi hedefler (Ayyıldız ve Demir, 2022:77). Bu durum, besteciye dinleyicinin dikkatini saniyeler içinde yakalamaya zorlayan bir “sonik optimizasyon” baskısı altına sokar (Morris vd., 2021:164). Bu dinamik, müziğin karmaşık yapısal özelliklerini arka plana iterek, dinleyiciyi platform üzerinde tutmayı amaçlayan, daha tahmin edilebilir ve duygusal açıdan işlevselleştirilmiş estetik kalıpların ön plana çıkmasına neden olmaktadır (Morris vd., 2021:164; Munkholm ve Bach Pedersen, 2024:53). Bu bağlamda müzik dinleme deneyimi, kişiselleştirilmiş çalma listeleri sunan algoritmalar tarafından şekillendirilerek, bireylerin aslında yeni gibi görünen müzikler arasında özgürce tercih yapabiliyormuş yanılgısına düşmesine neden olmaktadır (Altuntaş, 2025:47,84).

2.2. Playlist Estetiği ve Ses Deneyimine Geçiş

Geleneksel albüm odaklı dinleme kültürünün yerini alan “playlist estetiği”, müziği belirli bir ruh hali (mood) veya etkinliğe (odaklanma, uyku, spor vb.) eşlik eden işlevsel bir araç haline getirmiştir (Kiberg, 2025:265). Bu dönüşüm, müziği bağımsız bir estetik yapı olmaktan çıkarıp, arka planda akan bir “ses

deneyimi” veya atmosfere indirgemekte; böylece dinleyiciler, eserin bütününe odaklanmak yerine, onu daha parçalı bir şekilde deneyimlemektedirler (Hesmondhalgh, 2021:13). Bu süreç, bestecilerin “bağlamsal dönüş” (contextual turn) olarak adlandırılan stratejilerle, belirli ruh hallerine veya senaryolara yönelik işitsel dokular kurgulamasına ve dikkat ekonomisinin sınırları dahilinde müzikal içeriği optimize etmesine yol açmaktadır (Kiberg, 2025:265-266). Kjus, Kiberg’in bulgularına atıfla, sanatçıların Spotify gibi platformların sunduğu ruh hali tabanlı playlistlere ve öneri sistemlerine uyum sağlarken yaratıcı özerkliklerini sürekli olarak müzakere etmek zorunda kaldıklarını vurgulamaktadır (Kjus, 2026:1065-1066).

Öte yandan, müzikteki özerk eserin yerini ses deneyiminin aldığına dair bu merkezi argüman, fiziksel mekânların sunduğu direnç imkânlarıyla birlikte değerlendirilmelidir. Simon Chambers, canlı konserlerin dijital çalma listelerine kıyasla çok daha çeşitli ve geniş bir keşif alanı sunduğunu, bu sayede dijital platformların homojenleştirici etkisine karşın, “tanıdık olmayan” (unfamiliar) klasik müzik yapıtlarının fiziksel mekânlarda varlığını sürdürdüğünü **ortaya koymaktadır** (Chambers, 2023:304). Ancak dijitalleşmenin canlı müzik ekosistemi üzerindeki etkisi, canlı performansın özgünlüğünü ve nadirliğini simgeleyen “deneyim ekonomisi” ile bol içerikli bir “dikkat ekonomisi” arasında paradoksal bir gerilime girmesine neden olmaktadır (Zhang ve Negus, 2021:14-15). Dinleyicilerin genel müzik tüketim pratikleri ve neyi dinleyeceklerine dair motivasyonları, dijital platformların sunduğu içerik düzenleme ağları ve algoritmik keşif süreçleri tarafından şekillenmektedir (Bonini ve Gandini, 2019:1). Dahası, konser anı artık özerk bir yapıta odaklanılan izole bir süreç olmaktan çıkmış; dijitalleşme ve dikkat ekonomisi içinde, parçalanmış bir “ses deneyimi” olarak tüketilmeye başlanmıştır (Zhang ve Negus, 2021:14-15). Buna rağmen Chambers’ın bahsettiği fiziksel mekânlardaki çeşitlilik, dijital platformların sunduğu homojenleşmeye karşı alternatif bir keşif alanı oluşturmaya devam etmektedir (Chambers, 2023:304).

2.3. Atlama Davranışı ve Teknik Dayatmalar

Dijital tüketimin en somut estetik yansıması “atlama (skipping) davranışı”dır. Dinleyicilerin yaklaşık %25’inin bir parçayı ilk 5 saniyede, %35’inin ise ilk 30 saniyede geçtiği verisi, kompozisyonel yapıda radikal değişikliklere yol açmıştır (Saygın, 2022:66). Spotify gibi platformlar, bir dinlemeyi “akış” olarak kaydedip telif ödemesi gerçekleştirebilmek için parçanın en az 30 saniye dinlenmesini şart koşmaktadır (Taşbaşı, 2023:66). Bu kural, bestecileri tüm vurucu fikirleri eserin başına yığdıkları bir “ön yükleme” (frontloading) stratejisini benimsemeye zorlamaktadır (Kiberg, 2025:265). Benzer bir yaklaşımla, dinleyiciyi ilk saniyelerde yakalamak amacıyla eserin merkezindeki melodik veya ritmik “kanca” (hook) unsuru, uzun giriş bölümleri feda edilerek doğrudan sunulmaktadır (Kiberg, 2025:265). Bu durumun, tarihsel süreçte gelişim gösteren müzikal yapıların kısalmasına ve bestecilerin dinleyiciyi elde tutmak adına eserlerini daha parçalı, tekrara dayalı ve dramatik gelişimden yoksun bir formda kurgulamasına neden olduğu görülmektedir. Ayrıca, dinleyicilerin parçaların yaklaşık yarısını sonuna kadar dinlemediği verisi, bestecilik pratiğini zaman içindeki dramatik akıştan koparıp, veri analitiğiyle belirlenen “başarılı” pasajların optimizasyonuna dayalı bir yapıya yönlendirmektedir (Saygın, 2022:66). Bu teknik kısıtlamalar, müziğin estetik bütünlüğünü bozarak parçaların dramatik bir gelişim çizgisi yerine, dinleyicinin “atlama” eğilimini asgari düzeye indirmeye çalışan hızlı ve öngörülebilir kurgusal modellere hapsolmasına neden olmaktadır (Kiberg, 2025:265).

2.4. Sistemsel Rasyonalite ve Optimizasyon

Dijital ekosistemde yaratıcılık, yerini işlevsel bir optimizasyon mantığına bırakmaktadır. Bu düzende başarı, eserin içsel sanatsal derinliğinden ziyade, algoritmik yapılar tarafından ne kadar “önerilebilir” (recommendable) olduğu ve çeşitli sayısal verilerle (kaydedilme, atlanma oranları vb.) nasıl bir performans sergilediğiyle ölçülmektedir. Morris ve arkadaşları, bu süreci üreticilerin ve bestecilerin eserlerini “verileştirilmiş içerik” (datafied content) olarak yapılandırmaya ve platform arayüzlerinin teknik beklentilerine cevap verecek şekilde düzenlemeye (optimization) zorlanması olarak tanımlamıştır (Morris vd., 2021:162-163,170).

Bu optimizasyon mantığı, müzik oluşturma sürecinin daha erken aşamalarında, yani dijital ses işleme istasyonları ve nota yazım programları (Ableton, Max/MSP, Dorico vb.) gibi üretim platformlarında başlamaktadır. Yngvar Kjus’un çalışmasında detaylandığı üzere, bu yazılımların arkasındaki şirketler artık sadece araç satmakla kalmayıp, müzik endüstrisini yeniden organize etmekte ve bu ekosistemde başarılı olmak için nelerin gerektiğini teknik düzeyde tanımlayarak üretim aşamasını bizzat “platformlaştırmaktadır” (Kjus, 2026:1063). Bu durum, bestecileri eserlerini sadece bir sanat nesnesi olarak

değil, bir yazılım geliştiricisi gibi düşünerek keşfedilmeye hazır “sonik içerik ve kodlanmış metaverilerin birleşimi” olarak kurgulamaya zorlamaktadır (Morris, 2020:1).

Bu stratejik dönüşüm, Spotify’nın “Keşfet Modu” gibi daha yeni ekonomik optimizasyon mekanizmalarında kendini somutlaştırmaktadır. Frederik Juul Jensen’in 2024 tarihli çalışmasında ele aldığı üzere, sanatçılar ve hak sahipleri algoritmik önerilerde öncelik kazanmak (favoring in recommendations) adına telif haklarının belirli bir yüzdesinden vazgeçmeyi (lower royalty rate) kabul etmektedir. Bu durum, optimizasyon mantığının yalnızca estetik bir form arayışı olmadığını, aynı zamanda sanatçının kendi telif geliri üzerinden algoritmik görünürlük satın aldığı derin bir “ekonomik optimizasyon” sürecine işaret ettiğini göstermektedir. Böylelikle müzikal yapının başarısı, bestecinin bu dijital ekosistemdeki finansal ve teknik “vazgeçişleri” ne kadar verimli yönettiğiyle doğrudan ilişkili hale gelmektedir (Jensen, 2024:12).

Sonuç olarak, hem üretim yazılımlarının getirdiği teknik sınırlar hem de platformların görünürlük karşılığında dayattığı ekonomik fedakarlıklar, sanatsal özerkliğin yerini teknik ve ekonomik bir mantık çerçevesinde şekillenen bir üretim biçimine bırakmasına neden olmaktadır (Morris vd., 2021:162-163,170). Popüler müzik üretiminde doğrudan ekonomik bir karşılık bulan bu optimizasyon mantığı, çağdaş sanat müziği bestecileri üzerinde de dolaylı bir hegemonya kurmakta; estetik özerklik ile dijital görünürlük arasında yeni bir uzlaşma veya direnç alanı yaratmaktadır.

1970’lerden bu yana kapitalizmin ve finansal gücün yeni biçimlerinin bir sonucu olarak, popüler müzik unsurlarının sanat müziği kompozisyonuna entegrasyonu, bu alanın geleneksel “müzikal özerklik” ilkesini sistematik olarak ihlal etmekte ve devlet destekli kurumsal fonlama yapısının yerini şirket sponsorluğuna bırakmasına yol açmaktadır (Ritchey, 2017:5-6,19). Eric Drott ise, dijital platformların müziği geleneksel anlamda bir “eser” (work) olmaktan çıkarıp, veri akışı içinde değer üreten bir “varlığa” (asset) dönüştürdüğünü savunur (Drott, 2024:1,11). Bu bağlamda, çağdaş besteci üzerindeki optimizasyon baskısı, eserin sanatsal bütünlüğünden ziyade, onun dijital ekosistemdeki “meta-veri (metadata) uyumluluğu” ve “çalma listesi işlevselliği” üzerinden kurulmaktadır (Woods, 2023:217,228,247). Dolayısıyla sanat müziğinde rasyonalite, popüler müzikteki gibi doğrudan bir tüketici beğenisi optimizasyonundan ziyade müziğin bir “içerik” olarak platform ekonomisinin döngüsüne eklemlenme biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. ALGORİTMİK RASYONALİTEYE KARŞI SANATSAL YANITLAR: DİRENİŞ, ENTEGRASYON VE ADAPTASYON

Dijital platformların dayattığı sistemsel rasyonalite ve optimizasyon mantığı, geleneksel bestecilik özerkliğini teknik bir çerçevenin içine hapsederken, çağdaş sanatçılar bu baskıya karşı farklı müzikal stratejiler geliştirmektedir. **Bu süreçte, ekosistemin kurumsal ve ekonomik çatısını oluşturan “sistemsel rasyonalite”, kompozisyonel düzlemde kendini “algoritmik rasyonalite”nin matematiksel ve kısıtlayıcı ölçütleri (atlama davranışları, telif kodları vb.) olarak somutlaştırmaktadır.** Besteciler ise, dijital araçları ya yaratıcı süreci genişleten birer enstrüman olarak içselleştirmekte ya da platformların sunduğu parçalanmış tüketim modeline karşı estetik bir bariyer inşa etmektedir. Söz konusu sanatsal yanıtlar sadece teknik bir kabulleniş değil, aynı zamanda verileşmiş bir içerik dünyasında müziğin sanatsal derinliğini ve özgül ağırlığını koruma çabasıdır. Bu bölümde incelenecek olan Saunders, van der Aa ve Richter’in pratikleri, dijital ekosistemin teknik kısıtları ile sanatın sınırsız ifade gücü arasındaki gerilimli ilişkinin farklı tezahürlerini temsil etmektedir.

3.1. Rebecca Saunders: Sessizliğin ve Tımsal Derinliğin Estetik Direnişi

Birleşik Krallık doğumlu olan ve kariyerini büyük ölçüde Berlin’de sürdüren Rebecca Saunders (1967), müzik eğitimine kemanla başlamış; Edinburgh Üniversitesi’nde müzik eğitimi aldıktan sonra Karlsruhe Müzik Yüksekokulu’nda Wolfgang Rihm, daha sonra Edinburgh’da Nigel Osborne’dan kompozisyon eğitimi almıştır. Kariyeri boyunca Ernst von Siemens Müzik Ödülü (2019), Mauricio Kagel Ödülü ve GEMA gibi prestijli ödüllere layık görülen besteci, Berlin Sanat Akademisi üyeliğinin yanı sıra Dresden Staatskapelle’de yerleşik besteci olarak görev yapmıştır. Darmstadt Yaz Kursları ve IMPULS Akademisi gibi çağdaş sanat müziğinin önemli merkezlerinde düzenli olarak ders veren Saunders, 2011 yılından bu yana Hannover Müzik, Tiyatro ve Medya Yüksekokulu’nda kompozisyon profesörü olarak akademik kariyerini sürdürmektedir.

Saunders’ın bestecilik anlayışının ayırt edici özellikleri; kurmalı müzik kutuları gibi mekanik enstrümanların kullanımı, sessizlik, kısa müzikal ifadeler ve müziğin mekânsallaştırılmasıdır

(spatialisation). Eserlerinde mekân ve sessizlik temel kompozisyon parametreleri olarak öne çıkarken; *Chroma*, *Stasis* ve *Yes* gibi yapıtlarında müzisyenlerin performans alanındaki konumları ile dinleyicinin mekân içindeki hareketleri işitsel algının biçimlenmesinde belirleyici rol oynar. James Joyce'un *Ulysses* romanından esinlenen *Crimson*, Sasha Waltz ile ortak çalışması olan koreografik enstalasyon *Insideout* ile insan sesinin metinden bağımsız enstrümantal bir unsur olarak ele alındığı *Albescere*, *Skin* ve *The Mouth* gibi vokal/enstrümantal yapıtlar, Saunders'ın ses, mekân ve sessizlik arasındaki ilişkiyi merkeze alan özgün bestecilik anlayışını en belirgin biçimde yansıtan eserler arasında yer almaktadır (IRCAM-Centre Pompidou, 2020).

3.1.1. Sessizlik ve Ses Doygunluğu: Tınısal Malzemenin Estetik Direniş Stratejisi

Saunders'ın estetik pratiği, dijital platformların dayattığı hız ve süreklilik yapısına karşı tınısal malzemenin iki karşıt ucu olan sessizliği ve ses doygunluğunu, sistematik bir direniş stratejisi olarak kullanır. Bu iki kutup birbirini yok eden tercihler değil, aynı tınısal bütünün birbirini tamamlayan iki önemli bileşenidir. Saunders müziğinde sessizlik, sesin tınısal izlerini bıraktığı boş bir tuval olarak işlev görür (Gonzalo Carbó, 2023:133). Bu kullanım Beckett'in edebi sessizliğinden ve Rothko'nun renk alanlarından esinlenen bir "beyaz düzlem" (blanco plano) kurgusuna dayanır: Beckett, Mallarmé ve Celan geleneğinde beyazlık, "yazının ve konuşan öznenin çözülmesinin" nihai gerçekliğini temsil eder; ses bu düzlemde kökensel sessizliğe geri dönüş sürecine girer (Gonzalo Carbó, 2023:133-147). Bu yaklaşımla dinleyici, sesin yokluğunda onun izini sürmeye ve Blanchot'un Beckett için tarif ettiği biçimiyle yalnızca "duyma koşullarının hazırlandığı" bir beyaz yazı deneyimine davet edilerek (Gonzalo Carbó, 2023:146), dijital ekosistemin kesintisiz içerik akışına yapısal bir karşı duruş sergilenir.

Sessizlik negatif boşluk olarak işlev görürken, ses doygunluğu aynı direniş mantığının pozitif kutbunu oluşturur. Özellikle *Fury II* gibi eserlerinde gözlemlenen, kontrastlar yoluyla sağlanan süreklilik ve yüksek yoğunluklu ses blokları, dinleyiciyi eserin fiziksel tınısına ve dolayısıyla ses doygunluğuna odaklar (Lin, 2026:1,23,25). Bu durum yapısal olarak bir "atlama barikadı" işlevi görür; dinleyici, eserin tınısal ağırlığına odaklanmak ve dijital platformların atlama refleksini geçici olarak askıya almak zorunda bırakılır. Bu yaklaşım, ses doygunluğunu dinleyicinin veri davranışı üzerinde mutlak kontrol iddiasına dönüştürmek yerine, onu estetik bir *direnç stratejisi* olarak konumlandırır.

Sessizliğin ve ses doygunluğunun oluşturduğu bu iki kutup, Saunders'ın tını merkezli kompozisyon (timbre-based composition) anlayışı içinde bütünleşir. Bestecinin kendi deyişiyle "bir sesin tınısal olarak başka bir sese dönüşmesi" (timbral mutation) süreci kompozisyonunun başlangıç noktasıdır (Abram, 2021:20). Abram'ın *Ire* ve *Still* üzerine yaptığı analiz, tınıyı makro-form düzeyine taşıyarak algısal gruplandırmaların sürekli yeniden yapılandırıldığını; aynı sesin farklı sonik bağlamlara yerleştirilmesiyle üretilen "algısal belirsizlik" (perceptual ambiguity) sayesinde müziğin çoklu algısal yorumlamaya izin verdiğini gösterir (Abram, 2021:20-21,34). Dolayısıyla sessizlik ve doygunluk, dijital platformların hesaplanabilir tüketim modellerine karşı Saunders'ın tınısal direnişinin iki kutbunu teşkil eder; bunlardan birincisi dinleyiciyi sesin yokluğuyla yüzleştirir, ikincisi ise tınısal yoğunlukla eserin içine hapseder. Her iki durumda da müziğin yüzeysel tüketimi yapısal olarak zorlaştırılmış olur.

3.1.2. Dijital Süreksizliğe Karşı Mekânsal Bütünlük

Saunders, geleneksel orkestrasyonun çok ötesinde, bir topluluğun (ensemble) tüm üyelerinin tek bir enstrüman gibi hareket etmesini ifade eden "kompozit enstrüman" (composite instrument) yaklaşımı ve mekânsal jestlerle bütünlük inşa eder (Lin, 2026:63-64). Onun eserlerindeki tınısal dokular, farklı perspektiflerden bakıldığında değişen ancak özünde kopmaz bir bağla birbirine tutunan bir yapı arz eder. Özellikle *Chroma*, *Stasis* ve *Yes* gibi yapıtlarındaki icracı ve dinleyici konumları konusundaki hassasiyeti, müziğinin mekânsal bağlamda derinliğini ortaya koymaktadır. Bu mekânsallık, müziğin sadece arka planda akan bir akış değil, dinleyicinin fiziksel olarak içinde bulunduğu ve parçalara ayıramayacağı bir "mekân-ses" bütünlüğü olduğunu gösterir niteliktedir. Bu sayede Saunders, müziği algoritmik birer veri seti olmaktan çıkarıp, kendine özgü zamanı ve mekânı olan bir sanat nesnesi olarak yeniden konumlandırır.

3.2. Michel van der Aa: Dijital Süreçlerin Kompozisyonel Bir Enstrümana Dönüşümü

Hollanda doğumlu besteci, yönetmen ve multimedya sanatçısı Michel van der Aa (1970), kariyerine Lahey Kraliyet Konservatuvarı'nda ses kayıt mühendisliği eğitimi olarak başlamış; klasik gitar eğitiminin ardından Diderik Wagenaar, Gilius van Bergeijk ve Louis Andriessen ile kompozisyon çalışmıştır. Daha sonra New York Film Academy'de film yönetmenliği, Lincoln Center Theater Director's Lab'de ise sahne yönetmenliği üzerine eğitim alarak disiplinler arası sanat anlayışını geliştirmiştir. Ernst von Siemens Besteci Bursu (2005), Paul Hindemith Ödülü (2006), Grawemeyer Müzik Kompozisyonu Ödülü (2013), Mauricio Kagel Ödülü (2013) ve Hollanda'nın devlet sanat ödülü olan Johannes Vermeer Ödülü'ne (2015) layık görülen van der Aa, Concertgebouw Orkestrası'nın yerleşik bestecisi olarak görev yapmıştır. Bestecinin eserleri dünyanın önde gelen orkestraları, opera kurumları ve festivalleri tarafından düzenli olarak seslendirilmektedir.

Van der Aa'nın bestecilik anlayışının ayırt edici özellikleri; müziği, film, video, elektronik, dijital medya, sanal gerçeklik ve tiyatro ile bütünleştiren disiplinler arası yaklaşımıdır. Eserlerinde akustik ve elektronik ses dünyası, görsel anlatı ve sahneleme teknikleri tek bir dramatik yapı içerisinde birleşirken; besteci çoğu yapıtında video tasarımını, film yönetmenliğini, metin yazarlığını ve sahne rejisini de üstlenerek çok katmanlı bir anlatım dili oluşturur. *After Life, The Book of Disquiet, Sunken Garden, Blank Out, Eight, Upload, The Book of Water* ve *From Dust* gibi multimedya yapıtlarının yanı sıra prömiyeri gerçekleştirilen film operası *Theory of Flames*, van der Aa'nın müzik, sinema ve dijital teknolojileri bütüncül bir sanatsal anlatım aracına dönüştüren özgün bestecilik anlayışını en belirgin biçimde yansıtan eserler arasında yer almaktadır (Boosey & Hawkes, 2026).

3.2.1. Akustik ve Dijitalin Mecralar Arası Bütünleşmesi

Van der Aa'nın bestecilik pratiği, sahne üretim sürecini kavramsal bir "laboratuvar" olarak yeniden tasarlar. Sikau'nun *Upload* operasının Hollanda Ulusal Opera'daki provasına ilişkin sahaya dayalı tanıklığı, yedi dev ekran, hareket yakalama kamerası ve canlı sanal avatar arasında organize edilen bir teknolojik oluşum sürecini belgelemektedir (Sikau, 2022:61-67). Bariton Roderick Williams'ın bedeni çoklu ekran kurulumuna yansıtılarak bir sanal avatara dönüştürülürken besteci, sanal figürü en küçük partiküler yapı ve kontrastlara kadar "sınama ve çürütme" (testing and falsification) süreciyle tasarlamaktadır (Sikau, 2022:61,69). *Sahne yönetmeninin besteciyle özdeşleştiği bu yapıda bariton Williams, van der Aa'nın bedensel uzantısı olarak kendini onun sanatsal vizyonu için bir avatar olarak konumlandırır, besteci ise vizyonunu bedenlerde ve stüdyo materyallerinde depolar* (Sikau, 2022:73). Bu laboratuvar yapısı, sahneyi salt temsilin değil üretimin mekânı haline getirmektedir.

Swift'in mecralar arası (intermedial) performans analizine göre bu prodüksiyonlar, dijital ve canlı formların varsayılan alımlama stratejilerini problematize ederek izleyiciyi pasif bir gözlemcilikten çıkarıp kompozisyon sürecine (compositing process) dahil eder (Swift, 2019:3,11-12). Van der Aa kendi ifadesiyle müzik ve videonun eşzamanlı gelişimine izin vererek iki formun birbirini "*değişen perspektiflerin oyunu*" (*play of changing perspectives*) içinde uzatmasını sağlar (Swift, 2019:10). Pratikte besteci, partiyonu ayrı bir yönetmene verip film çekmesini istemek yerine, besteci ve film yapımcısı rolleri tek bir elde birleşir; sahne ve müzik eşzamanlı tek bir operasyon olarak inşa edilir (Swift, 2019:10). *Sonuç olarak bu yapılar, izleyicinin yapıtı edilgen tüketim yerine etkin karar verme süreçleriyle deneyimlediği bir sanat yapıtı olarak kavramsal düzlemde kesişir; izleyicinin yapıtla ilişkisi, yapıtın salt ne hakkında olduğu sorusundan çıkıp onu nasıl deneyimlediğine ilişkin bir sürece dönüşür* (Swift, 2019:5).

Bu bütünleşme sürecinde immersive teknolojiler (VR, 3rd-order Ambisonics kayıtları) ve etkileşimli konser programları yeni estetik paradigmlar açarak operatik üretim ve kayıt dinamiklerini karşılıklı olarak yeniden çerçeveler. Bu eğilim, van der Aa'nın müziğinde, teknolojinin gösteri elemanı (show element) olarak değil dramatik yapının hayati parçası (vital part) olarak tasarlanmasıyla somutlaşır (Gasselseder ve Kallionpää, 2019:409-411). *MIDI dosyalarının orkestral tınıları taklit edip eşlikçiyi gereksiz kılmasıyla birlikte teknolojik ses-mekân stratejisi, kaynak ayrımını çözüp sahne-müzik sınırlarını bulanıklaştırır; ses sağdan ve önden değil, kaynaklarından ayrılarak surround hoparlörler aracılığıyla her yerden yükselir* (Sikau, 2022:75-76). Böylelikle dijital ekosistemin parçalayıcı yapısına karşı teknoloji, sanatın içinde birleştirici ve derinleştirici bir güç olarak yeniden konumlanır.

3.2.2. Bir Üst-Mecra Olarak Opera ve Mecra Görünürlüğü

Van der Aa'nın *Blank Out* (2015/16) yapıtı, üst-mecra (hypermediacy) kuramını bilinçli bir dramaturjik strateji olarak kullanır. Van Treeck'in analizine göre bu yapıt soprano, bariton, koro ve 3D film bileşenlerinden oluşan çoklu ortamlı bir "chamber opera"dır. Kadın bedeni sahne üzerindeki fiziksel varlığıyla temsil edilirken erkek karakter yüksek çözünürlüklü 3D teknolojisiyle yansıtılan önceden üretilmiş film malzemesi aracılığıyla temsil edilir (van Treeck, 2023:9,14). Bu medya ataması, üst-mecra ile kurulan temsil yapısının ön koşuludur; ekran, kamera ve kayıt sistemleri sahne illüzyonunu gizlemek yerine görünür kılarak izleyicinin teknolojik inşa sürecine tanıklık etmesi sağlar. Yapıtın çoklu perspektif yapısı, travma ve beden hafızasının dijital/canlı bölünmesiyle eşzamanlı çalışır (van Treeck, 2023:14,18).

Havelková'nın üst-mecra (hypermedium) kuramı çerçevesinde bu yaklaşım, sahnedeki "deneyim noktasını" (point of experience) görünür kılar; medyanın opaklığı inkâr eden şeffaflık (immediacy) yerine, çoklu temsil edimlerinin görünür kılındığı bir yapı olarak işlev görür (Havelková, 2017:2,67). Bu yapılandırma, anlam üretimini, izleyicinin algılama biçimlerini ve algılanan şeyin bedensel/fizyolojik duyarlılığını kökten değiştirir. Van Treeck'in *Blank Out* analizinde sahneye taşınan üst-mecra, Bolter ve Grusin'in tanımıyla "çoklu temsil edimlerini kabul eden ve onları görünür kılan" bir estetik strateji olarak konumlandırılır; van der Aa ise bu stratejiyi anlam yoğunluğunu artıran ve etki potansiyelini ortaya çıkaran bir unsur olarak işlevselleştirir (van Treeck, 2023:9,11,28).

Van der Aa'nın *Upload* prova sürecinde besteci, sanal avatara yönelik taleplerinde teknik sınırların ötesinde estetik vizyonu önceliklendirir (Sikau, 2022:69); bu durum bedenlerin veri taşıyıcıları haline geldiği bir prodüksiyon mantığı ortaya koyar. Besteci bu çok katmanlı yapıyla izleyiciyi bilişsel açıdan derinlikli bir deneyimin parçası olarak konumlandırır; platform rasyonalitesinin gizlediği dijital müdahaleleri estetik nesnelere dönüştürerek teknolojinin inşa süreçleriyle yüzleşmeye davet eden bir deneyim alanı yaratır.

3.3. Max Richter: Playlist Estetiği ve İşlevsel Müziğin Sanatsal Yeniden İnşası

Almanya doğumlu Britanyalı besteci ve piyanist Max Richter (1966), çağdaş klasik müzik ile elektronik müziği bir araya getiren post-minimalist yaklaşımıyla uluslararası alanda tanınmaktadır. Edinburgh Üniversitesi ve Londra Kraliyet Müzik Akademisi'nde kompozisyon eğitimi aldıktan sonra İtalya'da Luciano Berio ile çalışmalarını sürdürmüştür. Kariyerinin ilk yıllarında çağdaş müzik topluluğu Piano Circus'un kurucu üyeleri arasında yer alan Richter, daha sonra bale, sinema, televizyon ve sahne sanatları için bestelediği eserlerle geniş bir dinleyici kitlesine ulaşmıştır. Wayne McGregor, Denis Villeneuve, Martin Scorsese ve Ari Folman gibi koreograf ve yönetmenlerle gerçekleştirdiği iş birliklerinin yanı sıra, görsel sanatçı Yulia Mahr ile kurduğu Studio Richter Mahr bünyesinde disiplinler arası projelerini sürdürmektedir. Eserleri günümüzde dünyanın önde gelen konser salonlarında, festivallerinde ve sahne sanatları kurumlarında düzenli olarak seslendirilmektedir.

Richter'in bestecilik anlayışının ayırt edici özellikleri; geleneksel orkestral yazıyı elektronik sesler, tekrara dayalı yapılar ve sinematik anlatımla bütünleştiren post-minimalist yaklaşımıdır. Eserlerinde yalın melodik yapı, zengin armonik dokular ve tekrar ilkesine dayalı zamansal kurgular ön plana çıkarken; müziği çoğu zaman insan belleği, zaman algısı, uyku, doğa ve kolektif hafıza gibi temalar etrafında şekillenir. Kataloğu dijital müzik platformlarında üç milyar barajını aşan bir akış (streaming) hacmine ulaşan sanatçının; *The Blue Notebooks*, *Memoryhouse*, *Voices*, *In A Landscape* ile Antonio Vivaldi'nin yapıtını yeniden yorumladığı *Recomposed: Vivaldi - The Four Seasons* gibi albümlerinin yanı sıra, ses ile uyuyan zihin arasındaki etkileşimi inceleyen kült projesi *Sleep* ve bu projenin onuncu yılına özel olarak rüya evresine odaklanan *Sleep Circle* gibi çalışmaları, çağdaş klasik müzik ile elektronik müziği özgün bir estetik anlayış içerisinde birleştiren bestecilik yaklaşımını en belirgin biçimde yansıtan yapıtlar arasında yer almaktadır (Deutsche Grammophon, 2026).

3.3.1. Bellek İzlerinden Playlist Optimizasyonuna: Ses Deneyimi Olarak Kompozisyon

Richter'in *Memoryhouse* albümü, klasik, minimalist ve elektronik unsurları tekrara dayalı bir zeminde harmanlayarak kişisel hafıza katmanlarını kompozisyona yerleştirir (Maldonado Ribadeneira, 2017:14); bu yapı, dijital çağın hızına karşı politik bir duruş olarak yavaşlığı savunan estetik anlayışla örtüşür (Tartıcı, 2019:646). Söz konusu yönelimin kökleri, De Munk'un derlemesinde aktardığı otobiyografik ifadeye dayanır; yüksek modernist klasik müzik eğitimi aldığını, sonrasında teknik açıdan sofistike olan bu dilin temelde etkisiz olduğunu düşünmüş olan Richter, bilinçli olarak olabildiğince sade bir dili tercih etmiştir.

Bu bilinçli yalınlaşma, ses malzemesini yalıtılmış hücreler halinde döngüler içinde yeniden düzenleyip elektronik dokularla harmanlayan post-minimalist stratejiyi tetiklemiştir (De Munck, 2024:31,32).

Söz konusu stratejinin en somut ticari örneği, Vivaldi'nin *Dört Mevsim*'ini 2012'de minimalist tekniklerle yeniden yorumlayan *Recomposed* projesidir; çalışma klasiği müzeleşmiş bir yapıdan çıkarıp dijital çağı "yeniden kurgulama" ve "yeniden bağlamlandırma" dinamikleriyle buluşturarak geçmişin tınlarını günümüzün "ses deneyimi" talebine göre yeniden inşa eder (Izergina ve Alexeeva, 2020:167; De Munck, 2024:21,31). Bu noktada Walter Benjamin'in *Zerstreuung* (dağınık dikkat) kavramıyla örtüşen bir dinleme devreye girer ve dinleyici aktif yorumlayıcı konumundan çıkarak müziği duyumsayan bir konuma geçer (De Munck, 2024:32,34). Deutsche Grammophon gibi plak şirketlerinin satış rakamlarını artırması ve genç dinleyicileri konser salonlarına çekmesi ise bu yeniden kurgulamayı klasik müzik repertuvarına "playlist optimizasyonu" penceresinden erişilebilirlik kazandıran bir stratejiye dönüştürmüştür (De Munck, 2024:31,32). *Memoryhouse*'un kişisel hafızasından Vivaldi'nin kolektif repertuvarına uzanan bu hat, dijital çağa uyarlanmış post-minimalist "ses deneyimi" estetiğinin en somut göstergesidir.

3.3.2. Dijital Ekosistemde Zamansal Sabotaj: Yavaş Tüketilebilir Ürün Olarak Sleep

Richter'in dijital ekosisteme en radikal sanatsal yanıtı, sekiz saatlik *Sleep* projesiyle somutlaşır; eser dinleyicinin uyku sırasında deneyimlemesi amacıyla bilinçli olarak kurgulanmıştır (De Munck, 2024:32-33). *Ayten Tartıcı*, *Richter'in kendi ifadelerini aktararak Sleep'i "bilgi otoyoluna kurulmuş bir yol engeli" (roadblock on the information super highway) olarak tanımladığını ve yapıtın 21. yüzyılın dikkat sömürüsüne dayalı yaşam kalitesine karşı bilinçli bir sanatsal eleştiri işlevi gördüğünü vurgular* (Tartıcı, 2019:646). Eser, dijital platformların talep ettiği hızın aksine, dinleyiciyi aşırı yavaş bir sürece davet ederek klasik müzik repertuvarının yapısal krizine post-minimalist bir karşılık olarak bir "yavaş tüketilebilir ürün" (slow consumable) modeli oluşturur (De Munck, 2024:21,32; Tartıcı, 2019:665,666).

Bu yapıt, müziği salt estetik bir beğeni nesnesi olmaktan çıkarıp uyku gibi biyolojik bir sürece eşlik eden "işlevsel bir araç" olarak konumlandırır; Richter *Sleep*'i kurgularken bir nörobilimcinin yardımıyla uykunun farklı evrelerindeki beyin dalgalarını taklit ederek gevşetici etkiyi en üst düzeye çıkarmayı hedeflemiş, böylece kompozisyonun odak noktasını müzikal içerikten dinleyiciye kaydırmıştır (De Munck, 2024:27,33). Anwen Crawford'un *The New Yorker*'daki gözlemiyle ifade ettiği üzere bu müzik "kilit gelişmeleri kaçırdığınız endişesi duymadan girip çıkmanıza izin verecek kadar tekrarlayıcıdır"; yani bilinçli dikkat için değil, duyumsanmak için tasarlanmıştır (De Munck, 2024:33).

Richter, bu devasa yapıtla platformların "atlama" üzerine kurulu ekonomik çarklarını zamansal bir sabotajla yavaşlatır. Dinleyiciye eserin içinde pasif bir şekilde var olma özgürlüğü tanıyarak, geleneksel konserin dayattığı aktif dikkat zorunluluğunu estetik bir kaçış yolu ile yönetir, eserin uzunluğuyla dinleyicinin sabrını zorlamaktan ustaca kaçınır. Eser canlı olarak icra edildiğinde bile dinleyicilere performansın bazı bölümlerinden uzaklaşma serbestisi tanınmıştır (Tartıcı, 2019:646). Bu bağlamda *Sleep*, kapitalist hız karşıtı bir misyonla bu hızın sunduğu tüketim modeli arasında denge kuran ve politik bir duruşu estetik riskleri azaltarak ileten paradoksal bir yapıdır (Tartıcı, 2019:646,659). Böylece dijital platformların sunduğu görünürlük alanından feragat etmek yerine, platformların işlevsel ve kategorik beklentilerine uyum sağlayan yavaş tüketilebilir ürünler konumlanır (Tartıcı, 2019:656,657,664). *Bu noktadan hareketle, Sleep projesinde gözlemlenen "direnış", platform rasyonallitesini doğrudan reddetmekten ziyade; o rasyonallitenin dağınık dikkate olan eğilimini ve uzun süreli düşük uyarınlı içerik ihtiyacını karşılayan müzakere tabanlı hibrit bir stratejiye işaret eder* (Tartıcı, 2019:646,659,669).

4. SONUÇ

Dijital ekosistemin müzikal üretim üzerindeki etkisi, yalnızca yeni teknolojilerin bestecilik pratiğine dahil olmasıyla açıklanabilecek teknik bir değişimin ötesinde; üretim, dolaşım ve dinleme biçimlerini birlikte dönüştüren kapsamlı bir estetik yeniden yapılanmadır. Platformlaşma, dikkat ekonomisi, playlist estetiği ve optimizasyon mantığı gibi dinamikler, müziğin yalnızca dolaşıma girme koşullarını değil, kompozisyonun biçimsel ve kavramsal sınırlarını da yeniden tanımlamaktadır. Bu bağlamda sistemsel rasyonallite, dijital platformların ekonomik ve kurumsal işleyişini belirleyen üst çerçeveyi oluştururken; algoritmik rasyonallite, bu çerçevenin kompozisyon düzlemindeki somut yansımalarını, yani atlama davranışı, öneri algoritmaları, meta-veri uyumluluğu ve keşfedilebilirlik gibi teknik ölçütleri ifade etmektedir. Böylece besteci, yalnızca ses örgütleyen bir sanatçı değil, sanatsal özerklik ile platformların teknik beklentileri arasında sürekli denge kurmaya çalışan bir özne haline gelmektedir.

Bu dönüşüm, sanatsal özerklik kavramını da yeniden düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Günümüzde bestecilik pratiği, artık dış dünyadan bağımsız estetik bir faaliyet olmaktan ziyade, algoritmik görünürlük, ekonomik sürdürülebilirlik ve dijital dolaşım ağlarıyla kurduğu ilişkinin niteliği üzerinden şekillenmektedir. Bununla birlikte bu durum, yaratıcılığın ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Aksine dijital ekosistem, bestecileri aynı anda hem platformların teknik mantığına uyum sağlamaya hem de bu mantığın sınırlarını estetik yollarla sorgulamaya yönelten yeni ifade alanları üretmektedir. Bu süreçte besteci ile sipariş veren arasındaki geleneksel ilişki de dönüşmüş, kurumsal sipariş mekanizmaları bütünüyle ortadan kalkmak yerine, algoritmik görünürlük ve platform ekonomisinin belirlediği yeni bir yapı içerisinde yeniden tanımlanmıştır. Böylece besteci, bir yandan sanatsal kurumların estetik beklentileri, diğer yandan dijital platformların veri uyumluluğu talepleri arasında üretimini sürdürmek durumunda kalmıştır. Dolayısıyla çağdaş bestecilik pratiği, sistemsel rasyonalite karşısında edilgen bir uyarlanma süreci değil, farklı düzeylerde gerçekleşen direniş, entegrasyon ve adaptasyon stratejilerinin birlikte var olduğu dinamik bir üretim alanı olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada incelenen üç besteci, söz konusu stratejilerin birbirinden ayrılan ancak birbirini tamamlayan örneklerini ortaya koymaktadır. Rebecca Saunders, sessizlik, tınısal yoğunluk ve mekânsal bütünlük üzerine kurduğu estetik anlayışıyla dijital platformların hız, süreklilik ve parçalanma mantığına karşı güçlü bir estetik direniş geliştirmektedir. Müziğinde sessizlik yalnızca boşluk değil, işitsel algıyı yeniden yapılandıran etkin bir kompozisyon unsuru; yoğun tınısı blokları ise dinleyiciyi yüzeysel tüketim refleksinden uzaklaştıran estetik bir odaklanma alanıdır. Böylece Saunders, müziği algoritmik tüketim döngüsünün ötesinde, kendine özgü zamanı ve mekânı bulunan bütüncül bir sanat nesnesi olarak yeniden konumlandırmaktadır.

Michel van der Aa ise dijital teknolojileri kompozisyonun harici yardımcıları olarak değil, yaratıcı sürecin asli bileşenleri olarak ele almaktadır. Film, elektronik, sanal gerçeklik ve sahne teknolojilerini müzikle bütünleştiren yaklaşımı, dijital araçların sanatsal anlatıyı sınırlamayan, aksine genişleten bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle üst-mecra anlayışı ve mecralar arası dramaturjisi sayesinde teknoloji, görünmez bir altyapı olmaktan çıkarak estetik anlam üretiminin doğrudan parçasına dönüşmektedir. Bu yönüyle van der Aa'nın pratiği, dijital ekosistemin sunduğu teknik imkânların sanatsal özerklikle çelişmek zorunda olmadığını, aksine yeni anlatım biçimlerinin gelişmesine olanak sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Max Richter ise dijital ekosistemin işleyişini reddetmek yerine onun içinde işleyen farklı bir adaptasyon modeli geliştirmektedir. Playlist estetiği, işlevsel dinleme kültürü ve ses deneyimi kavramlarını post-minimalist diliyle yeniden yorumlayan Richter, özellikle *Sleep* projesinde dikkat ekonomisinin hızına karşı zamansal bir sabotaj gerçekleştirirken, aynı zamanda platformların uzun süreli ve düşük uyarınlı içerik talepleriyle de **eleştirel bir uyum ilişkisi kuran** hibrit bir yaklaşım benimsemektedir. Böylece eser, algoritmik rasyonaliteyi doğrudan reddeden bir karşı çıkıştan ziyade, onun işleyiş mantığını dönüştürmeye çalışan estetik bir yeniden konumlandırma örneği haline gelmektedir.

Bu üç yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, dijital ekosistemin dayattığı teknik ölçütlerin çağdaş besteciliği tek tip bir üretim modeline indirgemediği görülmektedir. Platformların 30 saniye kuralı, atlama davranışı, öneri algoritmaları ve optimizasyon mekanizmaları, özellikle popüler müzik üretiminde belirgin karşılıklar bulsa da çağdaş sanat müziğinde aynı ölçüde belirleyici değildir. Bunun yerine bu dinamikler, estetik özerklik ile dijital görünürlük arasında yeni **denge arayışları** oluşturarak bestecilerin farklı stratejiler geliştirmesine zemin hazırlamaktadır. Çağdaş sanat müziğinin görece özerk üretim koşulları, dijital platformların homojenleştirici etkisine karşı alternatif ifade biçimlerinin sürdürülebilmesini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak çağdaş bestecilik pratiği, teknik optimizasyon ile sanatsal özerklik arasında kurulan çok katmanlı bir müzakere alanına dönüşmüştür. Dijital ekosistemin geleceğinde belirleyici olan, algoritmik sistemlere bütünüyle teslim olmak ya da onları bütünüyle reddetmekten ziyade, bu sistemlerin sunduğu teknik ve estetik imkânları yaratıcı biçimde yeniden yorumlayabilmektir. Saunders'ın estetik direnişi, van der Aa'nın teknolojiyi yaratıcı bir enstrümana dönüştüren bütüncül yaklaşımı ve Richter'in platform mantığını dönüştüren adaptif stratejisi, çağdaş besteciliğin dijital çağdaki olası yönelimlerini temsil etmektedir. Bu nedenle dijitalleşme, bestecilik pratiğinin yeni estetik olanaklar, yeni müzakere biçimleri ve yeni yaratıcı sorumluluklar geliştirdiği tarihsel bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abram, O. (2021). Timbre-based composition, multiple perspectives and ambiguity in Rebecca Saunders' compositional style. *Tempo*, 75(297), 20–34. <https://doi.org/10.1017/S0040298221000206>
- Altuntaş, A. M. (2025). *Müzik dinleme pratiğinin dijitalleşmeyle yeniden inşası* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Ayyıldız, M. E., ve Demir, A. O. (2022). Dijital dönüşüm olgunluk seviyesinin ölçülmesine yönelik modellerin incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Girişimcilik Dergisi*, 6(12), 61–80.
- Bonini, T., ve Gandini, A. (2019). “First week is editorial, second week is algorithmic”: Platform gatekeepers and the platformization of music curation. *Social Media + Society*, 5(4), 1–11. <https://doi.org/10.1177/2056305119880006>
- Boosey & Hawkes. (2026). *Michel van der Aa: Biography*. [https://www.boosey.com/composer/Michel van der+Aa?type=BIOGRAPHY](https://www.boosey.com/composer/Michel%20van%20der%20Aa?type=BIOGRAPHY)
- Chambers, S. (2023). The curation of music discovery: The presentation of unfamiliar classical music on radio, digital playlists and concert programmes. *Empirical Studies of the Arts*, 41(1), 304–326. <https://doi.org/10.1177/02762374221128729>
- Davenport, T. H., ve Beck, J. C. (2001). *The attention economy: Understanding the new currency of business*. Harvard Business School Press.
- De Munck, M. (2024). From absolute music to sound experience: On post-classical music and horizontal listening. İçinde C. Van Nerom, A. Peeters ve B. Bouckaert (Ed.), *Music and its narrative potential* (s. 21–39). Brill Fink. https://doi.org/10.30965/9783846767726_003
- Deutsche Grammophon. (2026). *Max Richter: Biography*. <https://www.deutschegrammophon.com/en/artists/max-richter/biography>
- Drott, E. (2024). *Streaming music, streaming capital*. Duke University Press. <https://doi.org/10.2307/jj.12011267>
- Freeman, S., Gibbs, M., ve Nansen, B. (2022). ‘Don’t mess with my algorithm’: Exploring the relationship between listeners and automated curation and recommendation on music streaming services. *First Monday*, 27(1). <https://doi.org/10.5210/fm.v27i1.11783>
- Gasselseder, H.-P., ve Kallionpää, M. (2019). Beyond the audience seat: The recording and production of immersive opera and interactive concerto programmes for VR experiences. *Electronic Workshops in Computing (eWiC)*, 409–416. <https://doi.org/10.14236/ewic/EVA2019.75>
- Gonzalo Carbó, A. (2023). «Allende el blanco plano de la música»: Mark Rothko y Samuel Beckett en la música de Rebecca Saunders. *Tsantsa: Revista de Investigaciones Artísticas*, (14), 133–151.
- Havelková, T. (2017). *Opera as hypermedium: Meaning-making, immediacy, and the politics of perception* [Yayınlanmamış doktora tezi]. Universiteit van Amsterdam.
- Hesmondhalgh, D. (2021). Streaming’s effects on music culture: Old anxieties and new simplifications. *Cultural Sociology*, 15(1), 1–22. <https://doi.org/10.1177/17499755211019974>
- IRCAM-Centre Pompidou. (2020). *Rebecca Saunders: Biography*. <https://ressources.ircam.fr/en/rebecca-saunders>
- Izergina, A. R., ve Alexeeva, I. V. (2020). “Vremena goda” Antonio Vival’di v reinterpretatsii britanskogo kompozitora-minimalista Maksa Rikhtera (Antonio Vivaldi’s “The Four Seasons” reinterpreted by British minimalist composer Max Richter). *Music Scholarship (Problemy muzykal’noj nauki)*, (3), 55–64. <https://doi.org/10.33779/2587-6341.2020.3.055-064>

- Jensen, F. J. (2024). Rethinking royalties: Alternative payment systems on music streaming platforms. *Journal of Cultural Economics*, 48(3), 439–462. <https://doi.org/10.1007/s10824-024-09507-z>
- Kiberg, H. (2025). (Plat)formatted creativity: Creating music in the age of streaming. *Cultural Sociology*, 19(3), 263–284. <https://doi.org/10.1177/17499755231202055>
- Kjus, Y. (2026). The platformization of music production: How digital audio workstations are turned into platforms of labor market relations. *New Media & Society*, 28(3), 1063–1080. <https://doi.org/10.1177/14614448241304660>
- Le Guern, P., ve Fleury, P. J. F. (2025). Popular music and the digital shift: History, economics, listening, organology, and aesthetics. *Music Research Annual*, 5–6, 1–57.
- Lin, Y.-T. (2026). *Continuity through contrast in Rebecca Saunders' Fury II (2009): Sonic saturation, gesture, and the composite instrument; and an original composition, Press F to Practice (2024) for tenor saxophone and electronics* [Yayınlanmamış doktora tezi]. Brandeis University.
- Maldonado Ribadeneira, M. H. (2017). *Minimalismo, un universo armonioso: Análisis de la composición de los temas "Fragment", "Untitled" y "The Twins" del álbum Memoryhouse de Max Richter, aplicado en un portafolio de tres composiciones* [Yayınlanmamış lisans tezi]. Escuela de Música, Universidad de las Américas (UDLA).
- Morris, J. W. (2020). Music platforms and the optimization of culture. *Social Media + Society*, 6(3), 1–10. <https://doi.org/10.1177/2056305120940690>
- Morris, J. W., Prey, R., ve Nieborg, D. B. (2021). Engineering culture: Logics of optimization in music, games, and apps. *Review of Communication*, 21(2), 161–175. <https://doi.org/10.1080/15358593.2021.1934522>
- Munkholm, J. L., ve Bach Pedersen, A. (2024). Musik eller støj: Spotifys æstetiske hegemoni. *K&K - Kultur og Klasse*, 52(138), 39–64. <https://tidsskrift.dk/kok/article/view/152265>
- Polak, N., ve Schaap, J. (2025). Write, record, optimize? How musicians reflect on music optimization strategies in the creative production process. *New Media & Society*, 27(8), 4773–4789. <https://doi.org/10.1177/14614448241243095>
- Ritchey, M. (2017). "Amazing together": Mason Bates, classical music, and neoliberal values. *Music & Politics*, 11(2). <https://doi.org/10.3998/mp.9460447.0011.202>
- Saygın, T. M. (2022). *Music industry's turbulent relation with streaming: Political economy of Spotify* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Sikau, L. L. (2022). Rehearsing Upload. *Sound Stage Screen*, 2(2), 61–83. <https://doi.org/10.54103/ss18841>
- Sulistioyuwono, A. B., Narimawati, U., ve Kurniawan, B. (2026). Between creativity and algorithms: An integrative review of authenticity, ethics, and public acceptance of AI-generated music. *Journal of World Science*, 5(1).
- Swift, E. (2019). Practical spectating: An exploration of the multiple roles of the intermedial performance audience. *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, 15(2), 166–182. <https://doi.org/10.1080/14794713.2019.1638646>
- Tartıcı, A. (2019). Slow consumables. *ASAP/Journal*, 4(3), 645–670. <https://doi.org/10.1353/asa.2019.0043>
- Taşbaşı, K. (2023). Müzik endüstrisinin dijitalleşmesi ve McDonaldlaştırılmış bir platform olarak Spotify. *Social Review of Technology and Change*, 1(2), 48–70.

- van Treeck, E. (2023). »I repeat you without beginning or end«: Trauma, Spiegel und hypermediacy in Michel van der Aas chamber opera Blank Out (2015/16). *Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie*, 20(1), 9–30. <https://doi.org/10.31751/1184>
- Woods, C. R. (2023). *Orchestrating the ecosystem: How music-making is transformed in the digital age* [Yayınlanmamış doktora tezi]. University of Liverpool.
- Yılma Şakalar, G., ve Şakalar, A. (2024). Müzik endüstrisinde dijital dönüşümün stratejik etkileri üzerine bir analiz. *Uluslararası Stratejik Boyut Dergisi*, 3(2), 61–77.
- Yılma Şakalar, G., ve Şakalar, A. (2025). Dijital ekosistemlerde müzik, bellek ve kimlik: Arşivleme süreçlerinin dönüşümü ve toplumsal yansımalar. *Journal of Music and Folklore Studies*, 2(1), 102–123.
- Zhang, Q., ve Negus, K. (2021). Stages, platforms, streams: The economies and industries of live music after digitalization. *Popular Music and Society*, 44(5), 539–557. <https://doi.org/10.1080/03007766.2021.1921909>

ORCID: 0000-0003-1024-6293

Aksa Tufanı Operasyonu'nun Arap Şiirindeki Yansımaları

Arş. Gör. Dr. Muhammed Aşantoğrul*¹¹ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi* Corresponding Author: Muhammed Aşantoğrul
muhammed.asantogrul@hbv.edu.tr

ÖZET

7 Ekim 2023 tarihinde başlayan Aksa Tufanı Operasyonu ve ardından Gazze'de yaşanan büyük soykırım süreci, yalnızca siyasi ve askerî bir sarsıntı yaratmakla kalmamış; çağdaş Arap edebiyatını da derinden etkilemiştir. Yaşanan devasa insani dram ve Filistin halkının sergilediği direniş, farklı coğrafyalardaki Arap şairlerini ortak bir edebî ve vicdani zeminde buluşturmuştur. Bu çalışmanın amacı, söz konusu tarihi dönüm noktasının çağdaş Arap şiirindeki yansımalarını; biçimsel özellikler, ortak imge ve semboller ile tematik söylem düzlemleri üzerinden ortaya koymaktır.

Araştırma kapsamında; Ürdün, Irak, Yemen ve Suriye gibi farklı Arap ülkelerinde kaleme alınan ve çoğunlukla “Tūfānu'l-Aksā” ortak başlığını taşıyan kasideler örneklem olarak incelenmiştir. İncelenen metinlerde, katliamlara duyulan acı ve öfkenin yanı sıra köklü bir sembolik dağarcığın devrede olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, İsrail ordusunun kırılma anını betimlemek üzere Kur'an-ı Kerim kökenli “örümcek ağı” benzetmesine başvurulmuş; sahadaki direnişin gücünü tasvir etmek amacıyla da “Ebabil kuşları” ve “Sicil taşları” gibi dinî imgeler yoğun biçimde kullanılmıştır.

Çalışmanın temel bulgularına göre; günümüzde serbest şiir formu daha yaygın olmasına rağmen şairler, yaşanan büyük acı ve öfkeyi ifade edebilmek için bilinçli olarak geleneksel beyit yapısına ve aruz ölçüsüne yönelmişlerdir. Şairler, bu devasa trajediyi ancak klasik kasidenin o coşkulu ve gür sesiyle taşıyabileceklerine inanmışlardır. Nitekim bu kasidelerde, katliamlar karşısında sessiz kalan Arap yöneticilerine sert eleştiriler yöneltilmiş; normalde yıkıcı çağrıştıran “tufan” kelimesi ise toplumun üzerindeki durgunluğu temizleyen bir umut seline dönüştürülmüştür. Sonuç olarak bu şiirlerin, coğrafi sınırları aşarak modern dönemin köklü direniş edebiyatı geleneğine güçlü ve yeni bir epik halka eklediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çağdaş Arap Şiiri, Aksa Tufanı, Filistin, Soykırım, Direniş Edebiyatı, Kaside.

Reflections of Operation Al-Aqsa Flood in Modern Arabic Poetry

ABSTRACT

The Operation Al-Aqsa Flood, which began on October 7, 2023, and the subsequent genocide in Gaza have not only caused a profound political and military upheaval but have also left a deep imprint on modern Arabic literature. The enormous human tragedy and the resistance demonstrated by the Palestinian people have brought together Arab poets from diverse geographies on a shared literary and moral ground. This study aims to examine the reflections of this historic turning point in modern Arabic poetry through the dimensions of formal features, shared images and symbols, and thematic discourse.

Within the scope of the research, qasidas composed in various Arab countries - including Jordan, Iraq, Yemen, and Syria - and most commonly bearing the shared title Tūfānu'l-Aqṣā have been analyzed as the primary corpus. The examined texts reveal that alongside the grief and rage evoked by the massacres, a deeply rooted symbolic repertoire is also at work. In this regard, the Qur'anic metaphor of the “spider's web” has been employed to depict the vulnerability of the Israeli army, while religious images such as the “Ababil birds” and the “stones of Sijil” have been used extensively to convey the power of resistance on the ground.

According to the study's key findings, despite the prevalence of free verse in modern poetry, the poets consciously turned to the traditional hemistich structure and the arūd (classical prosody) in order to express the immense grief and fury of the moment. The poets evidently believed that only the impassioned and resonant voice of the classical qasida could bear the weight of this colossal tragedy. Notably, these qasidas contain sharp criticism directed at Arab leaders who remained silent in the face of the massacres; moreover, the word “flood” (tufan) - ordinarily connoting destruction - has been recast as a torrent of hope that cleanses the stagnation weighing upon society. The study concludes that these poems transcend geographical boundaries and add a powerful new epic link to the enduring tradition of resistance literature in the modern era.

Keywords: Modern Arabic Poetry, Al-Aqsa Flood, Palestine, Genocide, Resistance Literature, Qasida.

GİRİŞ

7 Ekim 2023'te Filistinli direniş güçlerinin İsrail'e yönelik gerçekleştirdiği "Aksa Tufanı" (*Tûfânu'l-Akşâ*) operasyonu, yalnızca askerî bir hamle olarak değil, aynı zamanda Arap-İsrail çatışmasının altmış yılı aşkın seyrinde sembolik bir kırılma noktası olarak kayda geçmiştir. Operasyonun ardından İsrail'in Gazze Şeridi'ne yönelttiği kapsamlı askerî saldırı, kısa sürede uluslararası hukuk çevrelerinde ve pek çok akademik çalışmada "soykırım" (*ibâde cemâiyye*) kavramıyla anılan bir yıkıma dönüşmüştür. Yerleşim bölgelerinin sistematik biçimde tahrip edilmesi, sivil kayıpların yüz binleri bulması, açlığın bir savaş aracına dönüştürülmesi ve Gazze'nin fiilen yaşanamaz hâle getirilmesi, bu sürecin başlıca vecheleri olarak öne çıkmıştır.

Bu tablo karşısında Arap dünyasının farklı coğrafyalarında şairler, geleneksel olarak toplumsal vicdanın sözcüsü sayılan şiir aracılığıyla harekete geçmiş; olayı hem bir direniş destanı hem de bir yas ve öfke söylemi olarak işlemişlerdir. Kısa sürede gazete sayfalarından sosyal medya platformlarına, yerel edebiyat derneklerinin yayınlarından kapsamlı antolojilere uzanan zengin bir birikim ortaya çıkmıştır. Bu edebî birikimin en dikkat çekici yönlerinden biri, coğrafi olarak birbirinden çok uzak noktalarda üretilen şiirlerin -Ürdün'den Suriye'ye, Mısır'dan Irak'a, Yemen'den Moritanya'ya- çarpıcı bir biçimsel ve tematik akrabalık sergilemesidir.

Bu çalışma, Aksa Tufanı operasyonunun Arap şiirindeki yansımalarını ve bu tarihi kırılmanın ardından ortaya çıkan ortak söylem evrenini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma sürecinde, bu geniş şiirsel birikimi somut örnekler üzerinden takip edebilmek adına öncelikli olarak dönemin öne çıkan iki önemli antolojisinden yararlanılmıştır: "Dîvânu Tûfâni'l-Akşâ" (Ed. *Salâh Cerrâr - Saîd Ya'kûb, Dâru'l-Halî li'n-Neşr ve't-Tevzî', Amman, 2023*): On yedi Arap ülkesinden iki yüz otuzu aşkın şairin katkısıyla oluşan, geniş coğrafi dağılıma sahip kapsamlı bir derlemedir. "Dîvânu Tûfâni'l-Akşâ" (Ed. *Muhammed Abdullah Amarou, Moritanya Edebiyatçıları ve Yazarlar Birliği, Nuakşot, Kasım 2023*): Doksan iki şairden yüz on iki şiiri bir araya getiren ve Moritanya/Mağrip bölgesindeki edebi refleksi yansıtan bölgesel nitelikli bir çalışmadır.

Çalışmanın kapsamı, temelde söz konusu iki antolojiden seçilen ve çoğunlukla "Tûfânu'l-Akşâ" ortak başlığını taşıyan örnek kasidelerle sınırlandırılmıştır. Ancak bu ana gövdenin yanı sıra, doğrudan Aksa Tufanı operasyonu üzerine kaleme alınmış diğer bazı bağımsız şiirler de taranarak incelemeye dâhil edilmiştir.

Betimleyici-analitik yöntemin benimsendiği bu çalışmada, ele alınan şiirler biçimsel yapı, imge/symbol dünyası ve tematik eğilimler bakımından çözümlenmiştir. Araştırmanın temel hedefi; tek bir merkezi anlatıyı öne çıkarmak yerine, Arap coğrafyasının farklı noktalarında üretilen şiirlerin hangi ortak duygu zemininde buluştuğunu, hangi biçimsel kalıplarla şekillendiğini ve hangi eleştirel eksenler etrafında toplandığını ortaya koymaktır.

1. Biçimsel Yapı

1.1. Aynı Başlık Altında Buluşma

Aksa Tufanı operasyonu sonrasında üretilen şiirlerin en çarpıcı biçimsel özelliklerinden biri, farklı coğrafyalarda birbirinden habersiz yazılmış yüzlerce kasidenin aynı başlık ya da ortak kavramlar altında toplanmasıdır. Örneğin Cerrâr-Ya'kûb divanında yer alan bütün şiirler, editöryal kurul tarafından bilinçli bir tercihle tek başlık altında sunulmuş; şiirler ayrı başlıklar taşımak yerine yalnızca şairin adı ve ülkesiyle künyelenmiştir. Divanın önsözünde belirtildiği üzere bu tercih, bireysel şiirsel sesi kolektif bir çığlığın parçası hâline getirme; şairlerin "biz" diliyle konuştuğu tek bir "Tufan" metni oluşturma amacına dayanmaktadır.

Gerek dönemin bağımsız kasidelerinde gerekse Moritanya divanı gibi diğer derlemelerde ise durum daha farklı bir ortaklıkla kendini gösterir: her şair kendi şiirine özgün bir başlık vermiş, ancak bu başlıkların büyük çoğunluğu doğrudan veya dolaylı biçimde aynı anahtar sözcük etrafında kümelenmiştir. "*Tûfânu'l-Akşâ*", "*Kasidetu't-Tûfân*", "*Tûfânu Filistîn*", "*Tûfânu'l-İzze*", "*Min vahyi't-Tûfân*", "*Gazzetu ve't-Tûfân*", "*Lahnu't-Tûfân* ve "*İnnahu't-Tûfân*" gibi başlıklar, farklı şairler tarafından bağımsız olarak tercih edilmiştir.

Bu durum, “tufan” imgesinin askeri bir operasyon adı olmanın çok ötesine geçerek şiirsel bilinçte derin bir biçimde içselleştirildiğini kanıtlamaktadır. Kelimenin kendisi, modern direniş edebiyatında neredeyse bağımsız bir edebi tür veya ortak bir etiket haline gelmiştir. Aynı başlık altında ya da aynı kavramsal zemin etrafında buluşma fenomeni, bireysel şiirsel üretimi kolektif bir edebî hareket olarak okumamıza imkân tanımaktadır. Burada şair, kendi özgün sesini ve üslubunu korurken, aynı zamanda büyük bir koronun parçası olarak sesini yükseltmektedir.

1.2. Klasik Kaside Formu ve Aruz Vezni

Aksa Tufanı ekseninde üretilen şiirlerde dikkat çeken bir diğer husus, şairlerin büyük çoğunluğunun serbest şiir veya mensûr şiir yerine klasik kaside formunu ve aruz veznini tercih etmesidir. Örneğin Moritanya divanında, her şiirin hemen altına hangi aruz kalıbıyla yazıldığı açıkça not düşülmüştür. Bu durum, biçim seçiminin ne kadar bilinçli olduğunu gösterir. Şairlerin bu süreçte en çok yöneldiği kalıplar ise Arap kahramanlık ve destan şiirinin geleneksel zeminini oluşturan *Tavîl*, *Vâfir*, *Kâmil*, *Basît* ve *Recez* bahirleridir. Bu doğrultuda şairler, güncel bir askeri-siyasi olayı anlatırken köklü kaside geleneğinin gücüne ve tarihsel ağırlığına yaslanmayı tercih etmişlerdir.

Kafiye düzeni bakımından da klasik kaside yapısı büyük ölçüde korunmuş; tek kafiye, beyit esaslı yapı hâkim olmuştur. Bu biçimsel muhafazakârlık, içerikteki radikal güncellelikle ilginç bir gerilim oluşturmaktadır: En güncel siyasi-askerî hadise, en eski ve en “resmî” şiirsel kalıplarla dile getirilmektedir. Geçmişle bugünü birbirine bağlama arzusu, yalnızca içerik düzeyinde değil, biçim düzeyinde de kendini göstermektedir. Kaside formunun otoritesi, şiire âdeta bir “tarihsel belge” ağırlığı kazandırmakta; okuyucuya, bu olayın da tıpkı Hittî ve Yermük gibi tarihe kaydedilecek bir hadise olduğu mesajını vermektedir.

Bununla birlikte, yararlanılan kaynaklar arasında ince bir fark da gözlemlenmektedir. Cerrâr-Ya’kûb antolojisi gibi geniş katılımlı merkez derlemelerde modern serbest vezinle yazılmış örnekler de bulunurken, Moritanya divanında yer alan şiirlerin neredeyse tamamı klasik aruz kalıplarına bağlı kalmıştır. Bu fark; Moritanya edebiyat dünyasında, özellikle dini ilim çevrelerinde klasik Arap şiir geleneğinin hâlâ baskın bir norm olarak sürdüğünü, buna karşılık Meşrik ve Mağrib’in diğer bölgelerinde modern şiir formlarının daha yaygın kabul gördüğünü açıkça göstermektedir.

2. Ortak İmgeler ve Semboller

2.1. Dini Semboller: Ebabil Kuşları ve Siccil Taşları

İncelenen şiirlerde en sık başvurulan Kur’ânî motiflerden biri, Fîl Sûresi’nde anlatılan Ebâbil kuşları ve *siccil* (pişmiş çamur/kızgın taş) taşlarıdır. Bu motifi kaynağı; Ebrehe’nin fillerle donatılmış ordusunun Kâbe’yi yıkmaya geldiğinde, gökten sürü hâlinde gelen kuşların attığı taşlarla darmadağın edilmesi kıssasına dayanır. Şairler bu geleneksel anlatıyı, Aksa Tufanı’nın ilk anlarında Gazze direnişinin teçhizat bakımından son derece güçsüz görünmesine rağmen, “modern Ebrehe ordusu” sayılan İsrail’in gelişmiş askerî gücüne vurduğu asimetrik ve beklenmedik darbeye bir benzetme unsuru (imge) olarak kullanmaktadır. Bu benzetmede örtük bir teolojik iddia da mevcuttur. Şöyle ki; tıpkı Ebâbil kıssasında olduğu gibi sayısal ve teknik üstünlüğün ilahî bir müdahale karşısında hükümsüz kalabileceği fikri, direnişin manevî meşruiyetini pekiştirmektedir.

Üstelik bu imge, aynı zamanda operasyonun kendisinin adlandırılma biçimiyle de örtüşmektedir. “Tufan” kelimesi tek başına bir yıkım ve arınma imgesi taşıırken, Ebâbil-Siccil motifiyle birleştiğinde, direnişin gökten inen, beklenmedik ve karşı konulamaz bir güç olarak temsil edilmesine hizmet etmektedir. Şairler böylece, güncel bir askerî operasyonu doğrudan Kur’ânî bir kıssanın çağdaş yeniden vuku bulması (tekerrür) biçiminde sunarak, hem dinî bir meşruiyet zemini inşa etmekte hem de okuyucunun zihninde çok katmanlı bir çağrışım ağı oluşturmaktadır.

Nitekim Suriyeli şair Seyyid Ahmed b. Muhammed es-Seyyid, operasyonun ilk anlarında düşman saflarında yaşanan askeri ve psikolojik şoku bu motif üzerinden doğrudan sahadaki coğrafyaya taşır: (es-Seyyid, 2023)

فَتَجْعَلُ الْأَرْضَ زَلْزَالًا وَبُرْكَانًا
إِلَى الْمَلَايِكَةِ زَرَافَاتٍ وَوُحْدَانًا
عَنْ ضَرْبِ أَجْنَادِنَا لِعَقْرِ أَغْدَانَا

طَيْرُ الْأَبَابِيلِ بِالسَّجِيلِ تَقْدِفُهُمْ
بِضَرْبَةٍ جَعَلَتْ أَغْدَاءَهُمْ دُغْرًا
سَلَّ عَسَقْلَانٍ وَأَسْدُودًا وَغَيْرَهُمَا

“Ebâbil kuşları, onları siccîl (taşları) ile vuruyor; yeryüzünü bir depreme, bir volkana çeviriyor! Öyle bir darbe ki bu; düşmanları korkudan titretip sığınaklara döküyor, teker teker ve kitleler halinde... Sor o Aşkelon’a, Aşdod’a ve diğerlerine; askerlerimizin, düşmanın kalbine indirdiği o darbeyi!”

es-Seyyid; Aşkelon ve Aşdod gibi işgal altındaki şehirleri zikrederek şiirine somut bir askeri coğrafya kazandırırken, direnişin sahadaki etkisini “deprem ve volkan” imajlarıyla büyütür. Bu yönüyle şiir, Ebâbil motifini sadece koruyucu dini bir sembol olarak bırakmaz; onu düşmanın askeri hatlarını darmadağın eden yıkıcı ve somut bir taarruz gücüne dönüştürür. Yemenli şair Muhammed Hammûd el-Himyerî de bu ilahî müdahale imgesini şu dizelerle şiirine taşır:(el-Himyerî, 2023)

يَوْمَ مِنَ الدَّهْرِ لَمْ تَصْنَعْ بُطْلَانَهُ رِيحٌ، وَلَا أَمْطَرَتْ سَيْحِيلُهُ السُّحْبُ
طَيْرُ أَبَابِيلٍ أَوْ طَوْفَانٍ انْتَقَضَتْ مَعَهُ الْجَبَارَةُ وَالْأَشْجَارُ وَالْغَضَبُ

“Bu öyle muazzam bir gündür ki; bu kahramanlığı ne rüzgârlar yarattı ne de bulutlar gökten taş yağdırdı. Bu, bizzat Ebâbil kuşlarıdır ya da öyle bir tufandır ki, onunla birlikte taşlar, ağaçlar ve öfke birden ayaklanmıştı.”

el-Himyerî, operasyonun asırlardır beklenen tarihi bir kırılma anı olduğunu vurgularken, doğaüstü bir öfkenin yeryüzündeki unsurlarla nasıl birleştiğini gözler önüne serer. Maddî dünyanın sınırlarını aşan bu anlatım, direnişi salt askeri bir strateji olmaktan çıkarıp metafizik bir boyuta taşımaktadır. Aynı sembolik havuzdan beslenen Cezayirli şair Âişe Cellâb ise anlatımı bir adım daha ileriye taşıyarak sürecin beşerî planları aşan yönünü derinleştirir ve operasyonun coğrafi-manevî merkezini doğrudan mukaddes mekâna bağlar:(Azizî, 2023; Diab, 2025, s. 360)

مَنْ يُوَقِفُ الطَّوْفَانَ مَنْ دَا يَفْقِرُ أَثَرَاهُ وَحَيٍّ مِنْ سَمَاءٍ يُسْطَرُ
تَنْتَالُ مِنْ مَسَرَى الرَّسُولِ مَا لَكَ مِثْلُ الْأَبَابِيلِ الَّتِي لَا تَفْهَرُ

“Kim durdurabilir bu tufanı, kimin gücü yeter buna?! Gökten yazılan bir vahiy midir bu, ne dersin? Hz. Peygamber’in (s.a.s.) gece yürüdüğü mekândan (Mescid-i Aksa’dan) melekler dökülüyor; tıpkı o asla mağlup edilemeyen Ebâbil kuşları gibi...”

Cellâb, bu beyitlerde “vahiy” ve “melâike” kavramları üzerinden eyleme mutlak bir kutsiyet atfetmektedir. Özellikle “Mesra’r-Resûl” (İsrâ hadisesinin gerçekleştiği yer / Mescid-i Aksa) vurgusu, şiirin mekânsal zeminini tahkim eder. Şaire, Kudüs’ten dalga dalga yayılan bu direnişi durdurulması imkânsız ilahi bir hükme; direnişçileri ise asırlar öncesinin Ebâbil ruhunu taşıyan manevi bir orduya dönüştürerek metindeki çok katmanlı meşruiyet zeminini tamamlamaktadır.

2.2. “Örümcek Ağı” Metaforu

İncelenen kasidelerde sıkça karşılaşılan bir diğer imge, İsrail’in askeri ve toplumsal yapısının bir “örümcek ağı” (beytu’l-‘ankebût) olarak nitelendirilmesidir. Bu metafor, Ankebût Sûresi’nin 41. âyetinde geçen “gerçekten en zayıf yuvalar örümceğin yuvasıdır” ifadesine dayanmakta ve Arap direniş edebiyatında uzun bir geçmişe sahiptir. Aksa Tufanı sonrası şiirlerde bu metafor yeniden ve yoğun biçimde canlanmıştır: şairler, operasyonun ilk saatlerinde sınır tahkimatının ve gözetleme sisteminin hızla çökmesini, “örümcek ağının” bir dokunuşla yırtılması biçiminde betimlemektedir.

Bu metafor, çok yönlü bir işleve sahiptir. Bir yandan düşmanı küçümseyerek direnişin özgüvenini pekiştirmekte; diğer yandan ise yıllarca “yenilmez” olarak sunulan bir askerî gücün aslında ne denli kırılgan olduğunu ifşa ederek algıyı tersine çevirmektedir. Örümcek ağı imgesi, aynı zamanda önceki bölümde ele alınan Ebâbil-Siccîl motifiyle de tamamlayıcı bir ilişki içindedir. Biri düşmanın güçsüzlüğünü (ağ), diğeri direnişin gücünü (kuşlar-taşlar) simgeleyerek, şiirlerde tam bir denge oluşturmaktadır. Bu durumun somut bir tezahürü olarak Muhammed Hammûd el-Himyerî, İsrail’in “Demir Kubbe” (el-Kubbetu’l-Hadîdiyye) olarak adlandırılan meşhur hava savunma sistemini ve inşa ettiği sınır duvarlarını tam olarak bu Kur’ânî örümcek ağı tasviriyle sarsar:(el-Himyerî, 2023)

وَقِيَّةٌ مِنْ حَدِيدٍ الْعَنْكَبُوتُ بَنَتْ أَشَدَّ وَهْنًا مِنَ السُّورِ الَّذِي ضَرَبُوا
كُلُّ الْأَسَاطِيرِ أَوْهَامٌ مَرْيَّةٌ الْأَمْنُ، وَالْجَيْشُ وَالْجُدْرَانُ وَالْقَبْ

“Ve o örümcek ağından (yapılma) demir kubbe; (Aşılması imkânsız diye) ördükleri o duvardan bile daha zayıf, daha dayanıksız göründü! Bütün efsaneler düzmece birer vehimmiş (kuruntuymuş); asayiş, ordu, duvarlar ve kubbeler...”

Şair bu dizesinde, modern askeri teknolojinin en üstün sembolü olarak sunulan “Demir Kubbe”yi ironik bir biçimde “Örümcek Demirinden Kubbe” (hadîdi’l-‘ankebût) olarak adlandırır. Böylece hem teknolojik tahkimatların manevi irade karşısındaki çaresizliğini ilan eder hem de muazzam bütçelerle örülen o savunma hatlarının aslında Kur’ân’ın işaret ettiği gibi en dayanıksız yuvadan bile daha kırılgan olduğunu

çarpıcı bir telmihle okuyucuya sunar. Iraklı şair Haydar et-Temîmî de bu büyük çöküşü ve askeri sistemlerin işlevsiz kalışını benzer bir tonla anlatır. Yıllarca güvenilen kalelerin direnişin nidasıyla nasıl sarsıldığını Kur’ân’daki o benzetmeye dayanarak şöyle dile getirir:(et-Temîmî, 2023)

فَظَنُّوا جِصْنَهُمْ سَدًّا مَنِيْعًا تَهَاوَى حِينَمَا الْقَسَامُ رَمَجُ
فَقَدْ صَدَّقَ الَّذِي قَدْ قَالَ فِيهِمْ كَبِيتِ الْعَنْكَبُوتِ وَمِنْهُ أَحَقَرُ

“Onlar kalelerini aşılmaz bir sur sandılar; (oyşa) Kassâm kükrediği anda o kale yerle bir oldu! Onlar hakkında o sözü söyleyen (Yüce Allah) ne kadar da doğru buyurmuş: (Onların sığınakları) tıpkı örümceğin yuvası gibidir, hatta ondan bile daha aşağı, daha hakir!”

2.3. Tarihsel Kahramanlar ve Epik Bağ

Aksa tufanı operayondan sonra kaleme alınan kasidelerde en yoğun biçimde işlenen imgesel alan, İslâm tarihinin büyük komutan ve halifelerinin şiirsel söyleme dâhil edilmesidir. Ömer b. Hattâb, Hâlid b. Velîd, Halife Mu’tasım-Billâh ve özellikle Selâhaddîn Eyyûbî, bu kahraman kadrosunun başında gelmektedir. Şairler bu figürleri yalnızca tarihsel bir hatıra olarak anmamakta; onları doğrudan çağdaş direnişçilerle özdeşleştirmekte, hatta bazı örneklerde “sanki Hâlid b. Velîd atının üzerinde şahlanmış gibiydi” türünden doğrudan bedenlenme (tecessüd) imgeleri kurmaktadır. Bu strateji, güncel zaferi Hittin ve Yermûk gibi büyük İslâmî fetihlerle aynı epik zincire eklemleyerek, yenilgi algısından zafere yönelen bir anlam kayması üretmekte ve ümmetin medeniyet mirasını yeniden üretme kapasitesine duyulan kolektif güveni pekiştirmektedir.

Tarihsel sembollerin güncel öznelerle harmanlandığı bu epik zeminde şairler, işgalin yapay dünyası karşısına direnişin köklü geçmişini ve kurucu önderlerini koyarlar. Nitekim işgalin zayıflığına tezat olarak, direnişin sarsılmaz iradesi geçmişten bugüne taşınan bir miras gibi selamlanır. Cezayirli şair Hüseyin el-Ekra‘, direnişin kurucu ismi Şeyh Ahmed Yasin’in yıllarca gösterdiği sabra ve bıraktığı mirasa atıfta bulunarak bu tarihi anı şu beyitle taçlandırır:(el-Ekra‘, 2023)

وَذَكَرْتُ بِأَسْبَابِ الْهَزِيرِ وَصَبْرِهِ فَتَفَجَّرَ التَّارِيخُ بِالْأَمْجَادِ
فِي غَزَاةِ الْأَخْرَارِ يَعْلُو صَوْتُهُمْ اللَّهُ أَكْبَرُ وَالسَّمَاءُ تُنَادِي

“O aslan yürekli Yasin’i ve onun sarsılmaz sabrını hatırladım; işte o an tarih, yeniden şanlı zaferlerle coşup taşı! Özgürlerin Gazze’sinde yükseliyor sesleri: ‘Allahu Ekber!’ diye, ve gökler de eşlik ediyor bu çağrıya!”

Şair, felçli bir lider olan Şeyh Ahmed Yasin’i bir “aslan” (hizber) olarak nitelendirerek düşmanın örümcek ağından farksız dünyası karşısına güçlü bir manevi omurga diker. Böylece örümcek ağının yırtıldığı o ilk saatler, şairlerin gözünde anlık bir askeri başarı olmaktan çıkar; Şeyh Ahmed Yasin’in sabrıylailmekilmek işlenmiş tarihi bir adaletin ve biriken inancın yeryüzünde yeniden canlanması olarak anlam kazanır.

Moritanyalı şairlerden derlenen “Tûfânu’l-Aksâ” dîvânında da aynı figür merkezi bir yer tutar. Şair Addûould en-Nâne, “أبناء ياسين” (Yâsîn’in Oğulları) başlıklı kasidesinde Gazzeli direnişçileri “كفتية البطل القسام” (Kahraman Kassam gençleri) ifadesiyle doğrudan Yâsîn’in manevi soyuna bağlamıştır.(Amarou, 2023, ss. 29-30) Bu motif tek bir şiirle sınırlı kalmamış, aynı dîvân içinde on dörde yakın ayrı şiirde (“فتية يسين” – Yâsîn’in gençleri; “بنو يسين” – Yâsîn’in oğulları gibi ifadelerle) tekrarlanarak adeta bir nakarata dönüşmüştür. Bu yaygınlık, Şeyh Ahmed Yasin figürünün direniş şiirinde yalnızca sembolik bir referans olmadığını, tekrar tekrar başvurulmuş kurucu bir öncü-lider imgesi işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır. Cezayirli şair Bûzeyd b. İdris, direnişin sembol isimleri haline gelen kadroları tarihsel destanların yaşayan birer uzantısı ve ilahi birer sır küpü olarak konumlandırır:(Diab, 2025, s. 359)

الَّتِي يُعْرِفُ أَنَّهُ خَطَرُ مَاذَا أَقُولُ وَ عَدْلَةُ السِّنَوَارِ
عَلَّمَ وَأَغْلَبَ مَا تَكِلُ نُبُوْبُهُ عِنْدَ النَّزَالِ وَ بِأَسْبَابِ مَغَوَارِ
وَالضَّيْفِ وَالْأَخْرَارِ مِنْ إِخْوَانِهِ بَنَلُوا الدِّمَاءَ فَسَيَّلَهَا هَذَارِ
مَا مِنْهُمْ إِلَّا كَمِيٌّ جَارِحُ حَتَفَ الْعُدَاةَ وَ مَذَرَهُ أَسْوَارِ

“Aslan, (avına doğru) heybetle salınışımdan tanınır; peki ben ne söyleyeyim ki onun dengi ‘Sinvar’dır! O, (savaş meydanında) yükselen bir sancaktır; pençeleri ve dişleri çarpışma anında asla körelmez; korkusuz bir akıncıdır. ‘Dayf’ ve onun hür kardeşleri ise kanlarını feda ettiler; öyle ki o kanın seli gürleyerek akmaktadır. Onların her biri tepeden tırnağa silahlanmış keskin darbeli birer yiğittir; düşmanların eceli, kavimlerinin (haklarını savunan) lideri ve usta birer komutanıdır.”

İdrîs bu dizelerde; Yahya Sinvar ve Muhammed Dayf gibi güncel askeri figürleri klasik şiir mirasının en asil unvanlarıyla (tepeden tırnağa silahlı yiğit/kemî, kavmin haklarını savunan lider/midrah ve seçkin süvari-komutan/usvâr) donatarak mazi ile hâli tek bir epik düzlemde birleştirir. Salâh Cerrâr ve Saîd Ya‘kûb’un derlediği “Tûfânü’l-Aksâ” dîvânında bu epik bağ, doğrudan dua ve istiğâse (yardım dileme) formunda da karşımıza çıkmaktadır. Bazı şairler, Halife Mu‘tasım’ın “Vâ Mu‘tasımâh” nidasına icabet edip dokuz bin kişilik bir orduyu seferber etmesi kıssasına telmih yaparak, “Ey ümmet, bugün sana kim yardım edecek?” sorusunu şiirsel bir sitem biçiminde sormaktadır.(Cerrâr & Ya‘kûb, 2023, s. 363)

Böylece tarihsel kahraman figürü, yalnızca bir övgü unsuru değil, aynı zamanda -ilerde ele alınacağı üzere- güncel Arap siyasi tablosuna yönelik dolaylı bir eleştiri aracına dönüşmektedir. Bu doğrultuda Ürdünlü şair Hişâm Hâlid Hammâd, ümmetin mevcut siyasi ve askeri sessizliği karşısında içine düştüğü çaresizliği, geçmişin şanlı hatıralarına sığınan melankolik bir yakarış üzerinden şöyle tasvir eder:(Hammâd, 2023)

فِي ذِمَّةِ اللَّهِ أَمْجَادٌ لَأَمْنِنَا نَاجَتْ بِبَاسِ صَلَاحِ الدِّينِ وَالسَّلَافِ
إِنَّ الزَّمَانَ الَّذِي أَسَيَّادُهُ عَزَبَ قَدْ أَنْ هَمًّا وَوَلَّى عَنْهُمْ تَلَفًا

“Ümmetimizin o şanlı mazisi artık Allah’a emanet (tarihe gömüldü). Şimdi çaresizlik içinde Selahaddin’e ve şerefli ecdada yakarıyor. Efendileri ve hükümdarları Araplar olan o (eski) zaman ise, bugün dertten inleyerek arkasını döndü ve tükenip gitti...”

Şair, tarihsel fatihlerin isimlerini güncel bir zafer coşkusu perçinlemek için değil, tam aksine İslam dünyasının aktüel eylemsizliğine hüznü bir ayna tutmak amacıyla çağırır. Beyitteki “Selâhaddîn” vurgusu, Kudüs’ün kurtuluşuna duyulan özlemi simgelerken; ecdada yönelen bu umutsuz (bi-ye’sin) sızlanma, direniş şiirindeki nostaljik kahraman arayışının eleştirel boyutunu gözler önüne sermektedir.

3. Tematik Söylem

3.1. Katliam Karşısında Acı, Feryat ve Öfke

Zafer söyleminin yanı sıra, özellikle İsrail’in Gazze’ye yönelik saldırılarının yoğunlaştığı dönemde kaleme alınan şiirlerde derin bir acı, feryat ve öfke söylemi de belirgin biçimde yer almaktadır. Bu şiirlerde çocuk ölümleri, enkaz altında kalan aileler, açlık ve yıkımın sistematik tasviri öne çıkmakta; şiir, âdeta tarihsel ve insani bir “tanıklık” (şehâde) işlevi üstlenmektedir. Nitekim Moritanya Edebiyatçıları ve Yazarlar Birliği tarafından yayımlanan “Dîvânü Tûfânî’l-Akşâ” adlı derlemede yer alan “Şarhatu Gazze” (Gazze’nin Çığılığı) ve “Meczeratu Cebâliyâ” (Cebalya Katliamı) gibi başlıklar taşıyan şiirler, doğrudan belirli katliam olaylarını konu edinerek edebi üretimi güncel bir kronik ve kolektif bir yas metnine dönüştürmektedir.(Amarou, 2023, ss. 93, 107) Bu dîvânda katliam teması, doğrudan siyasi söylemden çok insani ve duygusal bir dille işlenmektedir; örneğin bir dizede “أَشْيَاءُ طِفْلٍ مِنْ رَضِيعٍ” (emzikteki bir bebeğin parçalanmış bedeni) ifadesiyle katliamın en çıplak hâli tasvir edilmektedir.(Amarou, 2023, ss. 97-99) Yaşlı annelerin feryadı da ayrı bir motif olarak öne çıkar; “تُكَلِّى” (yavrusunu yitirmiş anne) imgesi, bu annelerin “تَوْحٍ” (ağıt) ve “غَوِيلٍ” (vaveyla) çekmesiyle birlikte anılarak, katliamın bireysel yaşla toplumsal öfkeyi nasıl birbirine bağladığını gösterir.(Amarou, 2023, ss. 14, 46)

Aynı öfke ve acı söylemi, Salâh Cerrâr ve Saîd Ya‘kûb’un derlediği, çok daha geniş katılımlı “Tûfânü’l-Aksâ” dîvânında farklı bir edebî stratejiyle karşımıza çıkar. Burada öfke, çoğu zaman doğrudan İsrail’e ve onun küresel destekçilerine yöneltilmekte; bazı örneklerde ise öfke ile mağlubiyet hissini iç içe geçtiği görülmektedir. Bu durumun en somut yansımalarından biri, klasik Arap şiirinin en güçlü direniş ve zafer metinlerinden biri olan Ebû Temmâm’ın ünlü Ammûriye kasidesine yazılan nazirelerde açığa çıkmaktadır. Nitekim Sudanlı şair Ebû Bekr Muhammed el-Hasan, Ebû Temmâm’ın zafer muştulayan o meşhur giriş mısraını aynı vezin ve kafiyeyle yeniden üreterek Gazze’nin yalnız bırakılmışlığına dair sarsıcı bir feryat inşa eder:(Cerrâr & Ya‘kûb, 2023, s. 363; Hallaf, 2025, s. 369)

السَّيْفُ أَصْدَقُ إِنْبَاءٍ فَلَا الْكُتُبُ لَا شَجَبٌ يُنْفَعُنَا لَمْ تَشْفِنَا الْخُطْبُ
يَا شَعْبَ عَزَّةَ إِنَّ الشَّيْعَرَ يَنْتَجِبُ فَالْقَلْبُ مُنْقَطِرٌ وَالْذَّمُّ يَنْسَكِبُ
الْفَصْفُ يُمَعِّنُ فِي النَّقِيلِ مُنْتَهَكًا وَالشَّمْسُ طَالِعَةٌ مَا غَطَّتِ السُّحُبُ

“Kılıç, haber vermede kitaplardan daha doğrudur; (bugün ise) ne kınamalar bir işimize yarıyor ne de nutuklar yaramızı sarıyor! Ey Gazze halkı! Şiir bile senin için hıçkırığa hıçkırığa ağlıyor; kalpler paramparça, gözyaşları sel gibi akıyor... Bombardıman, tüm kutsalları çiğneyerek acımasızca katletmeye devam ediyor; üstelik her şey güneşin altında, apaçık yaşanıyor, bulutlar bile bu zulmü gizlemiyor!”

Şair, klasik metnin zafer kokan epik formunu ödünç alırken, içerikte İslam dünyasının sadece kınamakla yetinen sessizliğine isyan eder. Klasik dönemde mutlak bir askeri üstünlüğü ve izzeti simgeleyen bu vezin yapısının, günümüz direniş şiirinde bir terk edilmişlik ve mağlubiyet acısını haykırmak için bükülmesi,

Aksa Tufanı sonrası kaleme alınan şiirlerdeki ikili duygu durumunu gözler önüne sermektedir. Şairler böylece, sahadaki taktiksel başarıların getirdiği zafer gururu ile durmaksızın ilerleyen sistematik yıkımın doğurduğu derin trajediyi aynı estetik potada eriterek dönemin ruhunu tüm çıplaklığıyla kayda geçirmektedir.

3.2. Arap Rejimlerinin Sessizliğine Yönelik Hiciv

Tematik söylemin bir diğer güçlü eksen, Arap devletlerinin ve liderlerinin Gazze'deki katliam karşısındaki sessizliğine yönelik açık veya örtük hicivdir. Şairler, tarihsel kahraman figürlerini (özellikle Mu'tasım ve Hâlid b. Velîd'i) çağırırken bunu çoğu zaman bir kıyaslama stratejisiyle yaparlar. Şiirlerde sıkça rastlanan retorik sorular ve sitemler, geçmişin kahramanlık çağı ile bugünün siyasi ataleti ve bölünmüşlüğü arasında keskin bir tezat kurarak doğrudan çağdaş Arap yönetimlerine yöneltilen ağır bir eleştiriye dönüşür. Ebû Bekr Muhammed el-Hasan yukarıdaki şiirinin devamında şöyle der: (Cerrâr & Ya'kûb, 2023, s. 363; Hallaf, 2025, s. 369)

هَلْ مَاتَ مُعْتَصِمٌ يَا شَعْبَ أَمِينَا هَلْ مَاتَ مُعْتَصِمٌ أَمْ نَحْنُ نَرْتَقِبُ
قَدْ مَاتَ مُعْتَصِمٌ إِذْ خَادَ مَرْكَبُنَا عَنْ نَهْجِ أَمِينَا فِي أَمْرِنَا الْعَجَبُ
وَاللَّهُ وَاعِدُنَا بِالْأَرْضِ يَوْمَئِذٍ إِنْ كَانَ مَسْلُكُنَا يَغْلُو بِهِ النَّصَبُ

“Ey ümmetimin halkı! Mu'tasım öldü mü gerçekten? Mu'tasım öldü de biz hâlâ (beyhude) bir bekleyiş içinde miyiz? Evet, Mu'tasım öldü! Çünkü gemimiz ümmetimizin doğru yolundan saptı ve işlerimiz şaşılacak bir hâl aldı. Oysa Allah, eğer yolumuzda zorluklara göğüs gerersek bu toprakları bize miras bırakacağını vaat etmişti.”

Şair bu dizelerinde, Arap dünyasının Filistin-İsrail savaşı karşısındaki tutumunu, yöneticilerin Gazze halkına yönelik katliamlara sessiz kalmasını ve düşmanı durduracak hiçbir somut adım atmamasını sert bir dille eleştirmiştir. Ancak şair, bu ağır hicve rağmen Allah'ın vaadine olan inancını kaybetmez; direnişin eninde sonunda zafere ulaşacağına dair kesin bir inanç besler. Ürdünlü şair Hâlid el-Hatâtine ise benzer bir hayal kırıklığıyla hareket ederek Arap dünyasının sessizliğini ve acziyetini daha sarsıcı bir boyuta taşır. Dışarıdan yardım bekleyen Gazze'ye el açmak yerine, ümmetin içine düştüğü zilletten uyanması için bizzat Gazze'den yardım (istiğâse) talep eder. Çünkü şaire göre gerçek izzet, güç ve manevi omurga Arap devletlerinde değil, bizzat Gazze'dedir: (Cerrâr & Ya'kûb, 2023)

يَا أَهْلَ غَزَّةِ إِنَّا نَسْتَعِثُ بِكُمْ مِنْ الْهَوَانِ أَغِيثُونَا مِنَ الرَّهْبِ
فَلَا خُيُولَ لِأَجْلِ الْغُرُو نَرْكَبُهَا وَكَيْفَ نَغْرُو بِأَسْيَافٍ مِنَ الْخَشَبِ
الْخَوْفُ يَا غَزَّةُ الْأَبْطَالِ رَوْضَنَا فَارْسِلِي كَيْ يَنْبِيْنَا الْجِهَادَ نَبِي

“Ey Gazze halkı! Asıl biz size yalvarıyor, sizden yardım istiyoruz; bizi düştüğümüz bu zilletten, bizi saran bu korkudan kurtarın! Çünkü bizim cenge çıkacak ne binecek atlarımız var... Hem söyleyene, tahta kılıçlarla nasıl savaşa gidilir? Ey kahramanların yurdu Gazze! Korku bizi evcilleştirdi, adeta kölesi yaptı; ne olur bize cihadın ne olduğunu anlatacak bir elçi gönder!”

Her iki şairin ortak imgelemlerinde de açıkça görüldüğü üzere, Arap dünyası artık bünyesinde bir Mu'tasım ya da Hâlid b. Velîd barındıramayacak kadar çaresizleşmiş, hem kendi gözünde hem de düşmanın gözünde küçülmüştür. Ümmetin üzerine çöken bu korku ve zayıflık hali, şairlerin bu iki tarihi sembolü sık sık anmasına neden olur. Bu haykırımlar, o şanlı önderlerin ardından Arap dünyasının içine düştüğü durum karşısında duyulan derin bir pişmanlığın, çaresiz kalmışa cevap verecek ya da mazlumun elinden tutacak hiçbir iradenin kalmayışına yönelik sarsıcı bir hayıflanmanın ve rejimlerin sessizliğine vurulan edebi bir darbenin göstergesidir. Arap başkentlerinin sessizliği ve “normalleşme” (tetbi') politikaları, sahadaki direnişin netliği karşısında şairlerin en sert eleştiri konularından biri haline gelmiştir. Iraklı şair Hâris el-Ezdi bu tepkiyi doğrudan dile getiren isimlerdendir: (el-Ezdi, 2023)

نَعْسًا لِلْمُنْطَبِ وَالْمُطَبِّعِ كُلَّمَا هَدَّتْ حُصُونُ الْعَاصِبِ النَّيْرَانُ
وَمَرَارَةُ الصَّمْتِ الْعَقِيمِ مَذَلَّةً وَالْحَقُّ فِيمَا يَفْعَلُ الْمَيِّدَانُ

“Şevk kıranlara ve normalleşme yanlılarına yazıklar olsun! Her ne zaman ki ateşler işgalcinin kalelerini yıksa... Bu faydasız sessizliğin acılığı tam bir zillettir; zira asıl hakikat, meydanın bizzat kendi eyledikleridir!”

Şair bu beyitlerde, meydana sıcak çatışma ile başkentlerin diplomatik sessizliği arasındaki uçurumu ortaya koyar. İsrail kalelerini sarsan her direniş eyleminde, İsrail ile normalleşme yanlılarının ve toplumu

eylemsizliğe itenlerin yaşadığı hüsrânı ve bu sessizliğin getirdiği zilleti açıkça vurgular. Şair, resmi Arap siyasetini sert bir dille mahkûm ederken, direniş edebiyatının o geleneksel “içerideki pasifliğe yönelik özeleştir” damarını da net bir biçimde işler. Söz konusu siyasi teslimiyet, yöneticilerin korkaklığı ve emperyalist güçlere olan bağımlılıkları üzerinden de derinleştirilir. Suriyeli şair Seyyid Ahmed b. Muhammed es-Seyyid bu eleştiriyi daha geniş bir perspektife yayarak Arap rejimlerinin kınama diplomasisini ve Batı güdümlü uluslararası kurumlara olan beyhude sığınışlarını hicveder:(es-Seyyid, 2023)

فَجَلَّهْمُ صَامِتٌ أَوْ صُمٌّ أَذَانًا؟ أَمَّا الرَّعَامَاتُ مِنْ حُكَّامِ أَمَّتِنَا
تُذِينَ إِجْرَامَ صِهْيُونٍ وَمَا كَانَا وَقَلَّةٌ تَكْتَفِي بِالشَّجَبِ فِي كَلِمٍ
لِمَجْلِسِ الْخَوْفِ مَنْ يَزْعَاهُ أَعْدَانَا وَيَعْضُهُمْ لَجُؤًا لِحَصْنِنَا أَمَلًا

“Ümmetimizin yöneticileri olan o liderlere gelince; onların çoğu ya tamamen susmuş ya da kulaklarını tıkamış! Çok azı ise sadece kelimelerden ibaret kınamalarla yetiniyor; Siyonizm’in cürümlerini güya lanetliyor, o kadar! Hatta bazıları, düşmanlarımızın hamiliğini yaptığı o ‘Korku Meclisi’ne (BM Güvenlik Konseyi) umut bağlayarak doğrudan hasmımıza sığınıyor!”

Görüldüğü üzere Aksa Tufanı sonrası çağdaş Arap şiiri; kınama metinleriyle yetinen azınlığı, tamamen sessizliğe gömülen çoğunluğu ve daha da ötesi, emperyalist odakların güdümündeki uluslararası mekanizmalardan medet uman rejim yapılarını sistematik bir biçimde deşifre etmiştir. Şairler; sahada canı pahasına statükoyu yıkan direniş nesli ile diplomatik koridorlarda teslimiyeti seçen siyasi elitler arasında aşılabilir bir ahlaki uçurum çizerek, şiiri ümmetin kolektif vicdan mahkemesine dönüştürmüştür.

3.3. “Tufan” Kavramının Yeniden İnşası

Son olarak, incelenen kasidelerde “tufan” kavramının kendisi, şiirsel söylem içinde sürekli olarak yeniden anlamlandırılmakta ve zenginleştirilmektedir. Kavramın ilk katmanı, operasyonun resmî adından gelen askeri-tarihsel referanstır. Ancak şairler bunun ötesinde, Hz. Nûh’un tufanını (küfrü/zulmü boğan arındırıcı sel), doğal bir felaket imgesini (her şeyi süpüren, karşı konulamaz güç) ve psikolojik bir uyanış imgesini (uzun süre uykuda/durgunlukta kalmış bir gücün aniden harekete geçmesi) aynı kelimede birleştirmektedir. Şiirlerde bu uyanış; bazen “zincirlerini kırıp gardiyanına öfke kusan bir dev”, bazen de “mezarından öfkeyle kalkıp savaşına geri dönen bir şehit” imgesiyle betimlenerek, “tufan” yalnızca bir yıkım değil, aynı zamanda kolektif bir diriliş (ba’s) olarak yeniden inşa edilmektedir.

Bu yeniden inşa sürecinde “tufan” kelimesi, klasik anlamıyla (yıkıcı taşkın su) sınırlı kalmayıp; adalet arayışının, bastırılmış öfkenin ve tarihsel sürekliliğin sembolik taşıyıcısına dönüşmektedir. Kavramın bu çok katmanlı yapısı, ümmetin farklı unsurlarının tufan karşısındaki ahlaki konumunu keskin hatlarla birbirinden ayırır. Nitekim Iraklı şair Vahîd Hayyûn’un şiirinde tufanın bu seçici ve ayrıştırıcı gücü, tarafların pozisyonunu deşifre eden şu beyitlerle somutlaşmaktadır:(Hayyûn, 2023)

وَقَوْمٌ لَا يَجِفُّ لَهُمْ لِبَاسٌ وَطُوفَانٌ سَبَغَتْ فِيهِ قَوْمٌ
وَقَوْمٌ لِّلْمَهَانَةِ هُمْ مَدَاسٌ وَقَوْمٌ لِّلْوَسَاطَةِ لَيْسَ إِلَّا

“Ve öyle bir tufan ki bu; bir kavim onun içinde boğulup gidecek, (cihad meydanındaki) diğer bir kavmin ise (zırhı, pusatı ve) elbisesi hiç kurumayacak! Öte yanda varlıkları sadece arabuluculuktan ibaret olan bir kavim; diğer tarafta ise zillet içinde çiğnenen birer paspastan farksız olanlar var!”

Şair bu dizelerde tufanı, statik toplumsal ve siyasi yapıları yerinden eden evrensel bir süzgeç olarak kurgular. Tufan bir yandan işgalcileri helak ederken, diğer yandan cephede “elbisesi kurumayan” direnişçileri arındırıp diri tutmaktadır. Buna mukabil, sürecin dışında kalarak sadece diplomatik “arabuluculukla” yetinen rejimlerin edilgenliği ile teslimiyeti seçenlerin düştüğü zillet (mehâne) tufanın hırçın dalgaları karşısında açıkça hicvedilir.

Kavramın bu çok katmanlılığı, kasidelerin genelinde ortak bir paydaya dönüşmektedir. Bu şiirlerde tufan; kolektif zaferi, tarihi devamlılığı, inanç eksenli bir arınmayı ve ilahi yardımı aynı potada eriten birleştirici bir güç olarak işlenir. Bu zengin anlam dünyası, “tufan” kelimesinin Aksa Tufanı şiirinde adeta bağımsız bir sembol ve ana tema haline gelmesinin en temel nedenidir.

SONUÇ

Bu çalışmada ele alınan sözkonusu olay üzerine kaleme alınan şiirler yapılan karşılaştırmalı okuma, Aksa Tufanı operasyonunun Arap şiirinde tek bir merkezi anlatıyla değil, biçimsel, imgesel ve tematik düzeylerde birbirini tamamlayan çoklu bir söylemler bütünüyle yansıdığını ortaya koymaktadır. Biçimsel düzeyde, şairlerin aynı başlık altında (veya aynı anahtar kavram etrafında) buluşması ve klasik kaside/aruz formuna

yoğun bir dönüş, güncel bir hadiseyi tarihsel bir süreklilik zincirine ekleme arzusunun somut göstergeleridir. İmgesel düzeyde, Ebâbil-Siccîl ve örümcek ağı gibi Kur'ânî semboller ile Ömer b. Hattâb, Hâlid b. Velîd ve Selâhaddin Eyyûbî gibi tarihsel kahraman figürleri, direnişin hem ilahî hem de medeniyetsel meşruiyetini inşa eden temel referans noktaları olarak işlev görmektedir. Tematik düzeyde ise, zafer gururu ile katliam karşısındaki acı ve öfke, Arap rejimlerinin sessizliğine yönelik hiciv ile “tufan” kavramının çok katmanlı yeniden inşası, birbirini dışlamayan, aksine iç içe geçen bir duygu ve söylem yelpazesi oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, Aksa Tufanı şiiri, güncel bir askerî-siyasi hadiseyi kolektif hafızanın arşivine dönüştüren, bölgesel farklılıklara rağmen ortak bir sembolik dil etrafında birleşen ve direniş edebiyatının klasik işlevini -toplumsal bilinci yeniden şekillendirme, tarihsel meşruiyet inşa etme ve umudu diri tutma- çağdaş koşullarda yeniden üreten canlı bir edebî pratik olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın da işaret ettiği üzere, söz konusu külliyyatın daha geniş bir korpus üzerinden (farklı ülke ve nesillerden şairleri kapsayacak biçimde) sistematik olarak incelenmesi, hem Arap direniş edebiyatının çağdaş dönüşümünü hem de Filistin davasının Arap-İslâm kolektif kimliği içindeki merkezî konumunu daha derinlemesine anlamamıza katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Amarou, M. A. (Ed.). (2023). *Dîvānu Tûfāni 'l-Akṣā. İttihādu 'l-udebâi ve 'l-küttābi 'l-Moritāniyyîn*.
- Azîzî, V. E. (2023). *Filistînu ummu 'l-kadâyâ fi 'l-edebi 'l-Cezâirî*. <https://akhbarelwatane.dz/%D9%81%D9%84%D8%B3%D8%B7%D9%8A%D9%86-%D8%A3%D9%85%D9%8F%D9%91-%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%B6%D8%A7%D9%8A%D8%A7-%D9%81%D9%8A-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AF%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1%D9%8A/>
- Cerrâr, S., & Ya'kûb, S. (Ed.). (2023). *Dîvānu Tûfāni 'l-Akṣā*.
- Diab, R. (2025). “The Al-Aqsa Flood” in *Contemporary Algerian Poetry: A Cry Against Oppression and an Anthem of Freedom A Study of Selected Works*. 36(4), 355-365. <https://asjp.cerist.dz/en/article/288636>
- el-Ekra', H. (2023). *Tûfānu 'l-Aksâ*. poetsgate. <https://poetsgate.com/poem.php?pm=233639>
- el-Ezdi, H. (2023). *Kasîdetu Tûfāni 'l-Aksâ*. <https://www.iraqcharter.org/%D9%82%D8%B5%D9%8A%D8%AF%D8%A9-%D8%B7%D9%88%D9%81%D8%A7%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%82%D8%B5%D9%89>
- el-Himyerî, M. H. (2023). *Kasîdetu Tûfāni 'l-Aksâ*. Mecelletu 'l-Muctema. <https://mugtama.com/a/a7prk9xz>
- es-Seyyid, S. A. b. M. (2023). *Tûfānu 'l-Aksâ*. odabasham. <https://www.odabasham.net/%D8%B4%D8%B9%D8%B1/132424-%D8%B7%D9%88%D9%81%D8%A7%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%82%D8%B5%D9%89-4>
- et-Temîmî, H. (2023). *Tûfānu 'l-Aksâ*. poetsgate. <https://poetsgate.com/poem.php?pm=233687>
- Hallaf, H. (2025). *İstid'â 'u şahsiyyeti 'l-kā'idi 'l-İslāmî fi dîvāni Tûfāni 'l-Akṣā*. (29), 361-375.
- Hammâd, H. H. (2023). *Kasîdetu Tûfāni 'l-Aksâ*. Diwan. <https://www.aldiwan.net/poem119651.html>
- Hayyûn, V. (2023). *Et-Tûfān*. poetsgate. <https://poetsgate.com/poem.php?pm=233578>

ORCID: Y. Dulek: 0000-0002-9546-980X | C. Gunesoglu: 0000-0002-8796-9679 |
B. Sevinc: 0000-0002-6168-4851 | İ. Yildiran: 0009-0008-3473-9491

Alkali Hidroliz Sonrası Konvansiyonel ve Geri Dönüştürülmüş Polyester Dokuma Kumaşların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Dr. Yasemin Dulek^{*1}, Prof. Dr. Cem Gunesoglu², Researcher Bugce Sevinc¹, Researcher Esmâ Ozturk¹,
Researcher Ipek Yildiran¹

1 S. Y.K. Textile Industry and Trade Inc., R&D Center
2 Gaziantep University, Textile Engineering

* Corresponding Author: Yasemin DULEK
yasemindulek@sykteks.com

ÖZET

Polyester kumaşlar yüksek mukavemet, kolay bakım ve düşük üretim maliyeti gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmakla birlikte, hidrofobik lif yapıları nedeniyle sınırlı nem alma, düşük hidrofilite ve sert tutum gibi dezavantajlar gösterebilmektedir. Bu dezavantajların azaltılması amacıyla uygulanan alkali hidroliz işlemi, polyester lif yüzeyinde kontrollü aşınma oluşturarak kumaşların tutum, hidrofilite, boyanabilirlik ve konfor özelliklerini iyileştirebilmektedir. Bu çalışmada, konvansiyonel polyester ve geri dönüştürülmüş polyester atkı iplikleriyle üretilmiş dokuma kumaşların farklı alkali hidroliz koşullarındaki performans değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deney planında, referans koşul olarak 80°C'de alkali kimyasal içermeyen işlem uygulanırken, alkali işlemler iki farklı sıcaklıkta (100°C ve 120°C) sabit bir alkali konsantrasyonunda (%10) gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası numuneler ağırlık değişimi, kopma mukavemeti, boncuklanma, eğilme rijitliği, temas açısı, renk verimi, renk haslıkları ve termal konfor özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Bulgular, alkali işlem sıcaklığının artmasıyla her iki kumaş grubunda da temas açısının azaldığını ve hidrofilitenin iyileştiğini göstermiştir. Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş polyester içeren numunelerde mukavemet kaybının konvansiyonel polyester numuneye göre daha belirgin olduğu görülmüştür. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş polyester kumaşlarda alkali hidroliz prosesinin hidrofilite ve konfor avantajları sağlayabileceğini, ancak mekanik performans kayıplarının kontrolü için sıcaklık ve konsantrasyon dengesinin dikkatle optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: geri dönüştürülmüş polyester, alkali hidroliz, mekanik özellik, ısıl konfor

Comparative Evaluation of Conventional and Recycled Polyester Woven Fabrics After Alkaline Hydrolysis

ABSTRACT

Polyester fabrics are widely used due to their high strength, easy-care properties and relatively low production cost; however, their hydrophobic fiber structure may lead to limited moisture absorption, low wettability and relatively harsh handle. Alkaline hydrolysis is an effective surface modification process that can improve handle, wettability, dyeability and comfort properties of polyester fabrics by controlled surface etching of the fibers. In this study, the performance changes of woven fabrics produced from conventional polyester and recycled polyester weft yarns were comparatively investigated under selected alkaline hydrolysis conditions. In the experimental design, an alkaline chemical-free reference treatment was applied at 80°C, while alkaline treatments were carried out at a fixed alkaline concentration (%10) at two different temperatures, 100°C and 120°C. After the treatment, the samples were evaluated in terms of weight change, tensile strength, pilling resistance, bending stiffness, water contact angle, color strength, color fastness and thermal comfort properties. The results showed that increasing treatment temperature reduced the water contact angle and improved wettability in both fabric groups. However, the recycled polyester-containing fabric exhibited a more pronounced tensile strength loss compared with the conventional polyester fabric. The findings indicate that alkaline hydrolysis can provide wettability and comfort-related improvements in recycled polyester fabrics, but process parameters should be carefully optimized to balance surface modification benefits with mechanical performance losses.

Keywords: recycled polyester, alkaline hydrolysis, mechanical properties, thermal comfort

1. INTRODUCTION

Polyester, particularly poly(ethylene terephthalate) (PET), is one of the most widely used synthetic fibers in the textile industry owing to its high strength, dimensional stability, wrinkle resistance, easy-care properties and relatively low production cost. Its dominant position in the global fiber market also makes polyester an important material from both performance and sustainability perspectives. According to the

Textile Exchange Materials Market Report 2025, polyester accounted for 59% of total global fiber production in 2024, while 88% of polyester production was still fossil-based. Although recycled polyester production increased in volume, its share in total polyester production slightly decreased to around 12% in 2024, and most recycled polyester was still produced from plastic bottles rather than textile-to-textile recycling (Textile Exchange, 2025). Therefore, studies on polyester textile finishing should consider not only functional performance but also the suitability of recycled polyester materials for conventional industrial finishing processes.

Despite its widespread use, PET has some inherent limitations associated with its hydrophobic chemical structure and relatively high crystallinity. These characteristics lead to low moisture regain, limited wettability, insufficient moisture transport and difficulties in some finishing, washing and dyeing processes. In addition, the hydrophobic surface of PET fibers may negatively affect wearer comfort, static electricity behavior, oily soil attraction and fabric handle (Ömeroğulları Başyigit, 2018; Corak et.al, 2022). For these reasons, various physical, chemical, plasma-based and enzymatic surface modification methods have been investigated to improve the surface properties and comfort-related performance of polyester fabrics. Among these approaches, alkaline hydrolysis with sodium hydroxide (NaOH) remains one of the most widely used and industrially applicable chemical modification methods for PET fabrics.

Alkaline hydrolysis is based on the chemical degradation of ester bonds in the PET macromolecular chain by hydroxyl ions. Since the reaction mainly starts from the fiber surface, the process causes controlled surface etching, reduction in fiber diameter, weight loss and changes in surface morphology. When properly controlled, these changes can improve fabric softness, drape, luster, wettability, dyeability and comfort properties (Youn & Park, 2019; İçoğlu, 2022; Vigneswaran & Anbumani, 2011; Almetwally, 2022). Similar improvements in hydrophilicity, dyeability and flexibility have also been reported for alkaline-treated polyester and polyester/cotton fabrics, although weight and strength losses remain important limitations of the process (Shams Nateri & Goodarz, 2013; Getnet & Chavan, 2015).

However, the same process may also cause considerable mechanical deterioration if the treatment conditions are too severe. Previous studies have reported that strong alkali and high processing temperatures, especially above 100°C, may lead to fabric damage and strength loss, although they can enhance the degree of hydrolysis and surface modification (Corak et.al, 2022). In addition, alkaline hydrolysis has been used to create nano-scale surface roughness for functional polyester fabrics; however, these studies also emphasized the need to balance surface functionality with weight and tensile strength losses (Han et.al, 2016; Lee, 2022). Therefore, chemical concentration, treatment temperature and treatment time should be carefully optimized to obtain a balance between improved surface functionality and acceptable mechanical performance.

The increasing use of recycled polyester (rPET) in textile applications has created a new need to evaluate how recycled polyester fabrics respond to conventional finishing and surface modification processes. Recycled PET fibers are considered important for reducing dependence on virgin fossil-based resources and for improving the circularity of PET-containing products. Life cycle assessment studies have shown that recycled PET fibers may offer important environmental benefits compared with virgin PET fibers, particularly in terms of non-renewable energy use and global warming potential, depending on the recycling route and allocation method (Shen et.al, 2010). Nevertheless, the use of recycled polyester in textiles should not be evaluated only through environmental indicators. The performance of rPET yarns and fabrics, including strength, dimensional behavior, air permeability and durability, may differ depending on polymer source, filament structure, production history and yarn characteristics (Kırış & Yılmaz, 2021).

Several studies have investigated the effects of alkaline hydrolysis on polyester materials in terms of weight reduction, fiber morphology, hydrophilicity, dyeability, thermal comfort and mechanical performance (İçoğlu, 2022; Corak et.al, 2022; Almetwally, 2022; Brueckner et.al, 2008; Pan & Qian, 2024). In addition, recycled polyester yarns have been examined with respect to woven fabric properties such as weight, breaking strength, tearing strength, seam strength, abrasion resistance and air permeability (Kırış & Yılmaz, 2021). However, there is still a limited number of studies comparing the alkaline hydrolysis behavior of conventional polyester and recycled polyester fabrics under the same fabric construction.

In this study, woven fabrics produced with conventional polyester and recycled polyester weft yarns (recycled from bottles) were subjected to selected alkaline treatment conditions. The present work focuses on the different responses of conventional and recycled polyester fabrics to alkaline hydrolysis. In the experimental plan, the reference treatment was performed at 80°C without the addition of any alkaline chemical, whereas the alkaline hydrolysis treatments were carried out at a fixed chemical concentration under two different temperature levels, 100°C and 120°C. The treated fabrics were evaluated in terms of weight change, tensile strength, pilling resistance, bending stiffness, water contact angle, color strength, color fastness and thermal comfort properties. The main objective of the study is to determine whether recycled polyester fabrics exhibit a similar or different performance response compared with conventional polyester fabrics under industrially applicable alkaline hydrolysis conditions, and to suggest suitable process conditions that provide improved wettability and comfort while minimizing mechanical performance loss.

2.METHODOLOGY

In this study, two woven polyester fabric samples, coded as R and R RCY, were used. The main variable of the study was the raw material type of the weft yarn. Sample R was produced using conventional polyester weft yarn, while sample R RCY was produced using recycled polyester (recycled from bottles) weft yarn. In order to obtain comparable results, the warp yarn, fabric density and weave pattern were kept constant for both fabric groups. The fabrics were woven in an 8-end satin weave pattern with a fabric density of 80 ends/cm in the warp direction and 54 picks/cm in the weft direction. A 70 denier/72 filament polyester textured yarn was used as the warp yarn for both fabrics. The weft yarn of sample R was 70 denier 72 filament conventional polyester yarn, whereas the weft yarn of sample R RCY was 70 denier 72 filament recycled polyester yarn. The structural properties of the fabric samples are given in Table 1.

Table 1. Woven Fabric Structural Properties

	Convantional Polyester (R)	Recycled Polyester (R RCY)
Warp Yarn	70 denier 72 filament conventional polyester textured yarn	
Weft Yarn	70 denier/72 filament polyester yarn	70 denier/72 filament recycled polyester yarn
Composition	100% Polyester	60% Polyester 40% Recycled Polyester
Warp Density	80 ends/cm	
Weft Density	54 picks/cm	
Weave Type	8-end sateen	

A commercial alkaline chemical, neutralizing agent, disperse dye and hydrophilic silicone-based softener were used in the wet processing stages. Sodium hydroxide supplied by Akkim was used as the alkaline chemical in the hydrolysis process. A neutralizing acid was used after the alkaline treatment, Bemacron Smart Red disperse dye was used in the dyeing process, and a hydrophilic silicone emulsion was applied in the final soft finishing process.

After weaving, the fabric samples were subjected to selected wet processing conditions. The experimental plan consisted of one reference treatment and two alkaline treatment conditions. The reference treatment was carried out at 80°C without any alkaline chemical addition. The alkaline treatments were performed at a fixed NaOH concentration (10%) under two different temperature levels, 100°C and 120°C. The same process conditions were applied to both R and R RCY fabric samples (Table 2).

Table 2. Experimental Design

Sample Code	Spinning Type	Pre-treatment Concentration
R-80	Reference treatment	80°C, without alkaline chemical addition
R-100	Alkaline treatment	100°C, fixed alkaline chemical concentration
R-120	Alkaline treatment	120°C, fixed alkaline chemical concentration
R RCY-80	Reference treatment	80°C, without alkaline chemical addition

R RCY-100	Alkaline treatment	100°C, fixed alkaline chemical concentration
R RCY-120	Alkaline treatment	120°C, fixed alkaline chemical concentration

The alkaline hydrolysis processes were carried out at factory scale in a Fong's HT dyeing machine using a liquor ratio of 1:10. After the alkaline treatment, the samples were neutralized to remove residual alkalinity. Subsequently, all fabric samples were dyed with a red disperse dye using a 1% color recipe. After dyeing, the fabrics were subjected to a soft finishing process in a stenter machine.

Before testing, all fabric samples were conditioned for 24 h under standard atmospheric conditions of 20°C and 65% relative humidity. All measurements were repeated three times, and the average values were used for evaluation.

The fabric weight was measured and expressed as grams per meter, since the finished fabric width varied depending on the treatment condition. Tensile strength measurements were performed in warp and weft direction using a universal tensile tester according to TS EN ISO 13934-2. Since the main difference between the fabric samples was the weft yarn type, weft-direction tensile strength was considered in the evaluation of mechanical performance.

Pilling resistance was evaluated after 2000 cycles using a Martindale abrasion and pilling tester according to TS EN ISO 12945-2. Circular bending stiffness was measured using a digital pneumatic stiffness tester according to ASTM D4032-08. Water contact angle measurements were performed using a KSV CAM 100 contact angle measurement device according to ASTM D5946 in order to evaluate the wettability behavior of the fabrics.

Color measurements were carried out using a Datacolor SF600 reflectance spectrophotometer. The measurements were performed according to the CIELab color system under D65 illuminant and 10° standard observer conditions with a 6.6 mm aperture. Color strength values were calculated as K/S values from the reflectance measurements.

Color fastness tests were conducted to evaluate the effect of the treatment conditions on dyed fabric performance. Color fastness to washing, water, acidic and alkaline perspiration, and dry/wet rubbing were determined according to TS EN ISO 105-C06, TS EN ISO 105-E01, TS EN ISO 105-E04 and TS EN ISO 105-X12 standards, respectively.

Thermal comfort properties were measured using an Alambeta device (Sensora, Czech Republic) in accordance with the device measurement standard derived from ISO 11092. Thermal conductivity, thermal diffusivity, thermal absorptivity, thermal resistance and maximum heat flow values were recorded. These parameters were used to evaluate the influence of treatment temperature and recycled polyester content on the thermal comfort behavior of the fabrics.

The performance changes caused by the alkaline treatments were calculated by comparing each treated sample with its corresponding reference sample processed at 80°C without alkaline chemical addition. Weight loss, tensile strength loss and water contact angle reduction were calculated using the following equation:

$$\text{Performance change (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

where P_1 represents the value of the reference fabric and P_2 represents the value of the fabric after alkaline treatment. For fabric weight and tensile strength, positive values indicate a decrease after treatment. For water contact angle, positive values indicate a reduction in contact angle and therefore an improvement in wettability.

3.RESULT AND DISCUSSION

The fabric weight and calculated weight loss values of the conventional polyester and recycled polyester-containing fabrics are given in Table 3. The chemical-free treatment at 80°C was taken as the reference condition for each fabric group. The results show that fabric weight decreased after alkaline treatment in both fabric groups. For the conventional polyester fabric, weight loss increased from 1.26% at R-100 to 7.10% at R-120. Similarly, the recycled polyester-containing fabric showed 2.54% weight loss at R RCY-100 and 7.12% at R RCY-120. These findings indicate that increasing treatment temperature at a fixed chemical concentration enhanced the alkaline hydrolysis effect. While the recycled polyester-containing fabric showed slightly higher weight loss at 100°C, both fabric groups exhibited almost the same weight loss at 120°C. Therefore, the weight loss results suggest that temperature was the dominant factor at the higher treatment condition.

Table 3. Fabric Weight Test Results

Sample Code	Fabric weight (g/m)	Weight loss (%)
R-80	206,55	-
R-100	203,94	1,26
R-120	191,88	7,10
R RCY-80	206,64	-
R RCY-100	201,39	2,54
R RCY-120	191,92	7,12

The weft and warp tensile strength results are presented in Table 4. The samples treated at 80°C without alkaline chemical addition were used as references. Alkaline treatment caused tensile strength loss in the weft direction for both fabric groups. In the conventional polyester fabric, weft tensile strength loss increased from 17.77% at R-100 to 21.14% at R-120. A much higher decrease was observed in the recycled polyester-containing fabric, where the weft tensile strength loss reached 52.40% and 59.35% for R RCY-100 and R RCY-120, respectively. In the warp direction, the conventional polyester fabric also showed considerable strength loss, while the recycled polyester-containing fabric was less affected. Overall, the results indicate that alkaline treatment had a stronger negative effect on weft tensile strength, especially in the recycled polyester-containing fabric.

Table 4. Tensile Strength Test Results

Sample Code	Weft Tensile strength (N)	Weft Tensile strength loss (%)	Warp Tensile strength (N)	Warp Tensile strength loss (%)
R-80	891,25	-	1049,86	-
R-100	732,89	17,77	735,26	29,97
R-120	702,86	21,14	682,88	34,96
R RCY-80	1046,6	-	757,27	-
R RCY-100	498,14	52,40	729,94	3,61
R RCY-120	425,43	59,35	690,28	8,85

The pilling resistance results of all selected samples were found to be at the level of 4–5 for both the face and back sides of the fabrics. This indicates that neither the raw material type of the weft yarn nor the selected alkaline treatment conditions caused a significant deterioration in pilling performance.

The bending stiffness results are given in Table 5. The bending stiffness values decreased after alkaline treatment in both fabric groups. In the conventional polyester fabric, stiffness decreased from 0.085 kgF to 0.074 kgF and 0.071 kgF, while in the recycled polyester-containing fabric it decreased from 0.099 kgF to 0.080 kgF and 0.070 kgF. This decrease indicates improved fabric flexibility and a softer handle after alkaline treatment. The effect was more evident in the recycled polyester-containing fabric, which had the highest stiffness in the reference state but reached a similar level to the conventional polyester fabric after treatment at the higher temperature.

Table 5. Bending Stiffness and Water Contact Angle Test Results

Sample Code	Bending stiffness (kgF)	Water contact angle (°)	Contact angle reduction (%)
R-80	0,085	46,0	-
R-100	0,074	30,8	33,04
R-120	0,071	28,4	38,26
R RCY-80	0,099	61,9	-
R RCY-100	0,080	31,0	49,92
R RCY-120	0,070	29,2	52,83

The water contact angle results are also presented in Table 5. The water contact angle results show that alkaline treatment improved the wettability of both fabric groups. In the conventional polyester fabric, the contact angle decreased from 46.0° for R-80 to 30.8° for R-100 and 28.4° for R-120. The corresponding reductions were 33.04% and 38.26%. A more pronounced decrease was observed in the recycled polyester-containing fabric. The contact angle decreased from 61.9° for R RCY-80 to 31.0° for R RCY-100 and 29.2° for R RCY-120, corresponding to reductions of 49.92% and 52.83%. Alkaline treatment significantly enhanced fabric wettability, especially in the recycled polyester-containing fabric. Increasing the treatment temperature slightly improved the contact angle reduction in both fabric groups.

The CIELab color coordinates and color strength values of the samples are presented in Table 6. The color measurement results showed that alkaline treatment did not cause a remarkable change in the lightness values of the fabrics. The L* values of both conventional and recycled polyester-containing fabrics remained close to the reference samples, indicating that the overall shade depth was generally preserved after treatment. For the conventional polyester fabric, the K/S value increased from 12.24 for R-80 to 13.16 for R-100, while it was measured as 12.35 for R-120. This shows that the treatment at 100°C slightly improved color strength, whereas increasing the temperature to 120°C did not provide an additional improvement. For the recycled polyester-containing fabric, the K/S value increased from 13.65 for R RCY-80 to 13.87 for R RCY-100 and 14.80 for R RCY-120. This indicates that alkaline treatment had more pronounced effect on color strength in the recycled polyester-containing fabric. In general, the CIELab and K/S results suggest that alkaline treatment maintained acceptable color properties while improving color yield, particularly for the recycled polyester-containing fabric.

Table 6. CIELab Color Coordinates and Color Yield (K/S) Test Results

Sample Code	L*	a*	b*	C*	h°	K/S
R-80	39,59	51,61	8,56	52,31	9,41	12,24
R-100	39,46	52,10	8,35	52,77	9,11	13,16
R-120	40,44	52,29	8,17	52,92	8,88	12,35
R RCY-80	39,60	53,66	6,93	54,11	7,35	13,65
R RCY-100	40,86	54,39	6,68	54,80	7,01	13,87
R RCY-120	39,64	54,11	7,16	54,58	7,54	14,80

The color fastness results are presented in Table 7-8. The results were generally within acceptable limits. Washing, water, acidic and alkaline perspiration, and rubbing fastness values were mostly at 4 and 4–5 levels. Only slight decreases to 3–4 were observed in some staining results of the recycled polyester-containing samples under selected fastness conditions. However, these decreases were limited and did not indicate a critical deterioration in overall dyed fabric performance.

Table 7. Washing and Water Color Fastness Test Results

Sample Code	Washing Fastness							Water Fastness						
	Staining						Color Change	Staining						Color Change
	Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool	
R-80	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R-100	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

R-120	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R RCY-80	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R RCY-100	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R RCY-120	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

Table 8. Perspiration and Rubbing Color Fastness Test Results

Sample Code	Acidic Perspiration Fastness							Alkaline Perspiration Fastness							Rubbing Fastness	
	Staining						Color Change	Staining						Color Change	Weft	
	Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Dry	Wet
R-80	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R-100	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R-120	4	4	4	4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4	4-5	4-5	4-5	4	4
R RCY-80	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R RCY-100	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	4-5	3-4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
R RCY-120	3-4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4

The thermal properties of the samples are given in Table 9. In the conventional polyester fabric, alkaline treatment increased thermal conductivity from 19.67×10^{-3} W/mK for R-80 to 22.20×10^{-3} W/mK for R-120. Thermal absorptivity and maximum heat flow also increased at R-120, indicating a cooler touch sensation and improved heat transfer behavior. For the recycled polyester-containing fabric, thermal conductivity was generally higher than that of the conventional polyester fabric and reached 27.30×10^{-3} W/mK for R RCY-120. However, thermal absorptivity decreased after alkaline treatment, especially at R RCY-100. Overall, alkaline treatment affected the thermal properties of both fabric groups. The most balanced improvement was observed in the conventional polyester fabric treated at 120°C.

Table 9. Thermal Comfort Test Results

Sample Code	Thermal Conductivity - (λ) - (W/mK) $\times 10^{-3}$	Thermal Diffusivity - (a) - (m^2/s) $\times 10^{-6}$	Thermal Absorptivity - (b) - ($W.s^{1/2}/m^2K$)	Thermal Resistance - (r) - (Km^2/W) $\times 10^{-3}$	Maximum heat flow - (q_m) - (W/m ²)
R-80	19,67	0,005	309,40	13,47	416,13
R-100	20,00	0,005	286,13	13,40	416,10
R-120	22,20	0,004	334,50	14,30	431,77
R RCY-80	25,70	0,007	320,43	14,00	428,50
R RCY-100	25,20	0,009	261,80	13,37	420,70
R RCY-120	27,30	0,008	302,00	14,73	418,73

4.CONCLUSION

In this study, the effects of alkaline treatment on conventional polyester and recycled polyester-containing woven fabrics were comparatively investigated. The results showed that alkaline treatment caused weight loss in both fabric groups, and the weight loss increased with increasing treatment temperature. At the higher treatment temperature, both fabrics exhibited similar weight loss values of approximately 7%.

Alkaline treatment improved the wettability of the fabrics, as confirmed by the decrease in water contact angle values. This improvement was more pronounced in the recycled polyester-containing fabric. In addition, bending stiffness decreased after treatment, indicating improved fabric flexibility and a softer handle.

However, alkaline treatment also caused tensile strength loss, especially in the weft direction. The recycled polyester-containing fabric showed a much higher weft tensile strength loss compared with the conventional

polyester fabric. This result indicates that recycled polyester-containing fabrics are more sensitive to alkaline treatment and require more careful process control.

Color measurement results showed that alkaline treatment did not cause a critical deterioration in color properties. The K/S values were maintained or improved, particularly in the recycled polyester-containing fabric. Color fastness results were generally within acceptable limits. Thermal comfort results indicated that the most balanced improvement was obtained in the conventional polyester fabric treated at 120°C.

Overall, alkaline treatment can improve the wettability, flexibility, color yield and some comfort-related properties of polyester fabrics. However, for recycled polyester-containing fabrics, the treatment conditions should be optimized carefully to balance surface modification benefits with mechanical performance losses. Therefore, milder alkaline treatment conditions may be more suitable for recycled polyester-containing fabrics when tensile strength retention is a priority.

For future studies, the alkaline treatment conditions should be investigated in a wider experimental range by considering lower chemical concentrations, shorter treatment durations and alternative temperature levels, especially for recycled polyester-containing fabrics. In addition, surface morphology analyses such as SEM and fiber diameter measurements may be used to better understand the relationship between weight loss, surface modification and mechanical performance. Further studies may also focus on optimizing alkaline treatment together with eco-friendly finishing agents in order to improve wettability and comfort properties while minimizing tensile strength loss. Moreover, the long-term durability of treated fabrics after repeated washing and wearing should be evaluated to determine their suitability for industrial and commercial applications.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported under Project No: PR-02-23-SYK-00 by SYK Textile R&D Center affiliates Ministry of Industry and Technology, The Republic of Türkiye.

5. REFERENCES

- ALMETWALLY, A.A. (2022). "Alkaline Hydrolysis of Polyester Woven Fabrics and its Influence on Thermal Comfort Properties", *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(12), 259-274.
- BRUECKNER, T., EBERL, A., HEUMANN, S., RABE, M. and GUEBITZ, G.M. (2008). "Enzymatic and Chemical Hydrolysis of Poly(ethylene terephthalate) Fabrics", *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, 46, 6435-6443.
- ČORAK, I., TARBUK, A., ĐORĐEVIĆ, D., VIŠIĆ, K. and BOTTERI, L. (2022). "Sustainable Alkaline Hydrolysis of Polyester Fabric at Low Temperature", *Materials*, 15(4), 1530.
- GETNET, M. and CHAVAN, R.B. (2015). "Catalyzation of Alkaline Hydrolysis of Polyester by Oxidizing Agents for Surface Modification", *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 22(2), 232-252.
- HAN, M.S., PARK, Y. and PARK, C.H. (2016). "Development of Superhydrophobic Polyester Fabrics Using Alkaline Hydrolysis and Coating with Fluorinated Polymers", *Fibers and Polymers*, 17(2), 241-247.
- İÇOĞLU, H.İ. (2022). "Comparative Analysis of PET, PTT and PBT Yarns Hydrolyzed by Alkali", *Tekstil ve Konfeksiyon*, 32(1), 57-64.
- JEYAKODI MOSES, J. and PITCHAI, S. (2015). "A Study on the Dyeing of Sodium Hydroxide Treated Polyester/Cotton Blend Fabrics", *International Journal of Science, Technology and Society*, 3(1), 1-9.
- KIRIŞ, G. and YILMAZ, D. (2021). "The Effect of Recycled Polyester (rPET) Filament Fiber Properties on Various Woven Fabric Performance Properties", *Tekstil ve Konfeksiyon*, 31(3), 171-182.
- LEE, S. (2022). "Superhydrophobicity and Conductivity of Polyester-Conductive Fabrics Using Alkaline Hydrolysis", *Royal Society of Chemistry, RSC Advances*, 12, 22911-22921.
- ÖMEROĞULLARI BAŞYİĞİT, Z. (2018). "Effects of Chemical and Surface Modification on Mechanical and Chemical Properties of Polyester Fabrics", *Düzce University Journal of Science & Technology*, 6, p.1344-1353.

- PAN, S. and QIAN, H. (2024). "Ultrasonic-Assisted Alkali Hydrolysis of Polyethylene Terephthalate Fabric and Its Effect on the Microstructure and Dyeing Properties of Fibers", *AUTEX Research Journal*, 24(1), 20230031.
- SHAMS NATERI, A. and GOODARZ, M. (2013). "Making Polyester/Cotton Blend Fabrics Silk-Like Through Alkaline Oxidation", *Research Journal of Textile and Apparel*, 17(3), 150-154.
- SHEN, L., WORRELL, E. and PATEL, M.K. (2010). "Open-Loop Recycling: A LCA Case Study of PET Bottle-to-Fibre Recycling", *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1), 34-52.
- TEXTILE EXCHANGE. (2025). *Materials Market Report*.
<https://textileexchange.org/app/uploads/2025/09/Materials-Market-Report-2025.pdf>
- VIGNESWARAN, C. and ANBUMANI, N. (2011). "Partial Alkaline Hydrolysis Treatment on the Physical Characteristics of Polyester Rotor Spun Yarns", *The Journal of the Textile Institute*, 102(2), 140-149.
- YOUN, S. and PARK, C.H. (2019). "Development of Breathable Janus Superhydrophobic Polyester Fabrics Using Alkaline Hydrolysis and Blade Coating", *Textile Research Journal*, 89(6), 959-974.

ORCID: 0009-0002-7672-3435 / 0000-0002-4576-0295

Evli Bireylerde Eş Uyumu Ölçeği Geliştirme Ön Psikometrik Özellikleri Çalışması: Açımlayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Araştırmacı Nermin Rodoslu¹, Doç. Dr. Hadiye Küçükkaragöz²¹ İstanbul Aydın Üniversitesi Tezli Yüksek Lisans Öğrencisinerminrodoslu@stu.aydin.edu.tr² İstanbul Aydın Üniversitesi PDR Anabilim Dalı EBTAM Müdürühadiyekucukkaragoz@aydin.edu.tr

- Corresponding Author: Nermin RODOSLU
• nrodoslu@gmail.com

ÖZET

Amaç: Evlilik; duygusal, sosyal ve psikolojik yönlerden bireylerin gereksinimlerini karşılamayı amaçlayan uzun süreli ve dinamik bir ilişki sistemi olarak nitelendirilmektedir. Evlilik sürecinde karşılaşılan yaşam olayları, rol değişimleri ve geleceğe dair öngörülemez durumlar, çiftlerin çeşitli belirsizliklerle karşı karşıya kalmasına neden olabilmektedir. Belirsizliğe tahammülsüzlük ise bireyin belirsiz durumları tehdit edici, rahatsız edici veya baş edilmesi güç olarak algılama eğilimini ifade eden önemli bir psikolojik yapı olarak adlandırılmaktadır. Bu psikolojik yapı, bireylerin hem kişisel uyum süreçlerini hem de evlilik ilişkilerinin niteliğini etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusuna odaklanan araştırmaları inceleyerek alanyazındaki mevcut durumu ortaya koymak ve konuya ilişkin araştırma eğilimlerini belirlemektir.

Yöntem: Araştırma, geleneksel alan yazın taramasına dayalı bir derleme çalışması olarak yürütülmüştür. Veri toplama sürecinde doküman incelemesi yöntemi kullanılmış, elde edilen veriler betimsel bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda DergiPark, YÖK Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde 2010–2026 yılları arasında yayımlanan çalışmalar; “belirsizliğe tahammülsüzlük”, “evlilik” ve “belirsizliğe tahammülsüzlük ve evlilik” anahtar sözcükleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmaların seçiminde, evli bireylerden oluşan örneklem grubuna sahip olması, katılımcıların 18 yaş ve üzerinde olması, Türkçe yayımlanmış olması ve belirsizliğe tahammülsüzlük değişkenini içermesi temel ölçütler olarak belirlenmiştir.

Bulgular: Belirlenen ölçütler doğrultusunda toplam 15 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan inceleme sonucunda evli bireylerden oluşmayan örneklemle sahip olan, hamilelik veya sağlık temelli konulara odaklanan ya da belirlenen tarih aralığının dışında kalan 9 çalışma kapsam dışı bırakılmış; ölçütleri karşılayan 6 çalışma incelemeye dâhil edilmiştir. İncelenen çalışmaların dördünün yüksek lisans tezi, birinin doktora tezi ve birinin araştırma makalesi olduğu belirlenmiştir. Çalışmaların tamamının nicel araştırma yöntemleriyle yürütüldüğü görülmüştür. Bulgular, belirsizliğe tahammülsüzlük değişkeninin evlilik doyumu, stresle başa çıkma, finansal iyilik hâli, evlilikte öz yeterlik, karar verme süreçleri, çatışma çözme stratejileri, kişilik özellikleri, ilişkisel belirsizlik ve partner duyarlılığı gibi bireysel ve ilişkisel değişkenlerle birlikte ele alındığını göstermektedir. Özellikle evlilik doyumunun, en sık incelenen ilişkisel değişken olarak öne çıktığı görülmektedir.

Sonuç: Türkiye’de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusunu ele alan çalışmaların sayısının sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut bulgular, belirsizliğe tahammülsüzlüğün hem bireysel işleyiş hem de evlilik ilişkilerinin niteliği üzerinde önemli bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, gelecekte gerçekleştirilecek nitel ve karma yöntemli araştırmaların konuya ilişkin daha derinlemesine bilgi sunacağı ve alanyazına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Belirsizliğe tahammülsüzlük, evlilik, evlilik doyumu, evli bireyler, alan yazın taraması

Intolerance Of Uncertainty Among Married Individuals: An Examination Of Studies Conducted In Türkiye

ABSTRACT

Intolerance of uncertainty is an important psychological construct referring to individuals’ tendency to perceive uncertain situations as threatening and to respond with cognitive, emotional, and behavioral distress. This construct influences not only individual psychological adjustment but also the quality of interpersonal relationships. Throughout marriage, couples encounter various sources of uncertainty, including financial difficulties, role transitions, parenthood, health-related challenges, and unpredictable life events. The present study aims to examine research conducted in Türkiye on intolerance of uncertainty among married individuals, identify current trends in the literature,

and reveal existing research gaps. This study was designed as a descriptive literature review based on a traditional review methodology. Relevant studies published between 2010 and 2026 were identified through searches of DergiPark, the National Thesis Center of the Council of Higher Education, TR Dizin, and Google Scholar. Of the 15 studies initially identified, six met the inclusion criteria and were included in the review. These consisted of four master's theses, one doctoral dissertation, and one research article. The findings indicate that intolerance of uncertainty has been examined primarily in relation to marital satisfaction, as well as coping with stress, financial well-being, marital self-efficacy, decision-making processes, conflict resolution strategies, personality traits, relational uncertainty, and partner responsiveness. Overall, the findings suggest that research on intolerance of uncertainty among married individuals in Türkiye remains limited. Future qualitative, quantitative, and mixed-methods studies are needed to provide a more comprehensive understanding of this topic and contribute to the development of literature.

Keywords: Intolerance of uncertainty, marriage, marital satisfaction, married individuals, literature review

1.GİRİŞ

Dinamik bir süreç olan yaşam, doğası gereği birçok belirsizliği bünyesinde barındırmaktadır. İnsan yapısı itibarıyla gelecekte yaşaması olasılığı olan durumları öngörmeye çalışsa da hayatın getirileri ve sonuçlarını net olarak yordayamamaktadır (Budner,1962; Robichaud, 2013). Bu nedenle belirsizlik, bireyin bilişsel, duygusal ve davranışsal süreçlerini etkileyen kaçınılmaz bir yaşam deneyimidir. Bu bağlamda bireylerin belirsizlik durumlarında verdikleri tepkiler kişinin geçmiş deneyimleri, bilişsel ve zihinsel değerlendirmeleri ve baş etme becerilerine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Carleton, 2016; Dugas vd., 2014). Bu bağlamda belirsizliğin dikkatle üzerinde durulması gereken alanlarından biri de evliliğdir.

Kişilerarası ilişkilerin en kurumsallaşmış ve dinamik örneği olan evlilik; iki karşı cinsiyetten bireyin yaşamlarını birleştirerek ortak bir gelecek inşa ettiği, duygusal, sosyal, psikolojik ve hukuksal boyutları bulunan bir sistemdir (Özgüven, 2025). Evlilik süreci boyunca karşılaşılan ekonomik sorunlar, rol değişimleri, çocuk sahibi olma durumu, sağlık problemleri ve geleceğe dair öngörülemeyen durumlar çiftleri zaman zaman çeşitli belirsizliklerle karşı karşıya bırakabilmektedir. Bu noktada eşlerin belirsizlik karşısında sergiledikleri bilişsel ve davranışsal tepkiler "eş uyumu" açısından büyük bir önem taşımaktadır (Fincham & Beach, 2010; Knobloch & Solomon, 1999). Bu noktada Spanier'e (1976) göre eş uyumu; çiftlerin ilişkilerindeki doyum, uzlaşma, bağlılık ve duygusal yakınlığı kapsayan, tek bir değişkenle açıklanamayacak kadar çok boyutlu bir yapıdır. Alan yazında eş uyumu; evlilik uyumu, evlilik kalitesi ve evlilik doyumunu gibi kavramlarla birlikte ele alınmakta; iletişim, empati, problem çözme becerileri, karşılıklı güven ve ortak değerlere ilişkin uzlaşabilme gibi birçok ilişki dinamiğini kapsamaktadır (Locke ve Wallace, 1959; Spanier, 1976; Olson, 2000; Fincham ve Beach, 2010).

Belirsizliğe tahammülsüzlüğün kaygı, depresyon ve endişe gibi bireysel psikopatolojilerle ilişkisini ortaya koyan çok sayıda çalışma (Andrews vd., 2023; Morriss vd., 2025; Kim vd., 2023) bulunmasına karşın, bu değişkenin evlilik ilişkileri ve eş uyumu üzerindeki yansımalarını inceleyen araştırmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmaların bütüncül biçimde değerlendirilmesi, mevcut literatürdeki eğilimlerin, araştırma boşluklarının ve gelecekte yürütülecek çalışmalara yönelik gereksinimlerin (cinsiyet, evlilik süresi, çocuk sahibi olma durumu gibi demografik parametreler ekseninde) belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan bu derleme çalışmasında, Türkiye'de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusuna odaklanan araştırmaların incelenmesi, alanyazındaki durumun ortaya konulması ve araştırma eğilimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.KURAMSAL ÇERÇEVE

Belirsizliğe tahammülsüzlük, bireyin belirsiz durumları tehdit edici olarak algılaması ve bu durumlara yönelik geliştirdiği bilişsel, duygusal ve davranışsal tepkileri ifade etmektedir. Belirsizliğe tahammülü düşük bireylerde stres, yoğun endişe, kaçınma davranışları, karar vermede güçlük ve problem çözme becerilerinde zayıflama görülebilmektedir (Freeston ve ark., 1994). Bu yönüyle belirsizliğe tahammülsüzlük yalnızca bireysel psikolojik uyumu değil, kişilerarası ilişkilerin niteliğini de etkileyen önemli bir psikolojik değişkendir.

Kişilerarası ilişkilerin en önemli örneklerinden biri olan evlilik, iki bireyin ortak yaşamı sürdürdüğü, duygusal, sosyal ve hukuksal boyutları bulunan dinamik bir sistemdir (Özgüven, 2025). Evlilik sürecinde ekonomik sorunlar, rol değişimleri, çocuk sahibi olma, sağlık problemleri ve geleceğe ilişkin

belirsizlikler gibi pek çok yaşam olayı çiftlerin uyumunu etkileyebilmektedir. Bu nedenle belirsizlik karşısında geliştirilen bilişsel ve davranışsal tepkiler, evlilik ilişkisinin niteliği açısından önem taşımaktadır.

Spanier'e (1976) göre eş uyumu; çiftlerin ilişkilerindeki doyum, uzlaşma, bağlılık ve duygusal yakınlığı kapsayan çok boyutlu bir yapıdır. Alan yazında eş uyumu; evlilik uyumu, evlilik doyumu ve evlilik kalitesi gibi kavramlarla birlikte ele alınmakta; iletişim, empati, problem çözme becerileri, karşılıklı güven ve ortak değerlere ilişkin uyum gibi birçok ilişki dinamiğini kapsamaktadır (Locke ve Wallace, 1959; Spanier, 1976; Olson, 2000; Fincham ve Beach, 2010). Bu nedenle eş uyumu, tek bir değişkenle açıklanamayacak kadar çok boyutlu bir yapı olarak değerlendirilmektedir.

Belirsizliğe tahammülsüzlüğün kaygı, depresyon ve endişe gibi psikolojik değişkenlerle ilişkisini ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, bu değişkenin evlilik ilişkileri ve eş uyumu ile olan ilişkisini inceleyen araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmaların bütüncül biçimde değerlendirilmesi, mevcut literatürdeki eğilimlerin, araştırma boşluklarının ve gelecekte yürütülecek çalışmalara yönelik gereksinimlerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan bu sistematik derleme çalışmasında, Türkiye'de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusunda gerçekleştirilen araştırmaların incelenmesi ve alan yazının genel görünümünün ortaya konulması amaçlanmaktadır.

3.YÖNTEM

Araştırma, belirli bir konuya ilişkin mevcut bilgiyi sistematik olmayan ancak eleştirel ve bütüncül bir yaklaşımla özetlemeyi, yorumlamayı ve sentezlemeyi amaçlayan geleneksel alan yazın taramasına (Grant & Booth, 2009; Li & Wang, 2018) dayalı bir derleme çalışması olarak yürütülmüştür. Veri toplama sürecinde doküman incelemesi yöntemi kullanılmış (Bowen, 2009), elde edilen veriler betimsel bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda DergiPark, YÖK Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde 2010–2026 yılları arasında yayımlanan çalışmalar; "belirsizliğe tahammülsüzlük", "evlilik" ve "belirsizliğe tahammülsüzlük ve evlilik" anahtar sözcükleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmaların seçiminde, evli bireylerden oluşan örneklem grubuna sahip olması, katılımcıların 18 yaş ve üzerinde olması, Türkçe yayımlanmış olması ve belirsizliğe tahammülsüzlük değişkenini içermesi temel ölçütler olarak belirlenmiştir.

4.BULGULAR

Belirlenen ölçütler doğrultusunda toplam 15 çalışma değerlendirmeye alınmış ve Tablo 1'de şeklinde verilmiştir.

Tablo 1 *Derlemeye Alınan Çalışmalar*

No	Yazar (Yıl)	Tür	Konu / İncelenen Değişkenler
1	Aktay & Bozkurt (2023)	Makale	Belirsizliğe tahammülsüzlük çalışmalarının bibliyometrik analizi
2	Akyüz (2023)	Doktora Tezi	İlişkisel belirsizlik, cinsiyet rolleri, partner duyarlılığı ve evlilik doyumu
3	Akyüz & Büyükşahin-Sunal (2024)	Makale	Evlilikte İlişkisel Belirsizlik Ölçeğinin Türkçeye uyarlanması
4	Altıparmak & Karabulut Bozal (2025)	Makale	Gebelikte risk algısı, belirsizliğe tahammül ve psikolojik dayanıklılık
5	Arslan, Muyan-Yılık, Bakalım, Bayraktar Uyar ve Sağlıklı (2021)	Makale	Belirsizliğe tahammülsüzlük, psikolojik iyi oluş ve bilinçli farkındalık
6	Çelik (2024)	Yüksek Lisans Tezi	Engelli bireylere yönelik evlilik tutumu, evliliğe yüklenen anlam ve belirsizliğe tahammülsüzlük
7	Damar (2019)	Yüksek Lisans Tezi	Belirsizliğe tahammülsüzlük, stresle başa çıkma ve evlilik doyumu

8	Demirkıran (2025)	Yüksek Lisans Tezi	Belirsizliğe tahammülsüzlük, kişilik tipleri ve çatışma çözme stratejileri
9	Geçgin & Sahranç (2017)	Makale	Belirsizliğe tahammülsüzlük ve psikolojik iyi oluş
10	Oktay (2022)	Doktora Tezi	Aile öngörülemezliği, belirsizliğe tahammülsüzlük, duygu düzenleme ve stresle başa çıkma
11	Öz & Damar (2023)	Makale	Göç eden kadınlarda belirsizliğe tahammülsüzlük, stresle başa çıkma ve evlilik doyumu
12	Sakman (2025)	Yüksek Lisans Tezi	Romantik ilişkilerde takıntı-zorlantı belirtileri ve belirsizliğe tahammülsüzlük
13	Şentekin (2025)	Yüksek Lisans Tezi	Riskli gebelerde olumlama, bilgilendirme, stres ve belirsizliğe tahammülsüzlük
14	Turhan (2026)	Yüksek Lisans Tezi	Evli bireylerde öz yetkinlik, belirsizliğe tahammülsüzlük ve karar verme becerisi
15	Yüksel (2024)	Yüksek Lisans Tezi	Belirsizliğe tahammülsüzlük, finansal iyi oluş ve evlilik doyumu

Yapılan inceleme sonucunda evli bireylerden oluşmayan örneklemlelere sahip olan, hamilelik veya sağlık temelli konulara odaklanan ya da belirlenen tarih aralığının dışında kalan 9 çalışma kapsam dışı bırakılmış; ölçütleri karşılayan 6 çalışma incelemeye dâhil edilmiştir. İncelenen çalışmaların dördünün yüksek lisans tezi, birinin doktora tezi ve birinin araştırma makalesi olduğu belirlenmiştir. Çalışmaların tamamının nicel araştırma yöntemleriyle yürütüldüğü görülmüştür. Bulgular, belirsizliğe tahammülsüzlük değişkeninin evlilik doyumu, stresle başa çıkma, finansal iyilik hâli, evlilikte öz yeterlik, karar verme süreçleri, çatışma çözme stratejileri, kişilik özellikleri, ilişkisel belirsizlik ve partner duyarlılığı gibi bireysel ve ilişkisel değişkenlerle birlikte ele alındığını göstermektedir. Özellikle evlilik doyumunun, en sık incelenen ilişkisel değişken olarak öne çıktığı görülmektedir. Tablo 2’de çalışmaya dahil edilen ilgili çalışmaların tablosu verilmiştir.

Tablo 2 Dahil Edilen Çalışmalar

Yazar (Yıl)	Tür	Örneklem	Örneklem Sayısı	Yöntem	Birlikte İncelenen Değişkenler
Pınar Damar (2019)	Yüksek Lisans Tezi	Evli kadınlar	108	Tanımlayıcı nicel araştırma	Stresle başa çıkma tarzları, evlilik yaşamı
Fatmanur Yüksel (2024)	Yüksek Lisans Tezi	Evli mavi yakalı bireyler	315	Nicel, ilişkisel tarama	Finansal iyilik hali, evlilik doyumu
Aysun Turhan (2026)	Yüksek Lisans Tezi	Evli bireyler	269	Nicel, ilişkisel tarama	Evlilikte öz yetkinlik, ilişkide karar verme
Yeliz Demirkıran (2025)	Yüksek Lisans Tezi	Evli bireyler	375	Nicel, ilişkisel araştırma	Çatışma çözme stratejileri, kişilik tipleri

Ayşe Nur Akyüz (2023)	Doktora Tezi	Yeni anne olmuş evli kadınlar	407	Nicel, Yapısal Eşitlik Modeli	İlişkisel belirsizlik, partner duyarlılığı, toplumsal cinsiyet rolleri, evlilik doyumu
Akyüz & Büyükaşahin-Sunal (2024)	Makale (Ölçek Uyarlama)	Evli bireyler	353	Ölçek uyarlama (AFA-DFA)	Evlilikte ilişkisel belirsizlik, evlilik doyumu

5.TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derleme çalışması kapsamında elde edilen bulgular, Türkiye'de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusunu doğrudan ele alan araştırmaların sayısının oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. İncelenen çalışmaların tamamının nicel araştırma yöntemleriyle yürütülmüş olması, konunun ağırlıklı olarak değişkenler arasındaki ilişkiler üzerinden ele alındığını; bireylerin belirsizlik deneyimlerini ve bu deneyimlerin evlilik ilişkilerine yansımalarını derinlemesine inceleyen nitel ve karma yöntemli araştırmaların ise yeterli düzeyde olmadığını ortaya koymaktadır. Alanyazın, belirsizliğe tahammülsüzlüğün kaygı, depresyon ve endişe gibi psikolojik belirtilerle ilişkili, birçok psikolojik bozuklukta ortak rol oynayan tanılar üstü bir bilişsel süreç olduğunu ortaya göstermektedir (Rosser, 2019; Dugas et al., 2026). Derleme kapsamında incelenen çalışmalar da bu doğrultuda belirsizliğe tahammülsüzlüğün yalnızca bireysel psikolojik işleyişi değil; evlilik doyumu, stresle başa çıkma, evlilikte öz yeterlik, karar verme süreçleri, çatışma çözme stratejileri ve partnerler arası ilişki dinamikleri gibi evlilik yaşamının önemli bileşenlerini de etkileyebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla belirsizliğe tahammülsüzlüğün, evlilik kurumunun niteliğini etkileyen önemli psikolojik faktörlerden biri olduğu ifade edilebilir.

Gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda farklı sosyodemografik özelliklere sahip örneklemelerle boyamsal, nitel ve karma yöntemli desenlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Özellikle her iki eşten veri toplanmasına dayanan dyadik araştırmaların, belirsizliğe tahammülsüzlüğün çift ilişkilerindeki karşılıklı etkilerini daha kapsamlı biçimde ortaya koyacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra evlilik süresi, çocuk sahibi olma durumu, ekonomik güçlükler, bağlanma biçimleri, iletişim örüntüleri ve çatışma çözme becerileri gibi değişkenlerin birlikte ele alınması, konuya ilişkin daha bütüncül bir bakış açısı sağlayacaktır. Elde edilecek bulguların, çiftlere yönelik psikolojik danışma ve psikoeğitim programlarında belirsizlikle baş etme becerilerinin geliştirilmesine, evlilik uyumunun güçlendirilmesine ve koruyucu ruh sağlığı hizmetlerinin planlanmasına önemli katkılar sunacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aktay, H., & Bozkurt, S. (2023). Belirsizliğe tahammülsüzlük çalışmaları üzerine bibliyometrik bir analiz. *Uluslararası Toplumsal Bilimler Dergisi*, 7(4), 285–303. <https://izlik.org/JA32JY25PJ>
- Akyüz, A. N. (2023). *Yeni anne olmuş evli kadınlarda ilişkisel belirsizlik, cinsiyet rollerine ilişkin kalıpyargılar, partner duyarlılığı ve evlilik doyumu arasındaki ilişkiler: İlişkisel türbülans modeli bakış açısıyla bir inceleme* (Tez No. 827649) [Doktora tezi, Ankara Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Akyüz, A. N., & Büyükaşahin-Sunal, A. (2024). Evlilikte ilişkisel belirsizlik ölçeğinin Türkçeye uyarlanması. *Nesne*, 12(33), 390–404. <https://doi.org/10.7816/nesne-12-33-06>
- Altıparmak, S., & Karabulut Bozal, Ş. (2025). The relationship of risk perception in pregnancy with uncertainty tolerance and psychological resilience. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 14(1), 107–113. <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.1575873>
- Andrews, J. L., Li, M., Minihan, S., Songco, A., Fox, E., Ladouceur, C. D., & Schweizer, S. (2023). The effect of intolerance of uncertainty on anxiety and depression, and their symptom networks, during the COVID-19 pandemic. *BMC Psychiatry*, 23, 261. <https://doi.org/10.1186/s12888-023-04734-8>

- Arslan, Ü., Muyan-Yılık, M., Bakalım, O., Bayraktar Uyar, B., & Sağlıklı, H. (2021). Relationship between intolerance of uncertainty and psychological wellbeing during the COVID-19 pandemic: The mediating role of mindfulness. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 50(1), 379–399. <https://izlik.org/JA66KL72CA>
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Budner, S. (1962). Intolerance of ambiguity as a personality variable. *Journal of Personality*, 30(1), 29–50. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1962.tb02303.x>
- Carleton, R. N. (2016). Into the unknown: A review and synthesis of contemporary models involving uncertainty. *Journal of Anxiety Disorders*, 39, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2016.02.007>
- Çelik, B. (2024). *Engelli bireylere yönelik evlilik tutumu ile evliliğe yüklenen anlam ve belirsizliğe tahammülsüzlüğün incelenmesi* (Tez No. 891130) [Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Damar, P. (2019). *Eşinin işi nedeni ile Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde yaşayan kadınlarda belirsizliğe tahammülsüzlük düzeyleri, stresle baş etme biçimleri ve evlilik doyumu* (Tez No. 917226) [Yüksek lisans tezi, Yakın Doğu Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Demirkıran, Y. (2025). *Evli bireylerde çatışma çözme stratejilerinin yordayıcısı olarak belirsizliğe tahammülsüzlük ve kişilik tipleri* (Tez No. 972423) [Yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Dugas, M. J., Buhr, K., & Ladouceur, R. (2004). The role of intolerance of uncertainty in etiology and maintenance. In R. G. Heimberg, C. L. Turk, & D. S. Mennin (Eds.), *Generalized anxiety disorder: Advances in research and practice* (pp. 143–163). Guilford Press.
- Dugas, M. J., Koerner, N., & Freeston, M. H. (2026). State of the science: Intolerance of uncertainty. *Behaviour Therapy*, 57(1), 17–36. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2025.08.009>
- Fincham, F. D., & Beach, S. R. H. (2010). Marriage in the new millennium: A decade in review. *Journal of Marriage and Family*, 72(3), 630–649. <https://doi.org/10.1111/j.1741-3737.2010.00722.x>
- Freeston, M. H., Rhéaume, J., Letarte, H., Dugas, M. J., & Ladouceur, R. (1994). Why do people worry? *Personality and Individual Differences*, 17(6), 791–802. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90048-5)
- Geçgin, F. M., & Sahraç, Ü. (2017). The relationships between intolerance of uncertainty and psychological well-being. *Sakarya University Journal of Education*, 7(4), 739–756. <https://doi.org/10.19126/suje.383737>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Kim, Y. J., Aslam, M. S., Deng, R., Leghari, Q. A., Naseem, S., Hassan, M. M. U., ... & Qian, L. (2023). Intolerance of uncertainty across stress, anxiety, and depression among university students in Pakistan: A descriptive cross-sectional study. *Heliyon*, 9(6), e16636. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16636>
- Knobloch, L. K., & Solomon, D. H. (1999). Measuring the sources and content of relational uncertainty. *Communication Studies*, 50(4), 261–278.
- Li, S., & Wang, H. (2018). Traditional literature review and research synthesis. In A. Phakiti, P. De Costa, L. Plonsky, & S. Starfield (Eds.), *The Palgrave handbook of applied linguistics research methodology* (pp. 123–144). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/978-1-137-59900-1_6
- Morriss, J., Butler, D., & Ellett, L. (2025). Intolerance of uncertainty and psychosis: A systematic review. *British Journal of Clinical Psychology*, 64(2), 344–354.

- Oktay, F. (2022). *Aile öngörülemezliği, öngörülemezlik inançları ve kontrol odağının depresif belirtiler, obsesif-kompulsif belirtiler ve kaygı belirtileri ile olan ilişkisinde duygu düzenleme zorlukları, belirsizliğe tahammülsüzlük ve stresle başa çıkma tarzlarının aracı rolünün yapısal eşitlik modellemesi ile incelenmesi* (Tez No. 748763) [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Öz, F., & Damar, P. (2023). Göç yapan kadınlarda belirsizliğe tahammülsüzlük, stresle başa çıkma ve evlilik doyumu: KKTC örneği. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 385–401. <https://izlik.org/JA86NJ55LH>
- Robichaud, M. (2013). Generalized anxiety disorder: Targeting intolerance of uncertainty. In G. Simos & S. G. Hofmann (Eds.), *CBT for anxiety disorders: A practitioner book* (pp. 57- 85). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118330043.ch3>
- Rosser, B. A. (2019). Intolerance of uncertainty as a transdiagnostic mechanism of psychological difficulties: A systematic review of evidence pertaining to causality and temporal precedence. *Cognitive Therapy and Research*, 43(2), 438–463. <https://doi.org/10.1007/s10608-018-9964-z>
- Sakman, E. C. (2025). *Duygu düzenleme güçlüğüünün romantik ilişki içerikli ve partnere yönelik takıntı-zorlantı semptomları ile ilişkisinde belirsizliğe tahammülsüzlüğün aracılık rolü* (Tez No. 954375) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Şentekin, G. (2025). *Riskli gebelerde olumlama ile bilgilendirmenin stres ve tahammülsüzlüğe etkisi* (Tez No. 946239) [Yüksek lisans tezi, Biruni Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Turhan, A. (2026). Evli bireylerde algılanan öz yetkinlik düzeyinin, belirsizliğe tahammülsüzlük ve karar verme becerisi üzerine etkisi (Tez No. 995493) [Yüksek lisans tezi, KTO Karatay Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Yüksel, F. (2024). Belirsizliğe karşı tahammülsüzlük ve finansal iyilik halinin evlilik doyumuna etkisi: Pandemi sonrası mavi yakalılar üzerine bir araştırma (Tez No. 929883) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Kent Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.

Kurumsal Yönetim Ve Sahiplik Yapısının Bankaların Kredi Verme Davranışı Üzerindeki Etkileri: Türk Mevduat Bankalarından Kanıtlar (2013–2023)

Dr. Adayı Korhan Turgut^{*1}, Prof. Dr. Mustafa Okur¹

¹ Marmara Üniversitesi

* Corresponding Author: Korhan Turgut
ateshan@yahoo.com

ÖZET

Bankaların kredi tahsis davranışı yalnızca makroekonomik koşullardan değil, sahiplik yapısı ve kurumsal yönetim özelliklerinden de etkilenmektedir. Bu çalışma, kamu sahipliği ile yönetim kurulu bağımsızlığının Türk mevduat bankalarının Kredi/Aktif Oranı ile ilişkisini incelemektedir. Türkiye literatüründe kredi davranışını sahiplik yapısı, yönetim kurulu bağımsızlığı ve makroekonomik değişkenlerle aynı model içinde inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Analizde, aktif büyüklüğüne göre ilk on mevduat bankasının 2013–2023 dönemini kapsayan dengeli panel veri seti (N=110) kullanılmıştır. Bağımlı değişkenin Kredi/Aktif Oranı olduğu modelde, kamu sermayeli banka olma durumu ve yönetim kurulundaki bağımsız üye sayısı temel açıklayıcı değişkenler; GSYH büyümesi ve enflasyon kontrol değişkenleri olarak yer almaktadır. Hausman testi sonuçları rastgele etkiler tahmincisinin kullanılmasına engel oluşturacak bir bulgu ortaya koymamış; tahminler banka düzeyinde kümelenmiş sağlam standart hatalarla gerçekleştirilmiştir. Kamu sahipliği ve bağımsız üye sayısı Kredi/Aktif Oranı ile pozitif; GSYH büyümesi ve enflasyon ise negatif yönde ilişkili bulunmuştur. Bulgular, kredi tahsis davranışı ile bankaların sahiplik ve yönetim özellikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermekte ve kamu bankalarının kredi kanalındaki rolüne ilişkin Türkiye örnekleminde güncel ampirik bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sahiplik Yapısı, Yönetim Kurulu Bağımsızlığı, Kredi/Aktif Oranı, Panel Veri, Türk Bankacılık Sektörü

Corporate Governance And Ownership Structure As Determinants Of Bank Lending Behavior: Evidence From Turkish Deposit Banks (2013–2023)

ABSTRACT

Banks' credit allocation is shaped not only by macroeconomic conditions but also by ownership structure and corporate governance characteristics. This study investigates the association between state ownership, board independence and the Loan-to-Asset Ratio of Turkish deposit banks. Studies that jointly examine lending behavior with ownership structure, board independence and macroeconomic variables within a single model have received relatively limited attention in the Turkish literature. The analysis employs a balanced panel dataset covering the ten largest deposit banks by asset size over the 2013–2023 period (N=110). With the loan-to-asset ratio as the dependent variable, state ownership and the number of independent board members serve as the main explanatory variables, while GDP growth and inflation are included as macroeconomic controls. Hausman test results did not produce evidence precluding the use of the random effects estimator, and estimates are obtained using bank-level clustered robust standard errors. State ownership and the number of independent board members are positively and significantly associated with the ratio, whereas GDP growth and inflation exhibit negative and significant associations. The findings indicate statistically significant relationships between lending behavior and banks' ownership and governance characteristics, offering recent evidence from Turkey on the credit-channel role of state-owned banks.

Keywords: Ownership Structure, Board Independence, Loan-to-Asset Ratio, Panel Data, Turkish Banking Sector

1. GİRİŞ

Bankaların kredi tahsis davranışı, finansal aracılık mekanizmasının etkinliği ile ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Tasarrufların üretken yatırımlara dönüştürülmesi ve para politikasının reel ekonomiye aktarımı büyük ölçüde bu kararlar üzerinden işlemekte; bu nedenle kredinin bilanço içindeki payını neyin belirlediği sorusu, banka yönetimlerinin

ötesinde düzenleyici otoriteleri ve politika yapıcılarını da yakından ilgilendirmektedir. Bununla birlikte, benzer makroekonomik koşullar altında faaliyet gösteren bankalar arasında gözlenen sistematik farklılıklar, açıklamanın bir bölümünün bankaların sahiplik ve yönetim yapılarında aranması gerektiğine işaret etmektedir. Türkiye bankacılık sektörü, sahiplik yapısı bakımından kamu, özel ve yabancı sermayeli bankaları aynı düzenleyici çerçeve altında birlikte barındırması nedeniyle bu ilişkiyi incelemek için elverişli bir ortam sunmaktadır; 2013–2023 dönemi ise güçlü büyüme evrelerini, pandemi şokunu ve yüksek enflasyonu tek bir gözlem penceresinde bir araya getirmektedir.

Bu arayışın kuramsal zemini iki hatta dayanmaktadır. Vekâlet yaklaşımı, sahiplik yapısının yöneticiler üzerindeki izleme baskısını ve dolayısıyla kaynak tahsis kararlarını şekillendirdiğini; yönetim kurulunun bağımsız üyeler aracılığıyla üstlendiği gözetim işlevinin bu mekanizmanın merkezinde yer aldığını öne sürer. Kamu sahipliği literatürü ise devlet mülkiyetindeki bankaların kredi politikalarının sosyal ve politik hedeflerden etkilenebildiğini, bu nedenle özel bankalardan sistematik biçimde ayrışabildiğini tartışmaktadır (La Porta vd., 2002; Dinç, 2005). Bu iki kuramsal yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, kredi tahsis davranışının bankaların kurumsal özelliklerinden bağımsız ele alınamayacağı hususu dikkat çekmektedir.

Bu çerçevede çalışmanın araştırma sorusu “Türk mevduat bankalarında sahiplik yapısı ve yönetim kurulu bağımsızlığı, makroekonomik koşullar kontrol edildiğinde, bankaların Kredi/Aktif Oranı ile anlamlı biçimde ilişkili midir?” olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, kamu sermayeli banka olma durumu ile yönetim kurulundaki bağımsız üye sayısının Kredi/Aktif Oranı ile ilişkisini incelemektedir. Analiz, aktif büyüklüğüne göre ilk on mevduat bankasının 2013–2023 dönemini kapsayan dengeli panel verisine (N=110) dayanmakta; tahminler, GSYH büyümesi ve enflasyonun kontrol edildiği bir rastgele etkiler modeliyle gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma, pandemi ve yüksek enflasyon dönemini de kapsayan güncel bir örneklemle Türk bankacılık sektörüne odaklanmakta olup kamu sahipliği ile yönetim kurulu bağımsızlığını aynı model içinde ele alarak kredi davranışını kârlılık göstergeleri yerine bilanço içi kredi payını yansıtan Kredi/Aktif Oranı üzerinden incelemektedir. Analiz sonuçları, sahiplik ve yönetim özellikleri ile kredi tahsis davranışı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Genel Çerçeve

Kurumsal yönetim yazınının çekirdeğindeki vekâlet sorunu, karar yetkisini kullanan yöneticiler ile bu kararların sonuçlarına katlanan pay sahipleri arasındaki çıkar ayrışmasından doğar (Jensen ve Meckling, 1976). Shleifer ve Vishny (1997) kurumsal yönetimi, finansman sağlayanların yatırımlarından uygun getiri elde etmesini güvenceye alan ilkeler bütünü olarak tanımlar. Bankacılıkta bu çerçeve kredi kararlarına iki kanal üzerinden bağlanır. Bunlar; sahiplik kimliği bankanın amaç fonksiyonunu ve risk iştahını, yönetim kurulunun bileşimi ise yöneticiler üzerindeki gözetim yoğunluğunu belirler şeklindedir. Kredi tahsisi her iki kanalın kesişiminde şekillendiğinden, sahiplik ve kurul yapısına ilişkin ampirik bulgular bu çalışmanın araştırma sorusu için doğrudan bilgi taşımaktadır.

2.2. Türkiye Çalışmaları

Türkiye’de sahiplik yapısına ilişkin bulgular tek yönlü değildir. Işık ve Hassan (2002), maliyet ve verimlilik ölçütlerini esas aldıkları çalışmalarında, 1988–1996 döneminde kamu sermayeli bankaların özel ve yabancı rakiplerine göre daha düşük maliyet düzeyiyle ve daha yüksek verimlilikle faaliyet gösterdiğini raporlayarak kamu-etkinsizliği görüşüne karşı bir perspektif sunar. Kredi davranışına doğrudan bakan Çolak ve Şenol (2021) ise kredi büyümesini bağımlı değişken olarak kamu bankalarının kredi genişlemesinde daha atak davrandığı, kârlılık ve etkinlikte ise özel ve yabancı bankaların öne çıktığı sonucuna ulaşır. Sahiplik yapısından yönetim kurulu bileşimine geçildiğinde tablo daha da karmaşıklaşmaktadır. Bağımsızlık bulguları belirgin biçimde ayrılmaktadır. Topaloğlu ve Ege (2018), Borsa İstanbul’daki 16 bankayı kapsayan 2007–2014 panelinde bağımsız üye sayısı ile ROA ve ROE arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulur. Buna karşılık Ersoy ve Aydın (2018), 2007–2013 dönemi mevduat bankalarında bağımsız yönetici oranının kârlılığı negatif yönde etkilediğini; Yağlı (2019) ise 2009–2016 döneminde bağımsız üye oranı ile özkaynak kârlılığı arasında negatif bir ilişki bulunduğunu ve bunun mevzuat gereği atanan üyelerin denetim işlevini şeklen yürütmesiyle açıklanabileceğini ortaya koyar. Dikkat çekici olan, bu bulguların tamamına yakınının kârlılık göstergelerine dayanmasıdır;

bağımsızlığın kredi tahsis davranışıyla ilişkisi Türkiye örnekleminde görece az incelenmiştir. Bu tablo, sahiplik ve kurul bağımsızlığının Kredi/Aktif Oranı ile ilişkisinin güncel Türkiye verisiyle sınanmasını gerekli kılmaktadır.

2.3. Uluslararası Çalışmalar

Uluslararası literatürde kamu sahipliği ile kredi davranışı arasındaki bağ daha sistematik biçimde işlenmiştir. La Porta vd. (2002) ve Dinç (2005), kamu bankalarının kredi davranışının özel bankalardan sistematik biçimde farklılaşabileceğini gösteren literatürün temel çalışmaları arasında yer almaktadır; Dinç (2005) ayrıca kamu bankalarında mevduatın toplam varlıklara oranının ve operasyonel gelirlerin özel bankalara kıyasla düşük kaldığını belirtir. Sapienza (2004), Cull vd. (2013) ve Ferri vd. (2014), sahiplik türünün ekonomik dalgalanmalar boyunca kredi arzını şekillendirdiğini gösterir. Micco vd. (2004) devlet müdahalesinin ardında finansal istikrar amacının yattığını vurgularken, Brei ve Schclarek (2013) 50 ülkeyi kapsayan örnekleme kredi büyümesini bağımlı değişken olarak kamu bankalarının normal dönemlerde daha yavaş genişlediğini, sistemik krizlerde ise kredi artışıyla özel bankaların daralmasını telafi ettiğini bulur. Bu bulgular kamu sahipliğinin kredi kanalındaki rolünü doğrulamakla birlikte, ilişkinin yönü ve büyüklüğü ülke ve dönem bağlamına duyarlı olduğunu ortaya koyar. Bu durum güncel ve ülkeye özgü kanıt ihtiyacını canlı tutmaktadır. Kurul bağımsızlığına ilişkin uluslararası bulgular da Türkiye'dekine benzer bir bölünme sergiler. Liang vd. (2013) Çin'de 50 bankalık örnekleme bağımsız yönetici oranının ROA ve ROE'yi pozitif yönde etkilediğini, Chou ve Buchdadi (2017) Endonezya'da bağımsız üye oranının net faiz marjı ve piyasa değeri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmektedir. Romano vd. (2012) ise İtalyan bankacılık gruplarında bağımsız yönetici oranı ile ROE ve ROA arasında anlamlı negatif bir ilişki tespit eder. Bulguların farklı yönlerde olması, kurul bağımsızlığının kredi tahsis davranışıyla ilişkisinin farklı örneklem ve dönemlerde yeniden incelenmesini hususunda motivasyonu arttırmaktadır.

2.4. Literatürün Değerlendirilmesi

Türkiye çalışmalarında sahiplik yapısı ve kurul bağımsızlığı ağırlıklı olarak kârlılık göstergeleri (ROA, ROE) üzerinden incelenmiş; kredi davranışına doğrudan odaklanan çalışma sayısı sınırlı kalmıştır. Buna karşılık uluslararası literatürde kamu sahipliğinin kredi arzıyla ilişkisi görece zengin biçimde incelenmiştir. Ortak sonuç, sahiplik ve kurul yapısının banka davranışlarıyla sistematik biçimde ilişkili olduğudur. Ayrışan sonuç ise ilişkinin yönüdür: Bağımsızlık bulguları hem Türkiye'de hem uluslararası örneklemlerde pozitif ve negatif kutuplara bölünmekte, kamu sahipliği bulguları ülke ve dönem bağlamına göre farklılaşmaktadır. Bu farklılıkların; kullanılan performans göstergeleri, örneklem kapsamı, dönem farklılıkları ve ekonometrik yöntemlerden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Türkiye literatüründe kredi davranışını sahiplik yapısı, yönetim kurulu bağımsızlığı ve makroekonomik değişkenlerle aynı model içinde inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu boşluk, kurumsal yönetim mekanizmalarının kredi tahsis kararlarındaki rolünün Türkiye bankacılık sektörü açısından ampirik olarak yeterince açıklanamamasına yol açmaktadır. Bu nedenle bu çalışma, kamu sahipliği ile yönetim kurulu bağımsızlığını tek model içinde ve kredi tahsisi odağında birleştirmektedir.

3. HİPOTEZLER

Bölüm 2'deki sentez, dört sınanabilir beklentiye işaret etmektedir. Kamu sahipliği literatürü, devlet mülkiyetindeki bankaların kredi tahsisinin özel bankalardan farklılaşabileceğini göstermekte; Türkiye örnekleminde kamu bankalarının kredi genişlemesinde daha atak davrandığı yönündeki bulgu bu beklentiye güçlendirmektedir. Buna dayanarak ilk hipotez şöyle kurulmuştur:

H1: Kamu sermayeli banka olma durumu, bankaların Kredi/Aktif Oranı ile anlamlı biçimde ilişkilidir.

Kurul bağımsızlığına ilişkin bulguların hem Türkiye'de hem uluslararası örneklemlerde pozitif ve negatif kutuplara bölünmesi, ilişkinin varlığını ve yönünü güncel veriyle sınamayı anlamlı hale getirmektedir.

H2: Yönetim kurulundaki bağımsız üye sayısı, bankaların Kredi/Aktif Oranı ile anlamlı biçimde ilişkilidir.

Makroekonomik koşulları temsilen modele dahil edilen ekonomik büyüme ve enflasyon değişkenlerinin de kredi tahsis davranışıyla ilişkili olması beklenmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur:

H3: Ekonomik büyüme, bankaların Kredi/Aktif Oranı ile anlamlı biçimde ilişkilidir.

H4: Enflasyon, bankaların Kredi/Aktif Oranı ile anlamlı biçimde ilişkilidir.

Çalışmadaki spesifikasyonla tutarlı biçimde hipotezler iki taraflı kurulmuş; katsayı işaretlerine ilişkin beklentiler, literatürdeki bölünme nedeniyle önceden kısıtlanmamıştır. Bu hipotezler, çalışmanın ampirik modelinde panel veri analizi aracılığıyla test edilmektedir.

4. VERİ

Analiz, Türkiye'de faaliyet gösteren mevduat bankalarını kapsamaktadır. Doğrudan kredi verme fonksiyonları ve performans profilleri bakımından mevduat bankalarından ayrıran katılım, kalkınma ve yatırım bankaları örneklem dışında tutulmuş; aktif büyüklüğüne göre ilk on mevduat bankası çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma dönemi, veri sürekliliğinin ve karşılaştırılabilirliğin sağlanabildiği 2013–2023 yıllarını kapsamakta ve örneklem 110 banka-yıl gözlemden oluşan dengeli bir panel niteliği taşımaktadır. Finansal veriler BDDK ve Türkiye Bankalar Birliği (TBB) istatistikleri ile bankaların yıllık faaliyet raporlarından; yönetim kurulu yapısına ilişkin veriler ise kurumsal yönetim raporları, genel kurul belgeleri ile Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) duyurularından derlenmiştir.

Bağımlı değişken olan Kredi/Aktif Oranı, banka büyüklüğünden bağımsız olarak kredi tahsis davranışını yansıtan ölçekten arındırılmış bir gösterge olduğundan tercih edilmiştir. Temel açıklayıcı değişkenler, kamu mülkiyetini gösteren dummy değişken ile yönetim kurulundaki bağımsız üye sayısıdır; GSYH büyümesi ve enflasyon ise makroekonomik kontrol değişkenleri olarak modele dahil edilmiştir. Ön analizlerde kadın yönetim kurulu üyesi oranı da modele dahil edilmiştir. Ancak açıklayıcı güce anlamlı katkı sağlamadığından nihai model spesifikasyonunda yer almamıştır. Değişken tanımları ve tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1: Değişken Tanımları ve Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Tanım	Beklenen İşaret	Ort.	Std. Sap.	Min	Maks
Kredi/Aktif Oranı (%)	Toplam kredilerin toplam aktiflere oranı (×100)	—	61,97	5,62	47,77	73,95
KamuDummy	Banka doğrudan/dolaylı kamu kontrolündeys 1, aksi hâlde 0	+	0,30	0,46	0,00	1,00
Bağımsız Üye Sayısı	Yönetim kurulunda icrada görevli olmayan ve bankayla doğrudan çıkar ilişkisi bulunmayan üye sayısı	±	2,59	1,49	0,00	5,00
GSYH Büyüme (%)	Yıllık reel GSYH büyüme oranı	±	5,28	2,95	0,82	11,44
Enflasyon (%)	TÜFE'nin yıllık yüzde değişimi	±	23,34	21,02	7,40	64,77

Not: N=110 (10 banka × 11 yıl, 2013–2023, dengeli panel). Veri kaynakları: BDDK, TBB, banka faaliyet raporları, KAP. Beklenen işaretler literatürdeki baskın eğilimleri yansıtmaktadır; hipotezler iki taraflı olarak kurulmuştur.

Örneklem ortalaması itibarıyla bankalar aktiflerinin yaklaşık üçte ikisini krediye ayırmaktadır (%61,97); bununla birlikte %47,77 ile %73,95 arasında değişen değerler, kredi yoğunluğunun bankadan bankaya önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Banka-yıl gözlemlerinin %30'u kamu bankalarına aittir. Bağımsız üye sayısı 0 ile 5 arasında değişmektedir; bu durum, örneklemde kurumsal yönetim uygulamalarının bankalar arasında homojen olmadığına işaret etmektedir. Enflasyonun yüksek standart sapması (21,02) incelenen dönemdeki güçlü makroekonomik dalgalanmayı yansıtmaktadır. Tanımlayıcı istatistikler, değişkenler arasında analiz yapılmasına olanak sağlayacak düzeyde farklılaşma bulunduğunu göstermektedir.

5. YÖNTEM

Çalışmanın ampirik modeli, kredi tahsis davranışını sahiplik yapısı, kurul bağımsızlığı ve makroekonomik kontrollerle ilişkilendiren doğrusal bir panel veri denkleminde dayanmaktadır:

$$Kredi_Aktif_Oranı_it = \beta_0 + \beta_1 KamuDummy_it + \beta_2 Bagimsiz_Uye_Sayisi_it + \beta_3 Buyume_t + \beta_4 Enflasyon_t + u_i + \varepsilon_it \quad (1)$$

Burada i bankayı ($i = 1, \dots, 10$), t yılı (2013–2023) göstermekte; u_i bankaya özgü gözlenemeyen etkileri, ε_it ise hata terimini ifade etmektedir. Değişken tanımları Tablo 1'de verilmiştir.

Ampirik analiz üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada havuzlanmış EKK, sabit etkiler (FE) ve rastgele etkiler (RE) tahmincileri karşılaştırılmıştır. KamuDummy değişkeni banka bazında zaman boyunca sabit olduğundan sabit etkiler modelinde tahmin edilememektedir. Bu nedenle Hausman testi ortak katsayılar üzerinden değerlendirilmiştir; test sonuçları rastgele etkiler tahmincisinin kullanılmasına engel oluşturacak bir bulgu ortaya koymamış, zamanla değişmeyen sahiplik değişkeninin tahmin edilebilmesine olanak sağlaması nedeniyle rastgele etkiler modeli tercih edilmiştir. Test istatistikleri ve üç tahmincinin karşılaştırması Bölüm 6'da (Tablo 3) raporlanmaktadır.

İkinci aşamada modelin temel varsayımları sınanmıştır. Değişkenlerin dağılım özellikleri Jarque-Bera testiyle incelenmiş; durağanlık, banka boyutunda değişen seriler için LLC panel birim kök testiyle, yalnızca zaman boyutunda değişen makro değişkenler için ise ADF testiyle değerlendirilmiştir. Bağımlı değişken durağan bulunmuştur ($p=0,0108$). Enflasyon değişkeni düzey değerinde durağan bulunmamıştır (ADF $p=0,9821$). Bununla birlikte, kısa zaman boyutuna sahip panel veri çalışmalarında makroekonomik kontrol değişkenlerinin düzey değerleriyle kullanımı yaygın bir uygulamadır. Bu nedenle sonuçlar temkinli biçimde yorumlanmıştır. Çoklu doğrusal bağlantı, korelasyon matrisi ve VIF değerleriyle incelenmiş; sonuçlar Bölüm 6'da (Tablo 2) sunulmaktadır.

Üçüncü aşamada, panel yapısından kaynaklanabilecek olası heteroskedastisite ve otokorelasyona karşı tüm tahminler banka düzeyinde kümelenmiş sağlam standart hatalarla elde edilmiştir; ilgili tanı istatistikleri Tablo 4'ün notunda raporlanmaktadır.

6. BULGULAR

6.1. Tanımlayıcı Bulgular ve Korelasyon Yapısı

Korelasyon yapısı, çok değişkenli analize geçmeden önce iki dikkat çekici örüntü ortaya koymaktadır. Kredi/Aktif Oranı ile Enflasyon arasında güçlü, negatif yönlü bir birlikte hareket gözlenmektedir ($r=-0,714$). Buna karşılık sahiplik ve yönetim değişkenlerinin bağımlı değişkenle ikili korelasyonları zayıftır (KamuDummy için 0,134; Bağımsız Üye Sayısı için 0,090); bu durum, ikili korelasyonların tek başına yeterli olmadığını ve ilişkilerin panel veri modeli çerçevesinde değerlendirilmesinin önem taşıdığını göstermektedir. Açıklayıcı değişkenler arasındaki en yüksek mutlak korelasyon KamuDummy ile Bağımsız Üye Sayısı arasındadır ($-0,302$) ve en yüksek VIF değerinin 1,10 olması çoklu doğrusal bağlantının tahminler için sorun oluşturmadığını doğrulamaktadır (Tablo 2). Bu yapı, dört açıklayıcının biribirinden ayrıran bilgi taşıdığını ve araştırma sorusunun çok değişkenli bir çerçevede sınanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2: Korelasyon Matrisi

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) Kredi/Aktif Oranı	1,000				
(2) KamuDummy	0,134	1,000			
(3) Bağımsız Üye Sayısı	0,090	-0,302	1,000		
(4) GSYH Büyüme	-0,252	0,000	0,023	1,000	
(5) Enflasyon	-0,714	0,000	-0,053	0,172	1,000

Not: N=110. En yüksek VIF değeri 1,10 olup çoklu doğrusal bağlantı sorununa işaret etmemektedir.

6.2. Panel Tahmin Sonuçları

Üç tahminci arasındaki karşılaştırma, katsayıların işaret ve büyüklük bakımından spesifikasyonlar arasında istikrarlı kaldığını göstermektedir (Tablo 3). Havuzlanmış tahminde anlamsız görünen Bağımsız Üye Sayısı katsayısının panel tahminlerinde anlamlı hale gelmesi, banka-özgü gözlenemeyen heterojenliğin dikkate alınmasının önemine işaret etmektedir. Bölüm 5'te açıklanan Hausman değerlendirmesi doğrultusunda rastgele etkiler modeli esas alınmıştır. Katsayı işaretlerinin tahminciler arasında büyük ölçüde tutarlı olması, sonuçların spesifikasyona duyarlılığının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 3: Model Seçimi — Havuzlanmış EKK / Sabit Etkiler / Rastgele Etkiler

Değişken	Havuzlanmış EKK	FE	RE
Sabit	65,9564***	64,5927***	64,4398***
KamuDummy	2,0356**	—	2,5463***
Bağımsız Üye Sayısı	0,4058	1,1651***	0,9301***
GSYH Büyüme	-0,2604**	-0,2731**	-0,2691***
Enflasyon	-0,1832***	-0,1800***	-0,1810***

Not: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,10$. FE modelinde zaman içinde değişmeyen KamuDummy değişkeni tahmin edilemediğinden ilgili katsayı raporlanmamıştır. Standart hatalar: Havuzlanmış EKK için homoskedastik; FE ve RE için banka düzeyinde kümelenmiş sağlam standart hatalar. Hausman $\chi^2 = 0,3039$ ($sd = 3$; $p = 0,9593$).

Nihai tahminler dört hipotezin tamamı için anlamlı ilişkilere işaret etmektedir (Tablo 4). Kamu sermayeli bankalar, diğer koşullar sabitken, bilanço içinde krediye özel ve yabancı sermayeli bankalardan yaklaşık 2,5 puan daha yüksek bir pay ayırmaktadır. Bu bulgu, kamu bankalarının sosyal ve ekonomik hedefler doğrultusunda kredi kanalını daha yoğun kullanabildiğine ilişkin literatürle uyumludur. Bulgu, kamu bankalarının kredi kullandırımında daha etkin bir rol üstlendiğini gösteren uluslararası literatürle (La Porta vd., 2002; Dinç, 2005) ve Türkiye’de kamu bankalarının kredi genişlemesinde daha atak davrandığını ortaya koyan Çolak ve Şenol (2021) ile aynı yöndedir.

Yönetim kurulundaki her ilave bağımsız üye, Kredi/Aktif Oranı’nda yaklaşık 0,93 puanlık bir artışla ilişkilidir. Bu ilişki, bağımsız üyelerin gözetim kapasitesinin kredi politikalarına yansıdığı yorumunu desteklemekte ve Topaloğlu ve Ege (2018) ile Liang vd. (2013) ve Chou ve Buchdadi (2017) bulgularıyla paralellik taşımaktadır. Romano vd. (2012) ile Ersoy ve Aydın (2018) ve Yağlı (2019) ise ters yönde sonuçlara ulaşmıştır; bu karışık görünüm, bağımsız üye etkisinin ülkeye, döneme ve bağımlı değişken tanımına duyarlı olabileceğine işaret ettiğinden ilişkinin yönü temkinli yorumlanmalıdır. Bulgu, yönetim boyutunun kredi tahsisinin anlamlı bir belirleyicisi olduğunu göstermektedir.

Makroekonomik kontroller, GSYH büyümesi ve enflasyonun Kredi/Aktif Oranı ile negatif yönde ilişkili olduğunu göstermektedir. Enflasyon katsayısı, düzeyde durağan olmama nedeniyle Bölüm 5’te belirtilen ihtiyatla değerlendirilmelidir. Bu bulguların olası açıklamaları Tartışma bölümünde literatür çerçevesinde ele alınmaktadır.

Tablo 4: Rastgele Etkiler Modeli Nihai Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Küme-Sağlam SH	t	p
Sabit	64,4398	0,9682	66,558	0,0000
KamuDummy	2,5463	0,9598	2,653	0,0092
Bağımsız Üye Sayısı	0,9301	0,2485	3,743	0,0003
GSYH Büyüme	-0,2691	0,0970	-2,774	0,0066
Enflasyon	-0,1810	0,0195	-9,302	0,0000

Not: N=110. Bağımlı değişken: Kredi/Aktif Oranı. Overall $R^2 = 0,5386$; Wald $\chi^2 = 240,02$ ($p = 0,0000$); Breusch-Pagan $p = 0,6016$; Durbin-Watson = 1,1502. Banka düzeyinde kümelenmiş sağlam standart hatalar kullanılmıştır.

Bütün olarak model, bağımlı değişkendeki değişimin yaklaşık %54’ünü açıklamaktadır (Overall $R^2 = 0,5386$); elde edilen bulgular, sahiplik yapısı ve yönetim kurulu bağımsızlığının kredi tahsis davranışıyla istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

7. TARTIŞMA

Kamu sahipliğine ilişkin bulgu, devlet mülkiyetindeki bankaların kredi davranışının özel bankalardan farklılaşabileceğini gösteren uluslararası yazında (La Porta vd., 2002; Dinç, 2005) ve Türkiye’ye ilişkin güncel kanıtlara (Çolak ve Şenol, 2021) Türk mevduat bankacılığından yeni bir gözlem eklemektedir. Çalışmanın bu açıdan katkısı, söz konusu farklılaşmanın pandemi ve yüksek enflasyon şoklarını içeren 2013–2023 döneminde ve bilanço içi kredi payı üzerinden de gözlenebildiğini göstermesidir. Bu bulgu, kamu bankalarının kredi kanalındaki rolünün makroekonomik istikrar ve finansal sağlamlık hedefleri birlikte değerlendirilerek izlenmesinin önemini düşündürmektedir.

Kurul bağımsızlığına ilişkin bulgu, bölünmüş literatürde pozitif sonuç bildiren çalışmaların (Topaloğlu ve Ege, 2018; Liang vd., 2013; Chou ve Buchdadi, 2017) yanında yer almakta; negatif sonuç bildiren çalışmalarla (Romano vd., 2012; Ersoy ve Aydın, 2018; Yağlı, 2019) ise ayrılmaktadır. Bu ayrışmanın bir bölümü, bulguların ülkeye, döneme ve bağımlı değişken tanımına duyarlı olmasıyla açıklanabilir: Türkiye literatüründeki negatif bulgular ağırlıklı olarak kârlılık göstergelerine dayanırken, bu çalışma kredi tahsis davranışını Kredi/Aktif Oranı üzerinden değerlendirmektedir. Çalışmanın katkısı, bağımsızlık tartışmasını kârlılık ekseninden kredi tahsisi eksenine taşıyarak Türkiye için bu boyutta kanıt üretmesidir. Politika açısından bu ilişki, kurul bağımsızlığını artırmayı hedefleyen düzenlemeler tasarlanırken bunların kredi politikalarına olası yansımalarının da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir; bununla birlikte ilişki nedensel biçimde yorumlanamayacağından, düzenleyici adımların tek bir bulguya değil tamamlayıcı analizlere dayandırılması yerinde olacaktır.

Makroekonomik değişkenlere ilişkin bulgular, kredi arzının konjonktürle ilişkisini vurgulayan literatürle (Sapienza, 2004; Cull vd., 2013; Ferri vd., 2014) birlikte okunduğunda, kredi tahsisinin yalnızca banka içi özelliklerle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bu durum, genişleme ve yüksek enflasyon dönemlerinde kredi kompozisyonunda farklılaşmaların ortaya çıkabileceğine işaret etmektedir. Böylece çalışma, sahiplik ve yönetim tartışmasının makro koşullardan soyutlanamayacağını gösteren bütünsel bir çerçeve sunmaktadır. Bu bulguların temel politika çıkarımı, banka düzeyindeki kurumsal yönetim politikalarının konjonktürel koşullardan bağımsız tasarlanmaması gerektiğidir.

Bulgular yorumlanırken çalışmanın sınırlılıkları göz önünde tutulmalıdır. Örneklem, aktif büyüklüğüne göre ilk on mevduat bankasıyla ve yıllık frekanslı verilerle sınırlıdır; bu nedenle bulgular farklı banka grupları veya farklı ülke örneklemeleri için doğrudan genellenmemelidir. Kesitler arası ilişkiler nedensellik iddiası taşımamakta, kurul yapısı tek bir boyutla (bağımsız üye sayısı) temsil edilmektedir. Kısa zaman boyutu (T=11) ve enflasyonun düzeyde durağan olmaması, makro katsayıların temkinli yorumlanmasını gerektirmektedir. Bu sınırlılıklar bulguların geçerliliğini ortadan kaldırmamakla birlikte, ileride daha geniş örneklemelerle yapılacak doğrulamaların değerine işaret etmektedir.

8. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, sahiplik yapısı ve yönetim kurulu bağımsızlığının Türk mevduat bankalarının kredi tahsis davranışıyla ilişkisini, 2013–2023 dönemini kapsayan dengeli bir panel veri setiyle incelemiştir. Bulgular, kamu sahipliği ile Kredi/Aktif Oranı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bu sonuç H1'i desteklemektedir. Benzer şekilde, yönetim kurulundaki bağımsız üye sayısına ilişkin pozitif bulgu H2'yi desteklemektedir. Makroekonomik değişkenlere ilişkin sonuçlar ise H3 ve H4 ile uyumludur: GSYH büyümesi ve enflasyon, Kredi/Aktif Oranı ile negatif yönde ilişkilidir ve kredi tahsisinin makro konjonktüre duyarlılığını ortaya koymaktadır.

Çalışma literatüre üç katkı sağlamaktadır. Birincisi, pandemi ve yüksek enflasyon şoklarını kapsayan güncel bir dönem için Türk bankacılık sektöründen ampirik kanıt üretmektedir. İkincisi, sahiplik yapısı ile kurul bağımsızlığının makroekonomik kontroller altında tek bir model içinde birleştirerek Türkiye literatüründe tanımlanan araştırma boşluğunu ele almaktadır. Üçüncüsü, kurumsal yönetim tartışmasını kârlılık göstergelerinden Kredi/Aktif Oranı temelinde kredi tahsis davranışına taşıyarak bağımsız üyelerin rolüne bilanço kompozisyonu üzerinden bakan bir perspektif sunmaktadır.

Politika açısından bulgular, kamu bankalarının kredi kanalındaki rolünün makroekonomik istikrar ve finansal sağlamlık hedefleri birlikte değerlendirilerek izlenmesinin önemini düşündürmektedir. Ayrıca kurumsal yönetim düzenlemeleri tasarlanırken bunların yalnızca finansal performans üzerindeki değil, kredi tahsis davranışı üzerindeki olası etkilerinin de dikkate alınması yararlı olabilecektir.

Sonuç olarak bu çalışma, kredi tahsis davranışının yalnızca makroekonomik koşulların değil, bankaların sahiplik ve yönetim özelliklerinin de izni taşıdığını göstermiş ve sahiplik yapısı, kurul bağımsızlığı ile makro değişkenleri aynı model içinde birleştiren yaklaşımıyla Türk bankacılık literatürüne yeni bulgular kazandırmıştır. Gelecek araştırmalar, kadın yönetim kurulu üyesi temsiline kredi davranışıyla ilişkisini daha geniş örneklemelerle yeniden sınavabilir; sahiplik yapısı ile kurumsal yönetim özelliklerinin bankaların finansal sağlamlığı üzerindeki etkileri ise ayrı bir çalışmanın konusu olarak ele alınabilir. Daha yüksek frekanslı verilerle yapılacak analizler, kredi davranışının konjonktür içindeki dinamiklerini daha ayrıntılı biçimde ortaya koyabilecektir. Bu çerçevede çalışma, sahiplik yapısı ile kurumsal yönetim özelliklerinin kredi tahsis davranışının anlaşılmasında birlikte değerlendirilmesi gerektiğine yönelik ampirik kanıt sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- BREI, M. ve SCHCLAREK, A. (2013). "Public Bank Lending in Times of Crisis", *Journal of Financial Stability*, 9(4): 820-830.
- CHOU, T.-K. ve BUCHDADI, A. D. (2017). "Independent Board, Audit Committee, Risk Committee, the Meeting Attendance Level and Its Impact on the Performance: A Study of Listed Banks in Indonesia", *International Journal of Business Administration*, 8(3): 24-36.
- CULL, R. ve MARTÍNEZ PERIA, M. S. (2013). "Bank Ownership and Lending Patterns during the 2008-2009 Financial Crisis: Evidence from Latin America and Eastern Europe", *Journal of Banking & Finance*, 37(12): 4861-4878.
- ÇOLAK, M. S. ve ŞENOL, A. (2021). "Bank Ownership and Lending Dynamics: Evidence from Turkish Banking Sector", *International Review of Economics & Finance*, 72: 583-605.
- DİNÇ, S. (2005). "Politicians and Banks: Political Influences on Government-Owned Banks in Emerging Countries", *Journal of Financial Economics*, 77(2): 453-479.
- ERSOY, E. ve AYDIN, Y. (2018). "Yönetim Kurulu Yapısı ve Banka Karlılığı Arasındaki İlişki: Dinamik Panel Veri Analizi", *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2): 248-264.
- FERRI, G., KALMI, P. ve KEROLA, E. (2014). "Does Bank Ownership Affect Lending Behavior? Evidence from the Euro Area", *Journal of Banking & Finance*, 48: 194-209.
- İŞİK, İ. ve HASSAN, M. K. (2002). "Technical, Scale and Allocative Efficiencies of the Turkish Banking Industry", *Journal of Banking & Finance*, 26(4): 719-766.
- JENSEN, M. C. ve MECKLING, W. H. (1976). "Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure", *Journal of Financial Economics*, 3(4): 305-360.
- LA PORTA, R., LOPEZ-DE-SILANES, F. ve SHLEIFER, A. (2002). "Government Ownership of Banks", *Journal of Finance*, 57(1): 265-301.
- LIANG, Q., XU, P. ve JIRAPORN, P. (2013). "Board Characteristics and Chinese Bank Performance", *Journal of Banking & Finance*, 37(8): 2953-2968.
- MICCO, A., PANIZZA, U. ve LEVY YEYATI, E. (2004). Should the Government Be in the Banking Business? The Role of State-Owned and Development Banks, *Inter-American Development Bank Working Paper No. 517*, Washington, D.C.
- ROMANO, G., FERRETTI, P. ve RIGOLINI, A. (2012). "Corporate Governance and Performance in Italian Banking Groups", *International Conference on Corporate Governance & Regulation*, Pisa, 19 Eylül.
- SAPIENZA, P. (2004). "The Effects of Government Ownership on Bank Lending", *Journal of Financial Economics*, 72(2): 357-384.
- SHLEIFER, A. ve VISHNY, R. W. (1997). "A Survey of Corporate Governance", *Journal of Finance*, 52(2): 737-783.
- TOPALOĞLU, E. E. ve EGE, İ. (2018). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Bankaların Yönetim Kurulu Yapısının Finansal Performansa Etkisi: Panel Veri Analizi", *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 19(41): 9-33.
- YAĞLI, İ. (2019). "Yönetim Kurulu Çeşitliliği - Finansal Performans İlişkisi: Türk Bankacılık Sektörü Örneği", *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 37(3): 565-585.

Akıllı Üretim Ortamlarında Dijital İkiz Destekli Smed Yaklaşımı

Araştırmacı Arzu Ece Arslan^{*1}, Dr. Öğr. Üyesi Ülge Taş²

¹ Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi ABD, aecearslan0@gmail.com

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ulge.tas@aksaray.edu.tr

* Corresponding Author: Arzu Ece Arslan
aecearslan0@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir dökümhane işletmesinde kalıp değişim süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla dijital ikiz teknolojisi ile Tek Dakikada Kalıp Değişimi (SMED) metodolojisinin birlikte kullanımı ele alınmıştır. Günümüz üretim ortamında artan rekabet koşulları, işletmeleri üretim süreçlerinde verimliliği artırmaya ve kayıpları en aza indirmeye yönelik yöntemler geliştirmeye yönlendirmektedir. Özellikle kalıp değişim sürelerinin uzun olması, üretim hatlarında duruşlara neden olarak işletmelerin kapasite kullanım oranını ve üretkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle kalıp değişim süreçlerinin iyileştirilmesi, üretim performansının artırılmasında önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Araştırma kapsamında mevcut durum analizi gerçekleştirilmiş; süreçler zaman etütleri, saha gözlemleri ve video analizleri aracılığıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda üretim hattının dijital ikiz modeli oluşturulmuş ve süreçler sanal ortamda analiz edilmiştir. Daha sonra SMED metodolojisi uygulanarak faaliyetler iç ve dış kurulum işlemleri şeklinde sınıflandırılmış, değer yaratmayan faaliyetler belirlenmiş ve iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Dijital ikiz modeli sayesinde önerilen iyileştirmeler fiziksel sisteme uygulanmadan önce sanal ortamda test edilmiş ve süreç üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Uygulama sonucunda kalıp değişim süresinde azalma sağlandığı, operatör hareketlerinin daha düzenli hale geldiği ve üretim hattındaki verimsizliklerin azaltıldığı belirlenmiştir. Ayrıca ekipman kullanım etkinliğinin arttığı ve üretim süreçlerinin daha sürdürülebilir bir yapıya kavuştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, dijital ikiz teknolojisi ile SMED metodolojisinin birlikte kullanılmasının üretim sistemlerinde verimliliğin artırılması ve süreç performansının iyileştirilmesi açısından etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital ikiz, SMED, yalın üretim, dökümhane, verimlilik

Digital Twin-Supported Smed Approach In Smart Manufacturing Environments

ABSTRACT

This study examines the integrated use of Digital Twin technology and the Single-Minute Exchange of Die (SMED) methodology to improve mold changeover processes in a foundry company operating in the automotive industry. In today's highly competitive manufacturing environment, companies are required to develop approaches that enhance productivity and minimize operational losses. Long changeover times are one of the major causes of production downtime, negatively affecting capacity utilization and overall manufacturing performance. Therefore, reducing changeover times is considered a critical factor in improving production efficiency and operational effectiveness.

Within the scope of the study, a current-state analysis was conducted through time studies, on-site observations, and video analyses. Based on the collected data, a digital twin model of the production line was developed, enabling the processes to be analyzed in a virtual environment. Subsequently, the SMED methodology was applied, and the activities were classified as internal and external setup operations. Non-value-added activities were identified, and improvement opportunities were developed accordingly. Through the digital twin model, the proposed improvements were tested and evaluated in a virtual environment before being implemented in the physical system.

The results of the study indicate that changeover times were reduced, operator movements became more organized, and inefficiencies within the production line were minimized. In addition, equipment utilization was improved, and production processes became more sustainable. The findings demonstrate that the integration of Digital Twin technology and the SMED methodology is an effective approach for enhancing productivity and improving process performance in manufacturing systems.

Keywords: Digital twin, SMED, lean production, foundry, efficiency

1. GİRİŞ

Sektörlerde artan rekabet işletmelerin üretim sistemlerinde verimlilik odaklı geliştirmelere yönelmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde müşteri taleplerinin çeşitlenmesi, ürün yaşam döngülerinin kısılması ve üretim süreçlerinin karmaşık hale gelmesi, işletmelerin daha esnek ve çevik üretim sistemlerine ihtiyaç duymasına neden olmaktadır (Karnouskos, 2022).

Endüstri 4.0 yaklaşımı ile birlikte üretim sistemlerinde dijitalleşme hız kazanmış ve fiziksel sistemlerin sanal ortamda temsil edilmesine olanak sağlayan teknolojiler yaygınlaşmıştır. Bu teknolojiler arasında yer alan dijital ikiz yaklaşımı, fiziksel bir varlığın veya sürecin dijital ortamda oluşturulan dinamik modeli olarak tanımlanmaktadır (Grieves ve Vickers, 2017). Dijital ikiz teknolojisi sayesinde üretim süreçleri gerçek sistem üzerinde herhangi bir müdahaleye gerek duyulmadan analiz edilebilmekte ve farklı senaryoların sonuçları önceden değerlendirilebilmektedir (Tao vd., 2019).

Üretim performansını etkileyen temel unsurlardan biri de hazırlık ve ayar süreleri olarak ifade edilen setup faaliyetleridir. Uzun setup süreleri, makine kullanılabilirliğini azaltmakta, üretim maliyetlerini artırmakta ve işletmelerin müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilme yeteneğini olumsuz etkilemektedir (Shingo, 1985). Bu nedenle setup sürelerinin azaltılması, yalın üretim uygulamalarının temel hedeflerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED) yöntemi, setup sürelerini azaltmak amacıyla geliştirilen sistematik bir yaklaşım olup iç ve dış operasyonların ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Literatürde SMED uygulamalarının üretim sistemlerinde önemli zaman tasarrufları sağladığı ve ekipman verimliliğini artırdığı belirtilmektedir (Singh vd., 2021).

Bu çalışmada otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede bulunan taşıma makinesindeki kalıp değiştirme süreci incelenmiştir. Araştırma kapsamında mevcut setup faaliyetleri analiz edilmiş, SMED metodolojisi kullanılarak iyileştirme önerileri geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar dijital ikiz modeli yardımıyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, setup sürelerinin azaltılması yoluyla üretim performansının artırılması ve dijital ikiz teknolojinin süreç iyileştirme çalışmalarındaki katkısının ortaya konulmasıdır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMA

2.1. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde üretim sistemlerinde verimliliğin artırılması amacıyla yalın üretim uygulamaları ile dijital dönüşüm teknolojilerinin birlikte kullanıldığı çalışmaların sayısı artmaktadır. Özellikle setup sürelerinin azaltılmasına yönelik SMED uygulamaları ile üretim sistemlerinin sanal ortamda modellenmesine olanak sağlayan dijital ikiz teknolojisi, işletmelerin rekabet gücünü artıran önemli araçlar arasında yer almaktadır.

SMED yöntemi, üretim süreçlerinde hazırlık ve ayar sürelerinin azaltılmasını amaçlayan bir yalın üretim tekniğidir. Yöntem ilk olarak Shingo tarafından geliştirilmiş olup iç ve dış operasyonların ayrıştırılması esasına dayanmaktadır (Shingo, 1985). Yapılan çalışmalar, SMED uygulamalarının ekipman kullanılabilirliğini artırdığını ve üretim esnekliğine önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Singh vd., 2021).

Dijital ikiz teknolojisi ise fiziksel sistemlerin sanal ortamda temsil edilmesine olanak sağlayan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji sayesinde üretim süreçleri gerçek sisteme müdahale edilmeden analiz edilebilmekte ve farklı iyileştirme senaryoları değerlendirilebilmektedir (Grieves ve Vickers, 2017). Dijital ikizlerin üretim performansını artırmada önemli bir karar destek aracı olduğu belirtilmektedir (Karnouskos, 2022).

Akıllı üretim sistemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda dijital ikiz teknolojinin süreç optimizasyonu, bakım planlaması ve kaynak kullanımının iyileştirilmesi konularında önemli avantajlar sağladığı ifade edilmektedir (Tao vd., 2019). Benzer şekilde üretim süreçlerinin sanal ortamda modellenmesinin karar alma süreçlerini hızlandırdığı ve maliyetleri azalttığı vurgulanmaktadır (Negri vd., 2017).

Bravo ve Sierra (2022), gerçekleştirdikleri çalışmada dijital ikiz yaklaşımının üretim süreçlerindeki değişkenlerin kontrol edilmesinde etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca dijital ikiz teknolojinin üretim sistemlerinde sürdürülebilirlik ve verimlilik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağladığı belirtilmiştir.

Literatürde SMED ve dijital ikiz uygulamalarının ayrı ayrı yaygın olarak incelendiği görülmektedir. Bununla birlikte, iki yaklaşımın bütünleşik olarak ele alındığı uygulamalı çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle mevcut çalışma, SMED metodolojisi ile dijital ikiz teknolojisini birlikte kullanarak setup sürelerinin azaltılmasına yönelik bütünleşik bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır.

2.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir dökümhane işletmesinde üretim verimliliğinin artırılması, duruş sürelerinin azaltılması ve süreç performansının iyileştirilmesi kapsamında, Dijital İkiz teknolojisi ile SMED metodolojisinin entegre kullanımının etkilerini analiz etmektir. Bu doğrultuda araştırma, mevcut üretim süreçlerinin dijital ortamda modellenmesi ve kalıp değişim sürelerinin sistematik bir yaklaşımla azaltılması yoluyla işletme performansının ölçülebilir biçimde geliştirilmesini hedeflemektedir.

2.3. Araştırmanın Önemi

Bu araştırma, dökümhane üretim süreçlerinde sıklıkla karşılaşılan uzun kalıp değişim süreleri, yüksek duruş oranları ve süreç belirsizliklerinin işletme performansı üzerindeki olumsuz etkilerinden hareketle önemli bir ihtiyaca yanıt vermektedir. Söz konusu problemlerin çözümüne yönelik olarak Dijital İkiz teknolojisi ile SMED yönteminin birlikte ele alınması hem akademik literatürde hem de sektör uygulamalarında sınırlı düzeyde incelenmiş olması açısından yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1 İşletmenin Tanıtımı

Araştırma, otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren ve farklı müşteri taleplerine yönelik üretim gerçekleştiren bir işletmede yürütülmüştür. İşletmede üretim faaliyetleri çok sayıda ürün çeşidini kapsadığından, sık ürün değişimleri ve buna bağlı kalıp değişim işlemleri gerçekleştirilmektedir. Üretim sisteminde yapılan gözlemler sonucunda, taşıma makinesinde gerçekleştirilen kalıp değiştirme faaliyetlerinin üretim akışını olumsuz etkilediği ve önemli zaman kayıplarına neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında mevcut süreç detaylı biçimde incelenmiş, setup süresini oluşturan faaliyetler analiz edilmiş ve iyileştirme potansiyeli bulunan operasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra SMED metodolojisi kullanılarak süreç yeniden tasarlanmış ve geliştirilen senaryolar dijital ikiz modeli yardımıyla değerlendirilmiştir.

3.2 Veri Toplama Süreci

Araştırmada kullanılan veriler doğrudan saha çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. Kalıp değiştirme işlemleri sırasında gerçekleştirilen faaliyetler gözlemlenmiş, işlem süreleri kronometraj yöntemiyle

ölçülmüş ve operatörlerle görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretim kayıtları ve işletme dokümanları incelenerek süreç hakkında ek bilgiler elde edilmiştir.

Mevcut durumda gerçekleştirilen analiz sonucunda toplam setup süresinin 120 dakika olduğu belirlenmiştir. Bu sürenin önemli bir kısmının makinenin durdurulmasından sonra gerçekleştirilen faaliyetlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

3.3 Mevcut Durum Analizi

Yapılan incelemelerde kalıp değiştirme sürecinin aşağıdaki faaliyetlerden oluştuğu belirlenmiştir.

Faaliyet	Süre (dk)
Makinenin durdurulması	4
Vinç bekleme	7
Eski kalıbın sökülmesi	25
Kalıbın taşınması	20
Yeni kalıbın hazırlanması	15
Temizlik işlemleri	23
Yeni kalıbın bağlanması	33
Deneme üretimi	12
Toplam	120

Tablo 1. İyileştirme Öncesi Durum

Analiz sonuçları, süreç içerisinde katma değer oluşturmayan bekleme ve taşıma faaliyetlerinin önemli zaman kayıplarına neden olduğunu göstermiştir. Özellikle vinç bekleme, kalıp taşıma ve hazırlık işlemlerinin üretim hattının durduğu süre içerisinde gerçekleştirilmesi, toplam setup süresinin uzamasına neden olmaktadır.

3.4 SMED Uygulaması

SMED metodolojisinin ilk aşamasında faaliyetler iç operasyon ve dış operasyon olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra makinenin çalışması sırasında gerçekleştirilebilecek işlemler belirlenmiş ve bu faaliyetlerin dış operasyonlara dönüştürülmesi sağlanmıştır.

İyileştirme çalışmaları kapsamında yeni kalıbın ön hazırlık işlemleri setup başlamadan önce gerçekleştirilmiş, gerekli ekipmanlar çalışma alanına önceden getirilmiş ve operatör hareketleri standart hale getirilmiştir. Ayrıca vinç kullanımına ilişkin planlama yapılarak bekleme sürelerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu iyileştirmelerle birlikte kalıp değişim sürelerinde önemli azalmalar sağlanmakta, makine kullanım oranları artmakta ve genel üretim verimliliğinde kayda değer iyileşmeler elde edilmektedir (Özkan ve Demir, 2019).

Gerçekleştirilen düzenlemeler sonucunda toplam setup süresi 120 dakikadan 65 dakikaya düşürülmüştür. Böylece üretim hattının duruş süresinde önemli bir iyileşme elde edilmiştir.

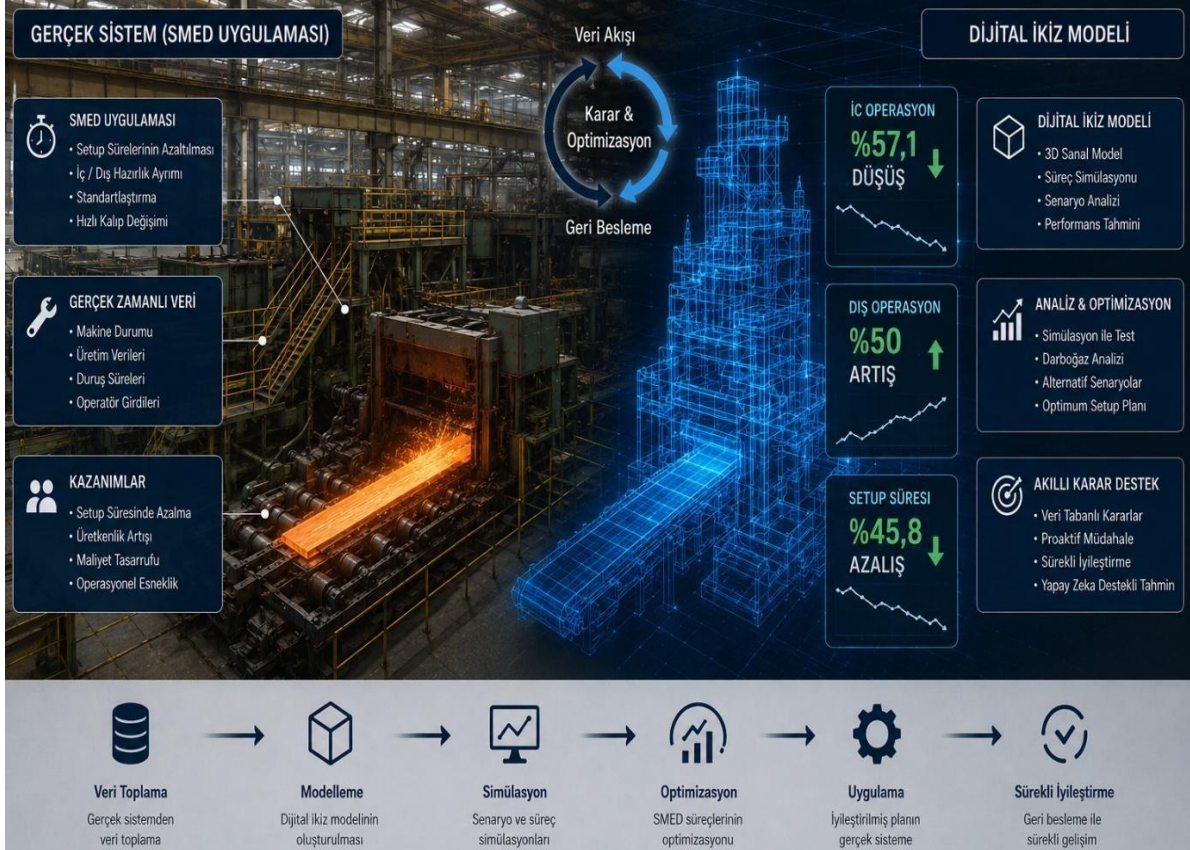
3.5 Dijital İkiz Modeli

SMED uygulaması sonrasında elde edilen iyileştirmelerin doğrulanması amacıyla süreç için dijital ikiz modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde mevcut ve iyileştirilmiş durum senaryoları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Dijital ikiz dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirmekte ve üretim yönetimine etkilerini ortaya koymaktadır (Karabağ ve Atılğan, 2019).

Dijital ikiz modeli sayesinde farklı üretim koşulları altında sistem performansı analiz edilmiş ve önerilen iyileştirmelerin üretim hattına etkileri sanal ortamda incelenmiştir. Böylece uygulamaya geçmeden önce süreç davranışı değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların güvenilirliği artırılmıştır.

3.6. Dijital İkiz ve SMED Entegrasyonu

SMED ve dijital ikiz entegrasyonu, kurulum süreçlerinin gerçek zamanlı verilerle sanal ortamda modellenerek analiz edilmesini sağlayan bir iyileştirme yaklaşımıdır. Bu sayede kurulum faaliyetleri optimize edilmekte, kalıp değiştirme süreleri azaltılmakta ve üretim sisteminin operasyonel verimliliği artırılmaktadır.



Şekil 1. SMED ve Dijital İkiz Entegrasyonu

Şekil 1’de dijital ikiz teknolojisinin temel çalışma prensibi gösterilmektedir. Bu yapı sayesinde fiziksel ortamda oluşan veriler sürekli olarak dijital modele aktarılmakta ve sistemin dinamik davranışları anlık olarak izlenip analiz edilebilmektedir. Bu doğrultuda dijital ikiz uygulamaları; üretim süreçlerinde verimliliğin artırılması, maliyetlerin azaltılması ve kalite performansının iyileştirilmesi gibi temel hedeflere ulaşmada kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir (Zhang, 2019).

Araştırmada öncelikle işletmedeki mevcut kalıp değiştirme süreci yerinde gözlem ve zaman etütleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda SMED yöntemi uygulanarak faaliyetler iç ve dış kurulum işlemleri olarak sınıflandırılmış, değer katmayan adımlar belirlenmiş ve iyileştirme fırsatları ortaya çıkarılmıştır. Sonraki aşamada kurulum sürecine ait operasyonel veriler kullanılarak dijital ikiz modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model aracılığıyla süreç performansı sanal ortamda izlenmiş, farklı senaryolar değerlendirilmiş ve iyileştirme önerilerinin olası etkileri analiz edilmiştir. Son olarak SMED uygulamaları ile dijital ikiz yaklaşımının birlikte kullanımının kurulum süresi, üretim verimliliği, maliyet, enerji tüketimi ve yatırım geri dönüş süresi üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Setup Süresindeki Değişim

SMED uygulaması sonucunda elde edilen performans değerleri tablo 2’de sunulmuştur.

Gösterge	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum
Toplam Setup Süresi	120 dk	65 dk
İç Operasyon	65 dk	27 dk
Dış Operasyon	55 dk	38 dk

Tablo 2. İyileştirme Öncesi-Sonrası Karşılaştırma

Elde edilen sonuçlara göre toplam setup süresi 55 dakika azaltılmıştır. Bu durum yaklaşık %45,8 oranında iyileşmeye karşılık gelmektedir.

Sonuçlar, setup faaliyetlerinin yeniden düzenlenmesinin üretim sistemi üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

4.2 Üretim Performansına Etkileri

Setup sürelerinin azaltılması, makinenin üretim için kullanılabilir olduğu süreyi artırmıştır. Duruş sürelerinin azalması sayesinde üretim kapasitesinde artış sağlanmış ve üretim planlarının daha etkin şekilde uygulanabilmesi mümkün hale gelmiştir.

Ayrıca operatör hareketlerinin standartlaştırılması iş akışındaki belirsizlikleri azaltmış ve süreçlerin daha kontrollü yürütülmesine katkı sağlamıştır. Bu durum kalite performansı ve üretim sürekliliği açısından da olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

4.3 Maliyet ve Verimlilik Değerlendirmesi

Setup sürelerinde elde edilen azalma yalnızca zaman tasarrufu sağlamamış, aynı zamanda işletme maliyetlerinin düşürülmesine de katkıda bulunmuştur. Makine duruş sürelerinin azalmasıyla ekipman kullanım oranı yükselmiş ve kaynakların daha etkin kullanılması mümkün hale gelmiştir.

Dijital ikiz teknolojisinin kullanılması ise iyileştirme çalışmalarının fiziksel sisteme uygulanmadan önce değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Böylece olası riskler azaltılmış ve karar alma süreci daha güvenilir hale getirilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçların benzer uygulamalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle setup sürelerinin azaltılmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarla karşılaştırıldığında bu araştırmada elde edilen iyileşme oranının başarılı sonuçlar arasında yer aldığı söylenebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada otomotiv yan sanayi işletmesinde kullanılan taşıma makinesindeki kalıp değiştirme süreci incelenmiş ve setup sürelerinin azaltılmasına yönelik bir iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada SMED metodolojisi ile dijital ikiz yaklaşımı birlikte kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda mevcut durumda 120 dakika olan setup süresinin 65 dakikaya düşürüldüğü belirlenmiştir. Böylece toplam setup süresinde %45,8 oranında iyileşme sağlanmıştır. Elde

edilen sonuçlar, yalın üretim tekniklerinin doğru uygulanması durumunda önemli performans kazanımları sağlayabileceğini göstermektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan dijital ikiz modeli, önerilen iyileştirmelerin sanal ortamda değerlendirilmesine olanak sağlamış ve uygulama öncesinde süreç davranışının analiz edilmesine katkı sunmuştur. Bu durum dijital ikiz teknolojisinin yalnızca izleme amacıyla değil, aynı zamanda karar destek aracı olarak da kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçları doğrultusunda işletmelerin setup sürelerini azaltmaya yönelik çalışmalarda SMED metodolojisinden yararlanmaları ve bu çalışmaları dijital teknolojilerle desteklemeleri önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda gerçek zamanlı veri toplama sistemleri, nesnelerin interneti uygulamaları ve yapay zekâ destekli

optimizasyon yaklaşımlarının dijital ikiz modelleriyle bütünleştirilmesi önerilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Aksaray'da DİJİTAL İKİZ DESTEKLİ SMED YAKLAŞIMI İLE VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI yüksek lisans tezinden üretilmiştir. [Yüksek lisans öğrencisi: Arzu Ece ARSLAN, Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ülge TAŞ]

KAYNAK

- Bravo, B., & Sierra, D. C. (2022). A smart digital twin to stabilize return sand temperature without using coolers. *Metals*, 12(5), 730.
- Grieves, M. (2014). *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. Florida Institute of Technology.
- Karabağ, C., & Atılğan, T. (2019). Dijital dönüşüm kapsamında dijital ikiz teknolojisi: Kavramsal bir inceleme. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 16(3), 45–52.
- Karnouskos, S. (2022). Digital twins as enablers for lean manufacturing. *Procedia CIRP*, 107, 239–244.
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948.
- Özkan, M., & Demir, A. (2019). SMED uygulamaları ile üretim süreçlerinde verimlilik artışı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 30(2), 85–96.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in industry. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415.
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2019). Big data analytics architecture. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626–641.

ORCID: 0009-0002-7672-3435 / 0000-0002-4576-0295

Evli Bireylerde Eş Uyumu Ölçeği Geliştirme Ön Psikometrik Özellikleri Çalışması: Açımlayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Araştırmacı Nermin Rodoslu^{*1}, Doç. Dr. Hadiye Küçükkaragöz²⁵¹İstanbul Aydın Üniversitesi Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi, nerminrodoslu@stu.aydin.edu.tr²İstanbul Aydın Üniversitesi PDR Anabilim Dalı EBTAM Müdürü, hadiyekucukkaragoz@aydin.edu.tr

- Corresponding Author: Nermin RODOSLU
- nrodoslu@gmail.com

ÖZET

Amaç: Evlilik; duygusal, sosyal ve psikolojik yönlerden bireylerin gereksinimlerini karşılamayı amaçlayan uzun süreli ve dinamik bir ilişki sistemi olarak nitelendirilmektedir. Evlilik sürecinde karşılaşılan yaşam olayları, rol değişimleri ve geleceğe dair öngörülemez durumlar, çiftlerin çeşitli belirsizliklerle karşı karşıya kalmasına neden olabilmektedir. Belirsizliğe tahammülsüzlük ise bireyin belirsiz durumları tehdit edici, rahatsız edici veya baş edilmesi güç olarak algılama eğilimini ifade eden önemli bir psikolojik yapı olarak adlandırılmaktadır. Bu psikolojik yapı, bireylerin hem kişisel uyum süreçlerini hem de evlilik ilişkilerinin niteliğini etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusuna odaklanan araştırmaları inceleyerek alanyazındaki mevcut durumu ortaya koymak ve konuya ilişkin araştırma eğilimlerini belirlemektir.

Yöntem: Araştırma, geleneksel alan yazın taramasına dayalı bir derleme çalışması olarak yürütülmüştür. Veri toplama sürecinde doküman incelemesi yöntemi kullanılmış, elde edilen veriler betimsel bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda DergiPark, YÖK Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde 2010–2026 yılları arasında yayımlanan çalışmalar; “belirsizliğe tahammülsüzlük”, “evlilik” ve “belirsizliğe tahammülsüzlük ve evlilik” anahtar sözcükleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmaların seçiminde, evli bireylerden oluşan örneklem grubuna sahip olması, katılımcıların 18 yaş ve üzerinde olması, Türkçe yayımlanmış olması ve belirsizliğe tahammülsüzlük değişkenini içermesi temel ölçütler olarak belirlenmiştir.

Bulgular: Belirlenen ölçütler doğrultusunda toplam 15 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan inceleme sonucunda evli bireylerden oluşmayan örneklemlelere sahip olan, hamilelik veya sağlık temelli konulara odaklanan ya da belirlenen tarih aralığının dışında kalan 9 çalışma kapsam dışı bırakılmış; ölçütleri karşılayan 6 çalışma incelemeye dâhil edilmiştir. İncelenen çalışmaların dördünün yüksek lisans tezi, birinin doktora tezi ve birinin araştırma makalesi olduğu belirlenmiştir. Çalışmaların tamamının nicel araştırma yöntemleriyle yürütüldüğü görülmüştür. Bulgular, belirsizliğe tahammülsüzlük değişkeninin evlilik doyumu, stresle başa çıkma, finansal iyilik hâli, evlilikte öz yeterlik, karar verme süreçleri, çatışma çözme stratejileri, kişilik özellikleri, ilişkisel belirsizlik ve partner duyarlılığı gibi bireysel ve ilişkisel değişkenlerle birlikte ele alındığını göstermektedir. Özellikle evlilik doyumunun, en sık incelenen ilişkisel değişken olarak öne çıktığı görülmektedir.

Sonuç: Türkiye’de evli bireylerde belirsizliğe tahammülsüzlük konusunu ele alan çalışmaların sayısının sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut bulgular, belirsizliğe tahammülsüzlüğün hem bireysel işleyiş hem de evlilik ilişkilerinin niteliği üzerinde önemli bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, gelecekte gerçekleştirilecek nitel ve karma yöntemli araştırmaların konuya ilişkin daha derinlemesine bilgi sunacağı ve alanyazına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Belirsizliğe tahammülsüzlük, evlilik, evlilik doyumu, evli bireyler, alan yazın taraması

Development Of The Marital Adjustment Scale For Married Individuals: Preliminary Psychometric Properties And Exploratory Factor Analysis Findings

ABSTRACT

Marital adjustment is a multidimensional construct encompassing communication, trust, problem-solving, shared values, and marital satisfaction. In Türkiye, most instruments assessing marital adjustment are adapted from scales developed in other cultural contexts, highlighting the need for a culturally sensitive instrument reflecting Turkish family and marital dynamics. The present study aimed to examine the preliminary psychometric properties of the Marital Adjustment Scale for Married Individuals by presenting the findings of the Exploratory Factor Analysis (EFA). The study was conducted with 415 married individuals aged 21 years and older. Construct validity was examined using Principal Axis Factoring with Promax rotation. Reliability analyses included Cronbach’s alpha coefficients, corrected item-total correlations, and upper-lower 27% group comparisons. The Kaiser-Meyer-Olkin value was .962, and Bartlett’s Test of Sphericity was statistically significant, indicating the suitability of the data for factor analysis. EFA revealed a three-factor, 25-item structure explaining 71.024% of the total

variance. The factors were labeled Marital Satisfaction and Intimacy, Trust and Shared Values, and Communication and Understanding. The overall Cronbach's alpha coefficient of the scale was .97, while the subscale coefficients ranged between .90 and .96, demonstrating excellent internal consistency. Overall, the findings indicate that the scale possesses a robust factorial structure and satisfactory preliminary psychometric properties. Following the completion of Confirmatory Factor Analysis, the instrument is expected to serve as a valid and reliable measure for use in family counseling, psychological counseling, and marital relationship research.

Keywords: marital adjustment, marital satisfaction, scale development, exploratory factor analysis.

1.GİRİŞ

Evlilik, bireysel ve toplumsal düzeyde işlevselliğin inşasında temel rol oynayan, yapısında karşılıklı etkileşimi barındıran dinamik sistemik bir bütündür. Bu sistemin niteliğini, işleyişini ve çiftler arası bağın kalıcılığını belirleyen en önemli yapı taşlarından biri "eş uyumu" kavramıdır. Eş uyumu; evli ya da evlilik benzeri yakın ilişki içerisinde bulunan bireylerin ilişki kalitesini, ortak yaşam hedefleri doğrultusunda işbirliği içerisinde hareket edebilme potansiyellerini ve aralarındaki duygusal bağ yansıtan çok boyutlu bir yapıdır (Spanier, 1976). Kuramsal açıdan eş uyumu, yalnızca evlilik doyumunu yansıtan bir kavram olarak değil; çiftlerin uzun dönemli ilişki işleyişini, yaşanan güçlüklerle başa çıkma süreçlerini ve ilişkinin sürdürülebilirliğini yansıtan çok boyutlu bir yapı olarak ele alınmaktadır. (Fincham & Beach, 2010).

Eş uyumunu açıklayan temel kuramsal yaklaşımlardan biri olan Olson'un (2000) Circumplex Modeli, sağlıklı bir evlilik ilişkisinin bağlılık, esneklik ve etkili iletişim olmak üzere üç temel bileşen üzerine kurulduğunu ileri sürmektedir. Bu modele göre eş uyumu; eşler arasında açık ve etkili iletişimin kurulmasını, ortak karar alma ve problem çözme süreçlerinde iş birliği yapılmasını, sosyal, kültürel ve dini değerler açısından uyum sağlanmasını, ayrıca duygusal ve fiziksel yakınlığın sürdürülmesini kapsayan çok boyutlu bir yapıdır (Fincham & Beach, 2010; Locke & Wallace, 1959; Olson, 2000). Bu alanlarda sağlanan denge, evlilik ilişkisinin sağlıklı biçimde sürdürülmesinde ve evlilik sisteminin işlevselliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Türkiye'de eş uyumu ve evlilik kalitesini değerlendirmeye yönelik kullanılan psikometrik ölçme araçları incelendiğinde, bunların büyük ölçüde farklı kültürlerde geliştirilen ölçeklerin Türkçeye uyarlanmış biçimlerinden oluştuğu görülmektedir (Bayraktaroğlu & Çakıcı, 2017; Fışıloğlu & Demir, 2000; Tutarel-Kışlak, 1999). Bu kapsamda, Locke ve Wallace (1959) tarafından geliştirilen Evlilik Uyum Testi Tutarel-Kışlak (1999) tarafından Türkçeye uyarlanmış, Spanier'in (1976) geliştirdiği Çift Uyum Ölçeği (Dyadic Adjustment Scale [DAS]) ise Fışıloğlu ve Demir (2000) tarafından Türk kültürüne kazandırılmıştır. Ayrıca Busby ve arkadaşları (1995) tarafından geliştirilen Yenilenmiş Çift Uyum Ölçeği (Revised Dyadic Adjustment Scale [RDAS]), Bayraktaroğlu ve Çakıcı (2017) tarafından Kuzey Kıbrıs örneğinde psikometrik açıdan incelenmiştir. Söz konusu ölçme araçları, eşler arasındaki ilişki doyumu, uzlaşma ve bağlılık gibi önemli boyutların değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamış olmakla birlikte, farklı kültürel bağlamlarda geliştirilmiş olmaları nedeniyle Türk aile yapısına ve evlilik ilişkilerinin kültürel özelliklerine özgü bazı boyutları yeterince yansıtmayabilmektedir. Yerli alanyazında özgün olarak geliştirilen sınırlı sayıda ölçme araçlarından biri olan **Evlilikte Uyum ve Aile İşlevleri Ölçeği** ise evlilik uyumunu tek başına ele almak yerine aile işlevleriyle birlikte değerlendirmektedir (Söylemez, 2011).

2.KURAMSAL ÇERÇEVE

Eş uyumuna ilişkin alan yazını incelendiğinde, evlilik ilişkisinin tek boyutlu bir yapıdan ziyade çok boyutlu bir kavram olduğu görülmektedir. Çalışmalarda en sık vurgulanan boyutlar; **iletişim, ortak karar alma ve problem çözme, değer uyumu** ile **duygusal yakınlık** olarak öne çıkmaktadır. İletişim; eşler arasında açık, etkili ve karşılıklı anlayışa dayalı etkileşimi ifade ederken, ortak karar alma boyutu çiftlerin problem çözme ve iş birliği becerilerini kapsamaktadır. Değer uyumu; dini, sosyal ve kültürel konularda ortak anlayış ve uzlaşmayı, duygusal yakınlık ise sevgi, güven ve duygusal bağın niteliğini içermektedir (Locke & Wallace, 1959; Olson, 2000; Fincham & Beach, 2010).

Spanier'e (1976) göre eş uyumu; evlilik ya da evlilik benzeri yakın ilişkilerde bireylerin ilişki doyumu, uzlaşma düzeyi, ortak hareket edebilme becerisi ve duygusal bağlarını kapsayan çok boyutlu bir yapıdır. Bu doğrultuda geliştirilen Çift Uyum Ölçeği (Dyadic Adjustment Scale [DAS]), eş uyumunu doyum, uzlaşma, bağlılık ve duygusal ifade boyutları üzerinden değerlendirmektedir. Bu yaklaşım, eş uyumunun yalnızca evlilik doyumunu yansıtan bir kavram olmadığını; ilişkinin genel işleyişini ve çiftler arasındaki uyumun farklı boyutlarını kapsayan bütüncül bir yapı olduğunu ortaya koymaktadır.

Olson'un Circumplex Modeli'ne göre sağlıklı evlilik ilişkileri, bağlılık, esneklik ve etkili iletişim arasındaki dengenin sağlanmasına dayanmaktadır. Bu boyutlar, çiftlerin değişen yaşam koşullarına uyum sağlamalarını, karşılaştıkları sorunlarla etkili biçimde başa çıkmalarını ve ilişkilerini sürdürülebilir şekilde devam ettirmelerini destekleyen temel ilişki süreçleri olarak değerlendirilmektedir. Bu kuramsal çerçevelerden hareketle geliştirilen Evli Bireylerde Eş Uyumu Ölçeği'nin madde havuzu oluşturulurken alanyazında öne çıkan bu temel boyutlar esas alınmıştır. Ölçeğin kapsam geçerliğinin sağlanması amacıyla hazırlanan maddeler uzman görüşleri doğrultusunda gözden geçirilmiş ve psikometrik analizlerle desteklenmiştir.

Türkiye'de eş uyumunu değerlendirmeye yönelik kullanılan ölçme araçlarının büyük ölçüde farklı kültürlerde geliştirilen ölçeklerin uyarlamalarından oluşması ve özgün ölçme araçlarının sınırlı sayıda olması, Türk kültürünün sosyokültürel özelliklerini dikkate alan yeni bir ölçme aracının geliştirilmesine duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, geçerli ve güvenilir ölçme araçlarının geliştirilmesi, ölçülmek istenen yapının kuramsal temeller doğrultusunda sistematik bir süreç izlenerek tanımlanmasını ve psikometrik özelliklerinin kapsamlı biçimde incelenmesini gerektirmektedir (Boateng vd., 2018; DeVellis, 2017). Bu nedenle, geliştirilecek ölçme aracının yalnızca istatistiksel açıdan yeterli psikometrik özelliklere sahip olması değil, aynı zamanda ölçmeyi amaçladığı yapının kültürel özelliklerini de yansıtabilmesi önem taşımaktadır.

Türkiye'de eş uyumunu değerlendirmek amacıyla kullanılan ölçme araçları incelendiğinde, bunların büyük ölçüde farklı kültürlerde geliştirilen ölçeklerin Türkçeye uyarlanmış biçimlerinden oluştuğu görülmektedir (Bayraktaroğlu ve Çakıcı, 2017; Fıfıloğlu ve Demir, 2000; Tutarel-Kışlak, 1999). Yerli alanyazında özgün olarak geliştirilen ölçme araçlarının ise sınırlı sayıda olduğu ve mevcut araçların Türk kültürünün aile yapısını, toplumsal değerlerini ve evlilik ilişkilerine özgü sosyokültürel özellikleri bütüncül biçimde değerlendirmede sınırlılıklar taşıyabildiği görülmektedir (Söylemez, 2011). Oysa eş uyumu; kültürel normlar, toplumsal değerler, aile yapısı ve eşlere yüklenen rollerden etkilenen çok boyutlu bir yapı olarak kabul edilmektedir (Burgess ve Cottrell, 1939; Spanier, 1976; Olson vd., 1983; Kağıtçıbaşı, 2007; Falicov, 2014). Bu durum, Türk kültürüne özgü özellikleri dikkate alan özgün bir ölçme aracının geliştirilmesine duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır.

Bu araştırmanın amacı, Türk kültürünün aile yapısı ve evlilik dinamikleri dikkate alınarak evli bireylerin eş uyumunu değerlendirmeye yönelik özgün, geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı geliştirmek; geliştirilen ölçeğin yapı geçerliğini Açımlayıcı Faktör Analizi ile inceleyerek ön psikometrik özelliklerini ortaya koymaktır.

3.YÖNTEM

Ölçek geliştirme süreci üç aşamada yürütülmüştür. Önce kuramsal alt yapı için eş uyumu ile ilgili alan yazın taraması yapılarak yukarıda da belirtildiği gibi Spainer ve Olson'un modelleri temel alınarak 52 sorudan oluşan bir madde havuzu araştırmacılar tarafından oluşturularak uzman görüşüne sunulmuştur. Ölçme ve aile danışmanlığı alanlarında uzman üç uzmanın görüşü alındıktan - maddeler kapsam geçerliği açısından değerlendirilmiş ve ölçek 41 maddeye düşürülmüştür. Ölçeğin dil ve anlaşılabilirlik özelliklerini değerlendirmek amacıyla Türkçe alanında uzman bir araştırmacının görüşüne başvurulmuştur. Pilot çalışma formu yüz yüze görüşme ve çevrim içi anket platformu yolu ile 55 evli birey ile gerçekleştirilmiştir. Düzeltilmiş madde-toplam korelasyonları ve ayırt edicilik analizleri sonucunda 8. ve 25. maddelerin ölçekten çıkarılmasına karar verilmiştir. Revize edilen form ikinci uygulamada hem yüz yüze (sözlü yönergeyle) hem de çevrim içi anket platformu üzerinden yürütülmüştür 415 evli bireye uygulanmış ve yapı geçerliği ile güvenilirlik analizleri bu örneklem üzerinden gerçekleştirilmiştir.

3.1. Veri Analizi

Araştırmada geliştirilen ölçeğin yapı geçerliğini değerlendirmek için Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. AFA, ölçekte yer alan maddelerin altında yatan faktör yapısını belirlemek ve ölçülmek istenen yapının boyutlarını ortaya koymak amacıyla ölçek geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan temel analiz yöntemlerinden biridir (Fabrigar vd., 1999; Worthington ve Whittaker, 2006). Faktör analizinde Temel Eksenler Faktörleştirilmesi (Principal Axis Factoring [PAF]) yöntemi kullanılmış, faktörlerin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla Promax döndürme tekniği tercih edilmiştir.

Madde seçiminde faktör yük değerinin en az .30, birden fazla faktörde yüklenen maddelerde ise çapraz yükler arasındaki farkın en az .10 olması ölçütü olarak kabul edilmiştir. Ölçeğin güvenilirliği Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı ve düzeltilmiş madde-toplam korelasyonları kullanılarak değerlendirilmiştir. Maddelerin ayırt edicilik düzeyleri ise %27'lik alt ve üst grup puanlarının karşılaştırılmasıyla incelenmiştir. Araştırmaya ilişkin tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 26 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.Örnekleme ve Uygulama Süreci

Ölçek geliştirme süreci, DeVellis'in (2017) önerdiği aşamalar doğrultusunda iki basamakta yürütülmüştür. İlk aşamada, oluşturulan ölçek formunun madde anlaşılabilirliğini, uygulanabilirliğini ve ön psikometrik özelliklerini değerlendirmek amacıyla 55 evli birey ile ön pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama sonucunda elde edilen madde-toplam korelasyonları, iç tutarlılık katsayıları ve madde ayırt edicilik bulguları doğrultusunda psikometrik açıdan yeterli performans göstermediği belirlenen 8. ve 25. maddeler ölçekten çıkarılmış ve ölçek aracı revize edilmiştir.

İkinci aşamada ise revize edilen ölçek formu 415 evli bireye uygulanmıştır. Ölçeğin yapı geçerliğine ilişkin Açıklayıcı Faktör Analizi ile güvenilirlik analizleri bu örneklem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örneklem büyüklüğünün faktör analizi için yeterliliği, Comrey ve Lee'nin (1992) önerdiği ölçütler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

3.3.Katılımcı Özellikleri

Araştırmanın esas uygulama aşaması, 415 evli bireyin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların %70,6'sı kadın (n = 293), %29,4'ü ise erkekten (n = 122) oluşmaktadır. Yaş dağılımı incelendiğinde katılımcıların %27'sinin 21–30 yaş, %36'sının 31–40 yaş, %19'unun 41–50 yaş ve %19'unun 51 yaş ve üzerinde olduğu görülmektedir. Katılımcıların yaş ortalaması $39,51 \pm 11,01$ yıl, ortalama evlenme yaşı ise $26,88 \pm 4,70$ yıl olarak hesaplanmıştır. Eğitim düzeyine ilişkin dağılım incelendiğinde katılımcıların %2'sinin ilköğretim, %2'sinin ortaokul, %13'ünün lise, %66'sının üniversite ve %17'sinin lisansüstü mezunu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca katılımcıların %79,28'inin aktif olarak çalıştığı, %60,00'inin ise orta sosyoekonomik düzeyde olduğu saptanmıştır.

4.BULGULAR

Alanyazın incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulan madde havuzu, eş uyumuna ilişkin kuramsal olarak tanımlanan temel içerik alanlarını kapsayacak biçimde hazırlanmıştır. Madde yazım sürecinde iletişim ve kendini ifade etme, cinsel iletişim ve yakınlık, duygusal yakınlık, güven ve destek, problem çözme ve iş birliği, karşılıklı saygı, ortak değerler ve yaşam uyumu, evlilik doyumu ve olumlu ilişki dinamikleri ile sosyal çevrenin evliliğe etkisi olmak üzere eş uyumunun farklı yönleri dikkate alınmıştır. Uzman görüşleri doğrultusunda düzenlenen 41 maddelik ölçek formu üzerinde gerçekleştirilen Açıklayıcı Faktör Analizi sonucunda ise maddelerin üç faktör altında toplandığı belirlenmiştir. Faktörlerin içerikleri dikkate alınarak bu boyutlar Evlilik Doyumu ve Yakınlık, Güven ve Ortak Değerler ile İletişim ve Anlayış olarak adlandırılmıştır.

4.1. Yapı Geçerliğine İlişkin Bulgular

Geliştirilen ölçeğin yapı geçerliğini değerlendirmek amacıyla Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. AFA, ölçeği oluşturan maddelerin altında yatan faktör yapısını ortaya koymak ve ölçülmek istenen yapının boyutlarını belirlemek amacıyla ölçek geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan çok değişkenli bir analiz yöntemidir (Fabrigar vd., 1999; Henson ve Roberts, 2006; Tabachnick ve Fidell, 2019).

Veri setinin faktör analizine uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterlilik katsayısı ile Bartlett Küresellik Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda KMO değerinin .962 olduğu belirlenmiş, bu değer örneklem büyüklüğünün faktör analizi için mükemmel düzeyde yeterli olduğunu göstermiştir. Bartlett Küresellik Testi sonucunun anlamlı olduğu ($\chi^2 = 10437,094$; $p < .001$) saptanmış ve maddeler arasındaki korelasyon yapısının faktör analizi uygulanmasına uygun olduğu görülmüştür.

Açıklayıcı Faktör Analizi sonucunda ölçeğin toplam varyansın %71,02'sini açıklayan üç faktörlü bir yapı sergilediği belirlenmiştir. Elde edilen açıklanan varyans oranı, ölçeğin ölçmeyi amaçladığı yapıyı yeterli düzeyde temsil ettiğini ve yapı geçerliğine ilişkin önemli kanıtlar sunduğunu göstermektedir.

4.2.Açıklayıcı Faktör Analizi Bulguları

Ölçeğin yapı geçerliğini belirlemek amacıyla Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. Analiz öncesinde veri setinin faktör analizine uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterlilik katsayısı ve Bartlett Küresellik Testi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda KMO değerinin .962 olduğu, Bartlett Küresellik Testi'nin anlamlı olduğu ($\chi^2 = 10437,094$; $p < .001$) belirlenmiştir. Bu bulgular, veri setinin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir.

Promax döndürme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen AFA sonucunda, özdeğeri 1'in üzerinde üç faktör elde edilmiştir. Bu üç faktör, ölçeğe ilişkin toplam varyansın %71,024'ünü açıklamaktadır. Faktörlerin açıkladığı varyans oranları sırasıyla İletişim ve Anlayış için %17,236,0, Güven ve Ortak Değerler için %23,44 ve Evlilik Doyumu ve Yakınlık için %30,348 olarak belirlenmiştir. Sosyal bilimlerde yapı geçerliği açısından kabul edilen

%40 açıklanan varyans ölçütünün üzerinde bir değere ulaşılması, ölçeğin yeterli düzeyde yapı geçerliğine sahip olduğunu göstermektedir.

4.3. Ölçeğin Faktör Yapısı

Açımlayıcı Faktör Analizi sonucunda ölçeğin 25 maddeden oluşan üç faktörlü bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Faktörler, maddelerin içerikleri dikkate alınarak Evlilik Doyumu ve Yakınlık, Güven ve Ortak Değerler ile İletişim ve Anlayış olarak adlandırılmıştır.

Birinci faktör, 14 maddeden oluşmakta olup Evlilik Doyumu ve Yakınlık olarak adlandırılmıştır. Bu faktörde yer alan maddelerin faktör yükleri .565 ile .783 arasında değişmektedir. Faktör; evlilikte problem çözme, uzlaşma, ortak değerler, karşılıklı saygı, ortak hedefler, evlilikten duyulan memnuniyet ve eşi takdir etme gibi evlilik ilişkisinin niteliğini yansıtan temel özellikleri kapsamaktadır.

İkinci faktör, 7 maddeden oluşmakta olup Güven ve Ortak Değerler olarak adlandırılmıştır. Bu faktörde yer alan maddelerin faktör yükleri .606 ile .760 arasında değişmektedir. Faktör; eşe güven duyma, evlilikte kendini güvende hissetme, duygusal ve fiziksel yakınlık, karşılıklı anlayış, takdir edilme, eşlerin birbirlerine yönelik olumlu davranışları ve sosyal çevrenin evlilik ilişkisi üzerindeki etkisini değerlendiren maddelerden oluşmaktadır.

Üçüncü faktör ise 4 maddeden oluşmakta olup İletişim ve Anlayış olarak adlandırılmıştır. Bu faktörde yer alan maddelerin faktör yükleri .659 ile .831 arasında değişmektedir. Faktör; eşlerin duygu ve düşüncelerini açık biçimde ifade edebilmeleri, birbirleri tarafından anlaşıldıklarını hissetmeleri ve etkili iletişim kurabilmelerine ilişkin maddeleri kapsamaktadır.

Elde edilen bulgular, geliştirilen ölçeğin maddelerinin kuramsal olarak ilişkili yapıları anlamlı ve yorumlanabilir üç faktör altında toplandığını göstermektedir. Faktörlerin içeriklerinin eş uyumuna ilişkin kuramsal çerçeveye uyum göstermesi ve toplam varyansın önemli bir bölümünü açıklaması, ölçeğin yapı geçerliğini destekleyen önemli kanıtlar sunmaktadır.

4.4. Güvenirlilik Bulguları

Geliştirilen ölçeğin güvenirliliği, Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı, düzeltilmiş madde-toplam korelasyonları ve %27 alt-üst grup karşılaştırmaları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda ölçeğin genel Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı .97 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, ölçeğin yüksek düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir (Nunnally, 1978).

Alt boyutlara ilişkin Cronbach alfa katsayıları incelendiğinde, İletişim ve Anlayış alt boyutu için .93, Güven ve Ortak Değerler alt boyutu için .90 ve Evlilik Doyumu ve Yakınlık alt boyutu için ise .96 değerleri elde edilmiştir. Bu bulgular, ölçeğin alt boyutlarının da yüksek düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

Madde analizleri sonucunda düzeltilmiş madde-toplam korelasyonlarının .513 ile .869 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen %27 alt-üst grup karşılaştırmalarında maddelerin tamamının ayırt ediciliklerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır. Pilot uygulama sonrasında yapılan madde analizlerinde psikometrik özellikleri yeterli bulunmayan 8. ve 25. maddeler ölçekten çıkarılmış; revize edilen ölçek formu üzerinden gerçekleştirilen analizler, geliştirilen ölçme aracının yüksek düzeyde güvenirliliğe sahip olduğunu göstermiştir.

5. TARTIŞMA

Bu araştırmada, evli bireylerin eş uyumunu değerlendirmek amacıyla geliştirilen Evli Bireylerde Eş Uyumu Ölçeği'nin yapı geçerliği ve güvenirliliğine ilişkin ön bulgular Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA) yoluyla incelenmiştir. Bulgular, ölçeğin İletişim ve Anlayış, Güven ve Ortak Değerler ile Evlilik Doyumu ve Yakınlık olmak üzere üç faktörlü ve 25 maddeden oluşan bir yapı sergilediğini, bu yapının toplam varyansın %71,02'sini açıkladığını ve yüksek düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, hem istatistiksel hem de kuramsal açıdan önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Ortaya çıkan üç faktörlü yapı, eş uyumunu çok boyutlu bir kavram olarak ele alan kuramsal yaklaşımlarla örtüşmektedir. Olson'un (2000) Circumplex Modeli'nde vurgulanan bağıllık, esneklik ve etkili iletişim bileşenleri, bu çalışmadaki faktörlerle içerik bakımından yakından ilişkilidir; İletişim ve Anlayış faktörünün bağımsız biçimde ortaya çıkması, iletişimin eş uyumunun merkezi bir bileşeni olduğu öngörüsünü desteklemektedir (Fincham & Beach, 2010; Olson, 2000). Benzer biçimde, Spanier'in (1976) doyum, uzlaşma, bağıllık ve duygusal ifade boyutlarına dayanan yaklaşımı ile bu çalışmada elde edilen Evlilik Doyumu ve Yakınlık faktörü arasında kavramsal bir paralellik bulunmaktadır. Bu durum, ölçeğin alan yazınıyla tutarlı bir yapı sergilediğine ve yapı geçerliğine ilişkin bulguları desteklemektedir.

Elde edilen bulgular, Türkiye'deki eş uyumu alan yazınına da özgün bir katkı sunmaktadır. Bu alanda kullanılan ölçme araçlarının büyük bölümü, farklı kültürel bağlamlarda geliştirilen ölçeklerin Türkçeye uyarlanmasıyla oluşturulmuştur (Bayraktaroğlu & Çakıcı, 2017; Fıfıloğlu & Demir, 2000; Tutarel-Kışlak, 1999). Bu çalışmada geliştirilen ölçeğin, madde havuzu oluşturulurken Türk aile yapısı ve evlilik dinamikleri gözetilerek hazırlanmış olması, kültürel geçerlik açısından önemli bir avantaj sunmaktadır (Kağıtçıbaşı, 2007; Falicov, 2014). Ölçeğin üç boyutlu yapısının, evlilik uyumunu aile işlevleriyle birlikte ele alan Evlilikte Uyum ve Aile İşlevleri Ölçeği (Söylemez, 2011) gibi yerli araçlarla karşılaştırılması, ölçeğin alan yazınındaki konumunu daha net ortaya koyacaktır.

Güvenirlik bulgularına bakıldığında, genel ve alt boyut düzeyindeki Cronbach alfa katsayılarının .90'ın üzerinde olması, yüksek iç tutarlılığa işaret etmektedir (Nunnally, 1978). Pilot uygulamada 8. ve 25. maddelerin madde-toplam korelasyonu ve ayırt edicilik analizleri sonucunda çıkarılmış olması, önerilen sistematik madde eleme uygulamalarıyla tutarlıdır (Boateng vd., 2018; DeVellis, 2017) ve nihai ölçeğin psikometrik açıdan güçlenmesine katkı sağlamıştır.

Bulgular bazı sınırlılıklarla birlikte değerlendirilmelidir. Veri toplamının hem yüz yüze hem çevrim içi yürütülmesi, örneklemin gönüllü katılıma dayalı bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmekte ve genellenebilirliği sınırlayabilmektedir. Katılımcıların büyük bölümünün kadın (%70,6) olması da cinsiyet açısından dengeli bir temsil sunulmadığını göstermektedir; sonraki çalışmalarda daha dengeli örneklemelere ulaşılması önerilmektedir. Ayrıca bu çalışmada yalnızca AFA bulgularına yer verilmiş olup, yapının Doğrulamalı Faktör Analizi ile teyit edilmesi ve yakınsak/ayrışan geçerlik gibi ek kanıtların sunulması, ölçeğin psikometrik özelliklerinin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, evli bireylerin eş uyumunu değerlendirmeye yönelik geliştirilen Evli Bireylerde Eş Uyum Ölçeğinin ön psikometrik özellikleri Açıklayıcı Faktör Analizi kapsamında incelenmiştir. Analizler sonucunda ölçeğin Evlilik Doyumu ve Yakınlık, Güven ve Ortak Değerler ile İletişim ve Anlayış olmak üzere üç faktörlü bir yapı sergilediği belirlenmiştir. Elde edilen yapı geçerliği ve güvenilirlik bulguları, geliştirilen ölçeğin evli bireylerde eş uyumunu değerlendirmede yeterli psikometrik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Ölçeğin kuramsal çerçeveye uyumlu faktör yapısı ortaya koyması ve yüksek iç tutarlılık düzeyine sahip olması, Türk kültüründe eş uyumunun değerlendirilmesine yönelik önemli bir gereksinimi karşılayabilecek nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle ölçeğin aile danışmanlığı ve terapisi, psikolojik danışma ile evlilik ve aile araştırmalarında kullanılabilecek geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmanın sonraki aşamasında, Açıklayıcı Faktör Analizi sonucunda elde edilen üç faktörlü yapının Doğrulamalı Faktör Analizi (DFA) ile test edilmesi, model uyum indekslerinin değerlendirilmesi ve yakınsak ile ayrışan geçerliğe ilişkin ek kanıtların ortaya konulması planlanmaktadır. Ayrıca ölçeğin farklı sosyodemografik özelliklere sahip örneklemelerde uygulanması ve psikometrik özelliklerinin yeniden incelenmesi, elde edilen bulguların desteklenmesine ve ölçme aracının kullanım alanının genişletilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak bulgular, Evli Bireylerde Eş Uyum Ölçeği'nin güçlü bir faktör yapısına ve yüksek iç tutarlılığa sahip olduğunu, kuramsal alan yazınıyla tutarlılık gösterdiğini ve Türk kültürüne özgü bir ölçme aracına duyulan gereksinime yanıt verebilecek nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır. Doğrulamalı Faktör Analizi çalışmalarının tamamlanmasıyla ölçeğin, aile danışmanlığı, psikolojik danışma ve evlilik araştırmalarında kullanılabilecek geçerli ve güvenilir bir araç haline gelmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

- Comrey, A. L., & Lee, H. B. (1992). A first course in factor analysis (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- DeVellis, R. F. (2017). Scale development: Theory and applications (4th ed.). Sage.
- Falicov, C. J. (2014). *Latino families in therapy* (2. bs.). Guilford Press.
- Field, A. (2013). Discovering statistics using IBM SPSS statistics (4th ed.). Sage.
- Kağıtçıbaşı, Ç. (2007). *Family, self, and human development across cultures: Theory and applications* (2. bs.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Kline, R. B. (2016). Principles and practice of structural equation modeling (4th ed.). Guilford Press.
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). Psychometric theory (3rd ed.). McGraw-Hill.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). Using multivariate statistics (7th ed.). Pearson.

Makaleler

- Bayraktaroğlu, H. T., & Çakıcı, E. T. (2017). Psychometric properties of revised form of the Dyadic Adjustment Scale in a sample from North Cyprus. *International Journal of Educational Sciences*, 19(2-3), 113-119. <https://doi.org/10.1080/09751122.2017.1393954>
- Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñónez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best practices for developing and validating scales for health, social, and behavioral research: A primer. *Frontiers in Public Health*, 6, Article 149. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>
- Busby, D. M., Christensen, C., Crane, D. R., & Larson, J. H. (1995). A revision of the Dyadic Adjustment Scale for use with distressed and nondistressed couples: Construct hierarchy and multidimensional scales. *Journal of Marital and Family Therapy*, 21(3), 289-308. <https://doi.org/10.1111/j.1752-0606.1995.tb00163.x>
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., & Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4(3), 272-299. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.4.3.272>
- Fincham, F. D., & Beach, S. R. H. (2010). Marriage in the new millennium: A decade in review. *Journal of Marriage and Family*, 72(3), 630-649. <https://doi.org/10.1111/j.1741-3737.2010.00722.x>
- Fıstıloğlu, H., & Demir, A. (2000). Applicability of the Dyadic Adjustment Scale for measurement of marital quality with Turkish couples. *European Journal of Psychological Assessment*, 16(3), 214-218. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.16.3.214>
- Henson, R. K., & Roberts, J. K. (2006). Use of exploratory factor analysis in published research: Common errors and some comment on improved practice. *Educational and Psychological Measurement*, 66(3), 393-416. <https://doi.org/10.1177/0013164405282485>
- Locke, H. J., & Wallace, K. M. (1959). Short marital-adjustment and prediction tests: Their reliability and validity. *Marriage and Family Living*, 21(3), 251-255. <https://doi.org/10.2307/348022>
- Olson, D. H. (2000). Circumplex model of marital and family systems. *Journal of Family Therapy*, 22(2), 144-167. <https://doi.org/10.1111/1467-6427.00144>
- Spanier, G. B. (1976). Measuring dyadic adjustment: New scales for assessing the quality of marriage and similar dyads. *Journal of Marriage and the Family*, 38(1), 15-28. <https://doi.org/10.2307/350547>
- Tutarel-Kışlak, Ş. (1999). Evlilikte Uyum Ölçeği (EUÖ)'nün güvenirlik ve geçerlik çalışması. *3P Psikiyatri Psikoloji Psikofarmakoloji Dergisi*, 7(1), 50-57.
- Worthington, R. L., & Whittaker, T. A. (2006). Scale development research: A content analysis and recommendations for best practices. *The Counseling Psychologist*, 34(6), 806-838. <https://doi.org/10.1177/0011000006288127>

Yüksek Lisans Tezi

- Söylemez, İ. (2011). Evlilik uyumu ve aile işlevleri ölçeği geliştirme: Güvenirlik ve geçerlik çalışması (Tıpta uzmanlık tezi, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi). <https://tez.yok.gov.tr/>

ORCID: 0009-0002-4400-1315 | 0000-0002-3549-099X

Doğurganlık Oranlarındaki Düşüş Ve İskandinav Refah Devletlerinde Doğurganlık Eğilimleri: İsveç Ve Danimarka Örneği (2000–2024)

YI Öğr. Ayça Şengül Yağan^{*1}, Prof. Dr. Elif Gazioğlu Terzi²¹ Erciyes Üniversitesi² Erciyes University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Political Science and Public Administration Department, Kayseri, Turkey,* Corresponding Author: Ayça Şengül YAĞAN
aycasengul61@gmail.com

ÖZET

Düşük doğurganlık, son yarım yüzyılda küresel ölçekte yaygınlaşan ve özellikle gelişmiş ülkelerde nüfus yaşlanması, işgücü daralması ile refah devletlerinin sürdürülebilirliğini etkileyen temel demografik sorunlardan biri hâline gelmiştir. Doğurganlık düzeylerinde yaşanan sürekli düşüş, nüfusun yaş yapısını değiştirerek ekonomik büyüme, sosyal güvenlik sistemleri ve uzun dönemli kalkınma hedefleri açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Refah devleti modelinin önde gelen örnekleri arasında yer alan İsveç ve Danimarka, kapsamlı aile politikaları ve gelişmiş sosyal koruma sistemiyle uzun yıllar Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde doğurganlık düzeylerini koruyan ülkeler arasında yer almıştır. Buna karşın her iki ülkede de son yıllarda doğurganlık oranlarında belirgin bir gerileme gözlenmektedir.

Bu çalışma, 2000–2024 döneminde İsveç ve Danimarka'nın doğurganlık eğilimlerini karşılaştırmalı olarak inceleyerek bu eğilimlerin nüfus yapısı ve refah devletlerinin sürdürülebilirliği üzerindeki olası etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada karşılaştırmalı analiz yöntemi benimsenmiş; Eurostat, OECD, Birleşmiş Milletler, Statistics Sweden ve Statistics Denmark tarafından yayımlanan doğurganlık ve demografik göstergelerden yararlanılarak 2000–2024 dönemine ilişkin eğilimler analiz edilmiştir.

Bulgular: , küresel ölçekte uzun süredir devam eden doğurganlık düşüşünün İsveç ve Danimarka'da da belirgin biçimde hissedildiğini göstermektedir. Her iki ülkede toplam doğurganlık hızı özellikle 2010 sonrasında gerilemiş; ilk doğum yaşı yükselmiş ve doğurganlık giderek 30–34 yaş grubunda yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte İsveç ve Danimarka'nın doğurganlık düzeyleri, çalışma döneminin büyük bölümünde Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde seyretmiş, ancak son yıllarda bu fark önemli ölçüde azalmıştır. Elde edilen bulgular, düşük doğurganlığın İskandinav refah devletlerinde de kalıcı bir demografik dönüşüme işaret ettiğini ve nüfus yaşlanması ile refah devletlerinin sürdürülebilirliği açısından önemli sonuçlar doğurduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Düşük doğurganlık, doğurganlık eğilimleri, İskandinav refah devleti, İsveç, Danimarka

Decline in Fertility Rates And Fertility Trends in Scandinavian Welfare States: The Cases of Sweden and Denmark (2000–2024)

ABSTRACT

Low fertility has become one of the major demographic challenges that has spread globally over the past half-century, particularly affecting developed countries through population ageing, the contraction of the labour force, and the sustainability of welfare states. The persistent decline in fertility levels has significant implications for economic growth, social security systems, and long-term development by reshaping the age structure of populations. Sweden and Denmark, which are among the leading examples of the Scandinavian welfare state model, maintained fertility levels above the European Union average for many years through comprehensive family policies and well-developed social protection systems. Nevertheless, both countries have experienced a marked decline in fertility rates in recent years.

This study aims to comparatively examine fertility trends in Sweden and Denmark during the 2000–2024 period and to evaluate the potential implications of these trends for population structure and the sustainability of welfare states. A comparative analysis approach was adopted, and trends for the 2000–2024 period were analysed using fertility and demographic indicators obtained from Eurostat, the OECD, the United Nations, Statistics Sweden, and Statistics Denmark.

The findings indicate that the long-standing global decline in fertility has also become evident in Sweden and Denmark. In both countries, the total fertility rate declined markedly, particularly after 2010, while the age at first birth increased and childbearing became increasingly concentrated among women aged 30–34 years. Nevertheless, although fertility levels in Sweden and Denmark remained above the European Union average for most of the study period, this gap narrowed considerably in recent years. Overall, the findings suggest that low fertility has become a persistent demographic transformation even in the Scandinavian welfare states, with significant implications for population ageing and the sustainability of welfare states.

Keywords: fertility, fertility trends, Scandinavian welfare state, Sweden, Denmark

1. GİRİŞ

Doğurganlık düzeyi, nüfusun yenilenmesini sağlayan ve nüfus büyüklüğü, yaş yapısı ile uzun dönemli sosyo-ekonomik gelişimi etkileyen temel demografik göstergelerden biridir. Son yarım yüzyılda dünya genelinde gözlenen doğurganlık düşüşü, özellikle gelişmiş ülkelerde toplam doğurganlık hızının nüfusun yenilenme düzeyi olan kadın başına yaklaşık 2,1 çocuğun altına gerilemesiyle birlikte nüfus yaşlanması ve demografik gerileme tartışmalarını gündeme taşımıştır (United Nations, 2024, ss. VIII–IX; OECD, 2024, ss. 9–14). Birleşmiş Milletler verilerine göre küresel toplam doğurganlık hızı, 1970 yılında kadın başına 4,83 çocuk iken 2024'te 2,25'e düşmüştür. Avrupa Birliği'nde de doğurganlık uzun süredir yenilenme düzeyinin altında seyretmekte ve bu durum, düşük doğurganlığın gelişmiş ekonomilerin büyük bölümünü etkileyen yapısal bir demografik eğilim olduğunu göstermektedir (United Nations Department of Economic and Social Affairs [UN DESA], 2024; OECD, 2024, ss. 14–17).

Literatürde doğurganlık düzeylerindeki dönüşüm, Demografik Dönüşüm ve İkinci Demografik Dönüşüm yaklaşımlarıyla açıklanmaktadır. Eğitim süresinin uzaması, kadın istihdamının artması, bireyselleşme eğilimlerinin güçlenmesi, ilk doğum yaşının yükselmesi ve aile kurma davranışındaki değişimler doğurganlık kararlarını önemli ölçüde etkilemektedir (Lesthaeghe, 2010, s. 230; Van de Kaa, 2002, ss. 1–6). Ayrıca ekonomik belirsizlikler, konut maliyetleri, çocuk yetiştirme maliyetlerinin artmasıyla çalışma ve aile yaşamının uyumlaştırılmasında yaşanan güçlükler de çocuk sahibi olma kararlarının ertelenmesine veya sınırlandırılmasına yol açmaktadır (OECD, 2024, ss. 14–17; Sobotka vd., 2019, ss. 16–19). Bu nedenle düşük doğurganlık, ekonomik, toplumsal ve kurumsal dinamiklerin etkileşimiyle şekillenen çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilmektedir.

Düşük doğurganlığın süreklilik kazanması, nüfus yaşlanması, çalışma çağındaki nüfusun daralması ve yaşlı bağımlılık oranının yükselmesi gibi önemli demografik ve ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Bu gelişmeler, işgücü piyasaları ve ekonomik büyüme üzerinde baskı oluştururken, sosyal güvenlik, sağlık ve uzun dönemli bakım sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından yeni politika gereksinimlerini de beraberinde getirmektedir (European Commission, 2023, ss. 10–19; Reher, 2011, ss. 14–15). Dolayısıyla düşük doğurganlık, yalnızca demografik bir değişim değil, aynı zamanda refah devletlerinin geleceğini etkileyen önemli bir sosyal politika sorunu olarak görülmektedir.

Bu çerçevede İsveç ve Danimarka, uzun yıllar Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde doğurganlık düzeylerini koruyan ve kapsamlı aile politikalarıyla öne çıkan sosyal demokrat refah rejiminin başlıca örnekleri arasında yer almaktadır. Ancak son yıllarda her iki ülkede toplam doğurganlık hızında gözlenen belirgin gerileme, gelişmiş refah devleti uygulamalarının düşük doğurganlığı tek başına önlemede yeterli olup olmadığı sorusunu yeniden gündeme taşımıştır. Bu çalışma, 2000–2024 döneminde İsveç ve Danimarka'nın doğurganlık eğilimlerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi ve söz konusu eğilimleri İskandinav refah devleti modeli bağlamında değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Modeli

Bu çalışma, 2000–2024 döneminde İsveç ve Danimarka'nın doğurganlık eğilimlerini karşılaştırmalı olarak inceleyen, nicel göstergelere dayalı bir araştırmadır. Araştırmada karşılaştırmalı analiz yöntemi benimsenmiş; iki ülkenin doğurganlık göstergeleri, demografik eğilimleri ve bu eğilimlerin refah devletlerinin sürdürülebilirliği üzerindeki olası etkileri İskandinav refah devleti bağlamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, benzer refah rejimi özelliklerine sahip iki ülkenin doğurganlık eğilimleri ile demografik göstergelerindeki benzerlik ve farklılıklar karşılaştırmalı bir bakış açısıyla incelenmiştir.

2.2. Veri Kaynakları

Araştırmada Eurostat, OECD, Birleşmiş Milletler, Statistics Sweden ve Statistics Denmark tarafından yayımlanan güncel istatistikler ile uluslararası kuruluşlar tarafından hazırlanan raporlardan yararlanılmıştır. Analizde toplam doğurganlık hızı, yaşa özgü doğurganlık oranları, ilk doğum yaşı ve doğurganlığa ilişkin diğer demografik göstergeler esas alınmıştır. Elde edilen veriler, İsveç ve Danimarka'nın doğurganlık eğilimlerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve bu eğilimlerin nüfus yapısı ile refah devletlerinin sürdürülebilirliği üzerindeki olası etkilerini ortaya koymak amacıyla analiz edilmiştir.

2.3. Verilerin Analizi

Doğurganlık göstergelerine ilişkin veriler tablo ve şekiller aracılığıyla sunulmuş; bulgular, demografik eğilimler ve İskandinav refah devleti bağlamında değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. İsveç ve Danimarka'da Doğurganlık Eğilimleri (2000–2024)

İsveç ve Danimarka, uzun yıllar Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde doğurganlık düzeylerini koruyan ve aile yaşamını destekleyen kapsamlı sosyal politikalarıyla öne çıkan sosyal demokrat refah rejiminin başlıca örnekleridir. Ebeveyn izinleri, yaygın çocuk bakım hizmetleri, kadın istihdamını destekleyen düzenlemeler ve iş-aile uyumunu güçlendiren politikalar, bu ülkelerde doğurganlığın görece yüksek düzeylerde seyretmesini destekleyen temel kurumsal araçlar olarak değerlendirilmektedir (Esping-Andersen, 2009, ss. 110, 134–136; Thévenon, 2011, ss. 57–60).

Bununla birlikte, son yıllarda her iki ülkede de toplam doğurganlık hızında belirgin bir gerileme gözlenmektedir. Özellikle 2010 sonrasında hız kazanan bu eğilim, gelişmiş refah devleti uygulamalarının düşük doğurganlığı tek başına önlemede yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Literatürde bu durum; ebeveynliğin ertelenmesi, eğitim süresinin uzaması, bireyselleşme eğilimlerinin güçlenmesi, konut maliyetlerinin artması, ekonomik belirsizlikler ve iş-aile uyumunda yaşanan güçlüklerle açıklanmaktadır (Lesthaeghe, 2010, s. 223; Sobotka, 2017, ss. 17–19; OECD, 2024, ss. 22–35).

Benzer refah rejimi özelliklerine sahip olmalarına rağmen doğurganlık eğilimlerinde dönemsel farklılıklar göstermeleri, İsveç ve Danimarka'nın karşılaştırmalı olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Tablo 1. İsveç, Danimarka ve AB-27'de Toplam Doğurganlık Hızı (2000–2024)

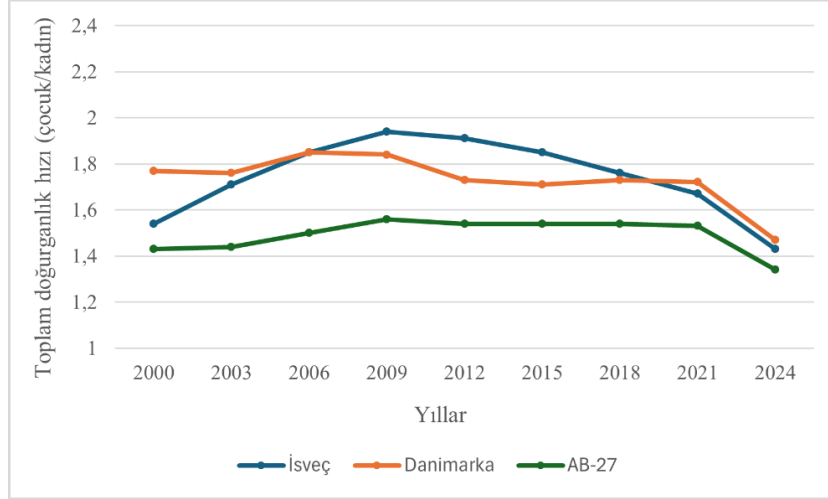
Yıllar	İsveç	Danimarka	AB-27
2000	1,54	1,77	1,43*
2005	1,77	1,80	1,47
2010	1,98	1,87	1,57
2015	1,85	1,71	1,54
2020	1,66	1,68	1,51
2024	1,43	1,47	1,34

Kaynak: Statistics Sweden (SCB) (2026), Statistics Denmark (2026a) ve Eurostat (2026) verilerinden yararlanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Not. Veriler toplam doğurganlık hızını (Total Fertility Rate [TFR]) göstermektedir. İsveç verileri Statistics Sweden (SCB), Danimarka verileri Statistics Denmark, AB-27 verileri ise Eurostat veri tabanından alınmıştır. 2000 yılı için AB-27 verisi bulunmadığından karşılaştırma amacıyla 2001 yılına ait değer kullanılmıştır.

Tablo 1'e göre İsveç ve Danimarka, incelenen dönemin tamamında Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde toplam doğurganlık hızına sahiptir. Her iki ülkede doğurganlık, 2000'li yılların başından 2010 yılına kadar yükselmiş, ardından belirgin biçimde gerilemiştir. İsveç'te toplam doğurganlık hızı 2000 yılında 1,54'ten 2010'da 1,98'e yükselirken, 2024'te 1,43'e düşmüştür. Danimarka'da ise aynı dönemde 1,77'den 1,87'ye yükselen toplam doğurganlık hızı, 2024'te 1,47 olarak gerçekleşmiştir. Bulgular, her iki ülkenin uzun yıllar Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde seyretmesine karşın son dönemde doğurganlıkta belirgin bir düşüş eğilimi sergilediğini ve bu gerilemenin İsveç'te daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Şekil 1. İsveç, Danimarka ve AB-27'de Toplam Doğurganlık Hızı (2000–2024)



Kaynak: Eurostat (2026) verilerinden yararlanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Not. 2000 yılı için AB-27 verisi bulunmadığından karşılaştırma amacıyla 2001 yılı değeri kullanılmıştır.

Şekil 1, her iki ülkede de doğurganlığın 2008–2010 döneminde en yüksek düzeye ulaştıktan sonra düzenli olarak gerilediğini göstermektedir. Her iki ülke Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde kalmayı sürdürse de doğurganlık düzeyi, nüfusun yenilenme eşiğinin oldukça altındadır.

Doğurganlıktaki dönüşümün daha ayrıntılı değerlendirilmesi amacıyla yaşa özgü doğurganlık örüntüleri incelenmiştir. Bu göstergeler, doğurganlığın yaş gruplarına dağılımını ve ebeveynliğin zamanlamasında meydana gelen değişimi ortaya koymaktadır.

Tablo 2. İsveç ve Danimarka'da Yaşa Özgü Doğurganlık Hızları, 2024

Yaş grubu	İsveç	Danimarka
15–19	1,48	1,09
20–24	24,36	18,08
25–29	80,28	85,58
30–34	106,79	116,67
35–39	59,64	59,53
40–44	14,22	12,96
45–49	1,26	0,92

Kaynak: Eurostat (2026), *Fertility rates by age (demo_frate)* veri tabanı esas alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Not. Yaşa özgü doğurganlık hızı (Age-Specific Fertility Rate [ASFR]), belirli bir yaş grubundaki 1.000 kadın başına düşen canlı doğum sayısını ifade etmektedir.

Tablo 2'ye göre her iki ülkede de doğurganlığın en yoğun olduğu yaş grubu 30–34'tür. Buna karşılık, 15–19 ve 20–24 yaş gruplarında doğurganlık oldukça düşüktür. Danimarka'da 25–34 yaş gruplarındaki doğurganlık düzeyi İsveç'e göre bir miktar daha yüksekken, İsveç'te 35 yaş ve üzerindeki doğurganlık hızları sınırlı ölçüde daha yüksektir. Genel yaş örüntüsü, çocuk sahibi olmanın giderek daha ileri yaşlara ertelendiğini göstermektedir.

İlk doğum yaşındaki artış da bu eğilimi desteklemektedir. Statistics Sweden verilerine göre ilk doğum yaşı 2023 yılında 30,4'e, Statistics Denmark verilerine göre ise 2024 yılında 30,3'e yükselmiştir (Statistics Sweden, 2024; Statistics Denmark, 2026b). Bu eğilim, eğitim süresinin uzaması, işgücü piyasasına geçişin gecikmesi ve aile kurma kararlarının ertelenmesiyle uyumludur (OECD, 2024, s. 23).

Sonuç olarak İsveç ve Danimarka, benzer refah devleti özelliklerine rağmen doğurganlık gerilemesinin şiddeti bakımından farklılaşmaktadır. Her iki ülkede de toplam doğurganlık hızının yenilenme düzeyinin altında seyretmesi, ilk doğum yaşının yükselmesi ve ebeveynliğin giderek daha ileri yaşlara ertelenmesi ortak demografik eğilimlerdir. Bulgular, düşük doğurganlığın yalnızca aile politikalarıyla değil, ekonomik belirsizlikler, toplumsal cinsiyet ilişkileri ve değişen yaşam tercihleri gibi çok boyutlu dinamiklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini

göstermektedir. Bu bulgular, izleyen bölümde ele alınan İskandinav refah devleti ve doğurganlık politikalarının karşılaştırmalı analizine demografik bir temel sağlamaktadır.

3.2. İskandinav Refah Devleti Modeli

İskandinav refah devleti modeli, karşılaştırmalı refah rejimi literatüründe sosyal demokrat refah rejiminin en gelişmiş örneği olarak kabul edilmektedir. Model; evrensellik ilkesi, vatandaşlık temelinde tanımlanan sosyal haklar, kapsamlı kamusal hizmetler ve gelir eşitsizliklerini azaltmayı amaçlayan yeniden dağıtım mekanizmalarıyla diğer refah rejimlerinden ayrılmaktadır. Bu anlayışta sosyal politika, yalnızca gelir kayıplarını telafi eden bir mekanizma değil, bireyleri yaşam döngüsü boyunca karşılaşılabilecekleri sosyal risklere karşı koruyan bütüncül bir refah sistemidir (Esping-Andersen, 1990, ss. 26–29; Korpi, 1983, ss. 184–193; Andersen, 2012, ss. 6–10).

İskandinav refah devletinin gelişiminde sosyal demokrat siyasal gelenek, güçlü sendikal örgütlenme ve yüksek kadın istihdamı belirleyici olmuştur. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında tam istihdam, gelir eşitliği ve kapsamlı sosyal güvenlik sistemi temel politika hedefleri hâline gelirken, kadınların işgücüne katılımını destekleyen düzenlemeler ile aile yaşamını kolaylaştıran sosyal hizmetler refah devletinin ayrılmaz unsurları olarak kurumsallaşmıştır (Korpi, 1983, ss. 193–199; Kautto & Kvist, 2002, ss. 190–195).

Sosyal demokrat refah rejimi; sosyal hakların evrenselliği, yaygın kamusal bakım hizmetleri, yüksek gelir yeniden dağıtımı ve iş-aile uyumunu destekleyen aile politikalarıyla liberal ve muhafazakâr refah rejimlerinden ayrılmaktadır. Bu özellikler, İsveç ve Danimarka'da aile ve doğurganlık politikalarının pronatalist uygulamalardan sosyal yatırım anlayışına yönelmesini sağlamıştır (Esping-Andersen, 1990; Andersen, 2012; Lewis, 2002). Bu çerçevede aile politikaları, nüfus artışı hedefleyen araçlardan ziyade iş ve aile yaşamı arasındaki dengeyi güçlendirmeyi amaçlayan sosyal yatırım politikaları olarak şekillenmiştir. Ebeveyn izinleri, yaygın çocuk bakım hizmetleri, gelir destekleri ve kadın istihdamını destekleyen düzenlemeler bu yaklaşımın başlıca araçlarıdır. Böylece çocuk sahibi olmanın maliyeti azaltılmakta, ebeveynlerin istihdamla bağları korunmakta ve toplumsal cinsiyet eşitliği desteklenmektedir (Thévenon, 2011, ss. 58–60, 66–69; Ferragina, Seeleib-Kaiser, & Tomlinson, 2013, ss. 2–3).

Esping-Andersen'e (1990) göre sosyal demokrat refah rejiminin temel özelliklerinden biri, bireylerin refahını piyasa gelirine bağımlı olmaktan çıkaran yüksek düzeyde metalaşmadan arındırma (*decommodification*) sağlamasıdır. Bakım hizmetlerinin kamusal sorumluluk olarak örgütlenmesi (*defamilialization*), kadınların işgücüne katılımını destekleyen ve aile içi bakım yükünü azaltan temel kurumsal mekanizmalardan biridir (Esping-Andersen, 1990; Andersen, 2012, ss. 11–12). Bu nedenle çocuk bakım hizmetleri, yalnızca sosyal koruma sağlayan uygulamalar değil, aynı zamanda iş-aile uyumunu kolaylaştıran ve sürdürülebilir doğurganlığı destekleyen politika araçları olarak değerlendirilmektedir (Esping-Andersen, 2009, ss. 110–111).

Bu modelde aile politikaları, ebeveyn izinleri, çocuk bakım hizmetleri ve gelir desteklerinden oluşan bütüncül politika paketleriyle aile kurma ve çocuk sahibi olma kararlarını çalışma yaşamıyla uyumlu hâle getirmeyi amaçlamaktadır (Gauthier, 2007, ss. 323–327; Thévenon, 2011, ss. 58–60, 66–69). Ancak son yıllarda doğurganlık oranlarında gözlenen gerileme, güçlü refah devleti kurumlarının tek başına yüksek doğurganlık düzeylerini sürdürmeye yeterli olmadığını göstermektedir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, İsveç ve Danimarka'nın 2000–2024 dönemindeki doğurganlık eğilimleri, İskandinav refah devleti modeli bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bulgular, her iki ülkenin uzun yıllar Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde doğurganlık düzeylerini korumasına rağmen, özellikle 2010 sonrasında belirgin bir gerileme yaşadığını göstermektedir. İsveç ve Danimarka'da toplam doğurganlık hızının yenilenme düzeyinin altında seyretmesi, düşük doğurganlığın yalnızca gelişmekte olan ülkelerde değil, kapsamlı sosyal politika sistemlerine sahip gelişmiş refah devletlerinde de kalıcı bir demografik dönüşüm hâline geldiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçları, her iki ülkede de doğurganlık davranışlarının zamanlamasında önemli bir değişim yaşandığını göstermektedir. İlk doğum yaşının yükselmesi ve doğurganlığın giderek 30–34 yaş grubunda yoğunlaşması, bireylerin eğitim, çalışma yaşamı, ekonomik koşullar ve değişen yaşam tercihleri doğrultusunda ebeveynliği daha ileri yaşlara ertelediğine işaret etmektedir. Bu durum, düşük doğurganlığın yalnızca doğum sayısındaki azalma olarak değil, aynı zamanda aile kurma ve çocuk sahibi olma zamanlamasındaki dönüşümün bir göstergesi olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

İsveç ve Danimarka'nın karşılaştırmalı analizi, benzer refah devleti özelliklerine sahip olmalarına rağmen doğurganlık gerilemesinin düzeyi ve zamanlaması açısından farklılıklar taşıdığını göstermektedir. Her iki ülke de çalışma döneminin büyük bölümünde Avrupa Birliği ortalamasının üzerinde doğurganlık düzeylerine sahip olmuş;

ancak son yıllarda bu avantaj önemli ölçüde azalmıştır. Bu eğilim, güçlü refah devleti kurumlarının aile yaşamını destekleyen önemli koşullar oluşturmalarına rağmen, düşük doğurganlık üzerinde etkili olan ekonomik, toplumsal ve demografik değişimleri tek başına ortadan kaldıramadığını göstermektedir.

Doğurganlıkta gözlenen bu gerileme, uzun vadede refah devletlerinin sürdürülebilirliği açısından önemli sonuçlar doğurma potansiyeline sahiptir. Çalışma çağındaki nüfusun daralması ve yaşlı nüfusun artması, sosyal güvenlik sistemlerinin finansmanı ile sağlık ve uzun dönemli bakım hizmetlerine yönelik kamu harcamalarını artırırken, işgücü piyasasının sürdürülebilirliği üzerinde de baskı oluşturabilmektedir. Bu nedenle düşük doğurganlık, yalnızca demografik bir eğilim olarak değil, refah devletlerinin mali ve kurumsal sürdürülebilirliğini etkileyen temel sosyal politika sorunlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak düşük doğurganlık, ekonomik koşullar, toplumsal normlar, aile kurma biçimleri ve kurumsal yapıların karşılıklı etkileşimiyle şekillenen çok boyutlu bir süreçtir. İsveç ve Danimarka örnekleri, gelişmiş refah devleti modellerinin nüfus değişimlerine karşı belirli ölçüde koruyucu bir rol oynayabildiğini; ancak yaşlanan nüfus, çalışma çağındaki nüfusun daralması ve sosyal güvenlik sistemlerinin sürdürülebilirliği gibi uzun dönemli demografik sorunları tek başına ortadan kaldıramadığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Andersen, J. G. (2012). *Welfare states and welfare state theory*. Centre for Comparative Welfare Studies, Department of Political Science and Public Management, Aalborg University.
- Esping-Andersen, G. (1990). *The three worlds of welfare capitalism*. Princeton University Press.
- Esping-Andersen, G. (2009). *The incomplete revolution: Adapting welfare states to women's new roles*. Polity Press.
- European Commission. (2023). *The impact of demographic change – in a changing environment* (SWD(2023) 21 final). Publications Office of the European Union.
- Eurostat. (2026). *Fertility indicators (demo_find)* [Data set]. European Commission. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/>
- Ferragina, E., Seeleib-Kaiser, M., & Tomlinson, M. (2013). Unemployment protection and family policy at the turn of the 21st century: A dynamic approach to welfare regime theory. *Social Policy & Administration*, 47(7), 783–805. <https://doi.org/10.1111/spol.12018>
- Gauthier, A. H. (2007). The impact of family policies on fertility in industrialized countries: A review of the literature. *Population Research and Policy Review*, 26(3), 323–346. <https://doi.org/10.1007/s11113-007-9033-x>
- Kautto, M., & Kvist, J. (2002). Nordic welfare states in the European context. *Global Social Policy*, 2(2), 189–208. <https://doi.org/10.1177/146801810200200202>
- Korpi, W. (1983). *The democratic class struggle*. Routledge & Kegan Paul.
- Lesthaeghe, R. (2010). The unfolding story of the second demographic transition. *Population and Development Review*, 36(2), 211–251. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2010.00328.x>
- Lewis, J. (2002). Gender and welfare state change. *European Societies*, 4(4), 331–357. <https://doi.org/10.1080/1461669022000022324>
- OECD. (2024). *Society at a Glance 2024: OECD social indicators*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/918d8db3-en>
- Reher, D. S. (2011). Economic and social implications of the demographic transition. *Population and Development Review*, 37(S1), 11–33.
- Sobotka, T. (2017). Childlessness in Europe: Reconstructing long-term trends among women born in 1900–1972. In M. Kreyenfeld & D. Konietzka (Eds.), *Childlessness in Europe: Contexts, causes, and consequences* (pp. 17–53). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44667-7_2
- Sobotka, T., Matysiak, A., & Brzozowska, Z. (2019). *Policy responses to low fertility: How effective are they?* United Nations Population Fund (UNFPA).

- Statistics Denmark. (2026a). *Fertility (FOD11): Total fertility rate by time* [Data set]. StatBank Denmark. <https://www.statbank.dk/>
- Statistics Denmark. (2026b). *Average age of women giving birth and new fathers by region, age and time* [Data set]. StatBank Denmark. <https://www.statbank.dk/>
- Statistics Sweden. (2024). *Women and men in Sweden 2024*. <https://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/population-and-living-conditions/gender-statistics/gender-statistics/pong/publications/women-and-men-in-sweden-2024/>
- Statistics Sweden. (2026). *Total fertility rate by region and sex. Year 2000–2024* [Data set]. Statistics Sweden Statistical Database. <https://www.statistikdatabasen.scb.se/goto/en/ssd/FruktsamhetSum>
- Thévenon, O. (2011). Family policies in OECD countries: A comparative analysis. *Population and Development Review*, 37(1), 57–87. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2011.00390.x>
- United Nations. (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results* (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9). United Nations.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2024). *World Population Prospects 2024 Data Portal* [Data set]. United Nations. <https://population.un.org/wpp/>
- Van de Kaa, D. J. (2002). *The idea of a second demographic transition in industrialized countries* [Paper presentation]. Sixth Welfare Policy Seminar of the National Institute of Population and Social Security, Tokyo, Japan.

ORCID: 0000-0002-9546-980X | 0000-0002-8796-9679 | 0000-0002-6168-4851 | 0009-0009-4598-0827 | 0009-0008-3473-9491

Mikromodal Dokuma Kumaşlarda İplik Eğirme Sistemi Ve Ön Terbiye İşleminin Kumaş Performansı Üzerindeki Etkisi

Dr. Yasemin Dulek^{*1}, Prof. Dr. Cem Gunesoglu², Researcher Bugce Sevinc¹, Researcher Hatice Salar¹,
Researcher Ipek Yildiran¹

¹ S.Y.K. Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi
² Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği

* Corresponding Author: Yasemin Dulek
yasemindulek@sykteks.com

ÖZET

Uygun fiyatlı ve yüksek kaliteli giyim kumaşlarına olan artan talep, alternatif iplik eğirme teknolojileri arayışını hızlandırmıştır. Vorteks iplik eğirme, yüksek üretim hızı, düşük tüylenme ve düşük üretim maliyeti gibi avantajlar sunsa da, nispeten zayıf tuşe özellikleri giyim kumaşlarında kullanımını sınırlamaktadır. Bu çalışmada, 20 Ne mikromodal ring ve vorteks eğirme ipliklerinden üretilen dokuma kumaşlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kumaşların tuşe özelliklerini iyileştirmek için, iki farklı konsantrasyonda (3 ve 5 g/L) ve işlem sürelerinde (60 ve 90 dk) ön işlem uygulanmıştır. Kumaşlar daha sonra dispers ve reaktif boyalar kullanılarak boyanmış ve yumuşak apre işlemine tabi tutulmuştur. Kumaş performansı ilgili ISO, EN ISO ve ASTM standartlarına göre renk özellikleri, renk haslığı, kopma mukavemeti, dikiş kayması, boncuklanma, eğilme uzunluğu, ıslanabilirlik ve termal konfor açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ring eğirme yöntemiyle üretilen kumaşların daha yüksek kopma mukavemetine sahip olduğunu, vorteks eğirme yöntemiyle üretilen kumaşların ise daha yüksek renk verimi ve daha düzgün bir kumaş yüzeyi sağladığını göstermiştir. Ayrıca, optimize edilmiş ön işlem, vorteks eğirme yöntemiyle üretilen kumaşların eğilme dayanımını önemli ölçüde azaltarak, ring eğirme yöntemiyle üretilen kumaşlara yaklaşan daha yumuşak bir tuşe sağlamıştır. Tüm kumaş örneklerinde yüksek renk haslığı ve karşılaştırılabilir termal konfor özellikleri elde edilmiştir. Bulgular, uygun ön işlemin, vorteks eğirme yöntemiyle üretilen mikromodal dokuma kumaşların ekonomik avantajlarını korurken, tuşe performansını etkili bir şekilde iyileştirebileceğini ve bu nedenle giyim uygulamaları için umut vadeden bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: mikromodal, vorteks, ring, ön işlem, eğilme rijitliği

The Effect of Yarn Spinning System and Pre-Treatment Process on the Fabric Performance of Micromodal Woven Fabrics

ABSTRACT

The increasing demand for affordable and high-quality apparel fabrics has accelerated the search for alternative yarn spinning technologies. While vortex spinning offers advantages such as high production speed, low pilling and low production cost, its relatively poor feel properties limit its use in apparel fabrics. In this study, woven fabrics produced from Ne 20 micromodal ring-spun and vortex-spun yarns were comparatively investigated. To improve the handle properties of the fabrics, pretreatment was applied at two different concentrations (3 and 5 g/L) and treatment times (60 and 90 min). The fabrics were then dyed using disperse and reactive dyes and subjected to soft finishing treatment. Fabric performance was evaluated in terms of color properties, color fastness, tensile strength, seam slippage, pilling, bending rigidity, wettability and thermal comfort according to relevant ISO, EN ISO and ASTM standards. The results showed that fabrics produced by ring spinning had higher tensile strength, while fabrics produced by vortex spinning provided higher color yield and a smoother fabric surface. Furthermore, optimized pretreatment significantly reduced the bending rigidity of vortex-spinning fabrics, resulting in a softer touch approaching that of ring-spinning fabrics. All fabric samples exhibited high color fastness and comparable thermal comfort properties. The findings suggest that appropriate pretreatment can effectively improve the woven performance of vortex-spinning micromodal woven fabrics while maintaining their economic advantages, thus making them a promising alternative for apparel applications.

Keywords: micromodal, vortex, ring, pre-treatment, bending rigidity

1. INTRODUCTION

Regenerated cellulosic fibers have gained increasing attention in apparel textiles due to their favorable comfort, softness and moisture management properties. Among these fibers, modal and micro modal are widely used in next-to-skin and high-quality clothing products because of their smooth surface, fine fiber structure, high moisture regain and soft handle. Micro modal fibers, owing to their finer linear density compared with conventional modal fibers, can provide a smoother fabric surface and improved sensorial comfort. Therefore, they are increasingly preferred in lightweight woven and knitted fabrics where softness, drape and comfort are key quality requirements. Previous studies have demonstrated that fiber fineness, yarn structure and spinning technology significantly influence the mechanical, physical and comfort properties of modal-based textile products (Özdemir, 2009; Erdumlu et al., 2009; Erdumlu et al., 2012; Rameshkumar et al., 2008; Kılıç & Okur, 2011; Kostajnshek & Dimitrovski, 2016; Dağdeviren & Erbil, 2022; Ghalebi et al., 2024; Skenderi et al., 2019; Tomljenović et al., 2023).

Ring spinning is the most conventional and widely used yarn production system for high-quality apparel fabrics. In ring-spun yarns, fibers are arranged in a helical structure around the yarn axis, leading to high fiber cohesion, good tensile strength and favorable fabric handle. Due to these characteristics, ring-spun yarns are generally preferred for premium fabrics requiring good softness, strength and surface quality. However, ring spinning has disadvantages such as relatively low production speed, higher energy consumption and higher production cost compared with newer spinning technologies (Rameshkumar et al., 2008; Erdumlu et al., 2009; Kılıç & Okur, 2011).

Vortex spinning, developed from air-jet spinning technology, has become an important alternative to ring spinning because of its high production speed, reduced hairiness and lower production cost. In vortex-spun yarns, the core fibers are mainly aligned parallel to the yarn axis, while wrapper fibers surround the yarn surface. This core-wrapper structure provides lower hairiness, better abrasion resistance and improved pilling behavior compared with conventional yarns (Basal & Oxenham, 2003; Erdumlu et al., 2009; Erdumlu et al., 2012). Vortex spinning can reach very high production speeds, making it attractive for industrial-scale apparel fabric production.

Despite these advantages, vortex-spun yarns generally show lower tensile strength and elongation than ring-spun yarns because of their lower fiber migration and different fiber arrangement. This limitation may negatively influence fabric strength and handle properties. Several studies have reported that ring-spun yarns and fabrics generally exhibit superior tensile behavior, while vortex-spun yarns provide advantages in terms of low hairiness, pilling resistance and surface regularity (Erdumlu et al., 2009; Kılıç & Okur, 2011; Kostajnshek & Dimitrovski, 2016). In woven fabrics, the use of vortex yarns may improve surface durability; however, a firmer or harsher handle may be observed compared with fabrics produced from ring-spun yarns.

Fabric hand is one of the most important quality parameters for apparel textiles because it directly affects consumer perception, wearing comfort and product value. Fabric hand is influenced by fiber type, yarn structure, weave construction, fabric weight and finishing processes. Bending rigidity is one of the objective parameters used to evaluate fabric hand; lower bending rigidity generally indicates a softer and more flexible fabric structure. For this reason, improving the handle properties of vortex-spun fabrics is an important research topic, especially for regenerated cellulosic fabrics where softness is a major expectation.

Finishing processes play a critical role in modifying the surface and mechanical behavior of fabrics. Pretreatment and soft finishing treatments may reduce inter-fiber friction, relax the fabric structure and improve fabric softness. However, these processes should not negatively affect tensile strength, color fastness, dimensional stability or thermal comfort. In the case of micro modal fabrics, process optimization is especially important because the fine fiber structure can be sensitive to chemical and mechanical treatments.

The literature contains many studies comparing ring, rotor, compact and vortex spinning systems in terms of yarn and fabric properties (Basal & Oxenham, 2003; Rameshkumar et al., 2008; Erdumlu et al., 2009; Erdumlu, 2011; Erdumlu et al., 2012; Özdemir, 2009; Ortlek et al., 2010; Kılıç & Okur, 2011; Dağdeviren & Erbil, 2022; Kostajnshek & Dimitrovski, 2016; Repon et al., 2021; Ghalebi et al., 2024). However, most of these studies focus on yarn properties, knitted fabrics, cotton, viscose or blended yarns. Limited research has been conducted on micro modal woven fabrics produced from ring- and vortex-spun yarns. Moreover, studies focusing on improving the handle disadvantage of vortex-spun micro modal woven fabrics through optimized pretreatment processes are very limited.

Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of spinning system and finishing parameters on the mechanical, color, wettability, thermal and handle properties of micro modal woven fabrics. For this purpose,

woven fabrics were produced using 20 Ne micro modal ring- and vortex-spun yarns as weft yarns and recycled polyester monofilament yarn as warp yarn. The fabrics were subjected to modal pretreatment at different concentrations and treatment times, followed by dyeing and soft finishing treatment. The study mainly aimed to determine whether the handle properties of vortex-spun micro modal fabrics could be improved without compromising their mechanical, color and comfort performance.

This study contributes to the literature by demonstrating that the handle disadvantage commonly associated with vortex-spun micro modal fabrics can be minimized through appropriate pretreatment conditions. Thus, vortex spinning may become a more feasible alternative to ring spinning for cost-effective, high-quality woven apparel fabrics.

2.METHODOLOGY

In this study, a woven fabric construction was selected for all experimental studies to eliminate the influence of fabric structure on performance. The fabrics were woven in a 2/1 twill weave using Denier 20 recycled polyester monofilament yarn as the warp yarn and Ne 20 Ne micromodal ring-spun or vortex-spun yarns as the weft yarn. The nominal fabric composition was 89% Modal 11% Recycled Polyester. Using a single fabric construction enabled the effects of yarn spinning technology and finishing parameters to be evaluated independently without the influence of weave pattern or fabric density. Woven fabric structural properties are given in Table 1.

Table 1. Woven Fabric Structural Properties

	Micromodal Ring (R)	Micromodal Vortex (V)
Composition	89% Modal 11% Recycled Polyester	
Warp Yarn	Denier 20 Recycled Polyester	
Weft Yarn	Ne 20 Micromodal Ring	Ne 20 Micromodal Vortex
Warp Density	51 thread/cm	
Weft Density	32 pick/cm	
Weave Type	Twill 2/1	

Following weaving, all fabric samples were subjected to identical wet processing conditions. Initially, a modal pretreatment was carried out to improve the softness and handle properties of the fabrics. Two pretreatment concentrations (a mixture of organic and inorganic acids) (3 and 5 g/L) and two treatment durations (60 and 90 min) were investigated. After pretreatment, the fabrics were dyed using a conventional two-stage dyeing process. The polyester component was first dyed with disperse dyes, followed by reactive dyeing of the micro modal component. Subsequently, all the dyed fabrics were treated with a soft finish to improve the fabric handle.

The physical, mechanical, color and comfort properties of the woven fabrics were evaluated according to internationally recognized textile testing standards. Prior to testing, all specimens were conditioned under standard atmospheric conditions ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ and $65 \pm 4\%$ relative humidity) for at least 24 h. The applied test methods are summarized in Table 2.

Table 2. Test Standards and Devices

Test Name	Standard Name
Fabric Weigh	TS 251
Tensile strength	TS EN ISO 13934-2
Seam slippage	TS EN ISO 13936-2
Pilling resistance	TS EN ISO 12945-2
Color fastness to washing	TS EN ISO 105-C06
Color fastness to water	TS EN ISO 105-E01
Color fastness to perspiration	TS EN ISO 105-E04
Color fastness to rubbing	TS EN ISO 105-X12
Color measurement	Datacolor Spectrophotometer (D65 illuminant, 10° observer)
Hydrophilicity/Wettability	DIN 53924
Fabric stiffness/Bending Rigidity	ASTM D1388
Thermal properties	Alambeta instrument (Sensora, Czech Republic)

To investigate the combined effects of spinning technology and finishing conditions, woven fabrics produced from ring-spun and vortex-spun micro modal yarns were subjected to three different modal pretreatment conditions prior to dyeing and soft finishing. The experimental variables are presented in Table 3.

Table 3. Experimental Design

Sample Code	Spinning Type	Pre-treatment Concentration	Pre-treatment Time
R-3-60	Ring	3 g/L	60 min
R-3-90	Ring	3 g/L	90 min
R-5-60	Ring	5 g/L	60 min
V-3-60	Vortex	3 g/L	60 min
V-3-90	Vortex	3 g/L	90 min
V-5-60	Vortex	5 g/L	60 min

3.RESULT AND DISCUSSION

The CIELab color coordinates and color yield (K/S) values of the ring-spun and vortex-spun micro modal woven fabrics after different pretreatment conditions are presented in Table 4. Both spinning systems produced dark and homogeneous shades after the disperse/reactive dyeing process. Although only minor variations were observed in the L*, a* and b* coordinates, the vortex-spun fabrics generally exhibited slightly higher K/S values than the ring-spun fabrics. This finding indicates a higher apparent color yield, which may be attributed to the smoother yarn surface and lower hairiness of vortex-spun yarns. The compact yarn structure reduces diffuse light reflection from protruding fibers, resulting in a darker visual appearance and increased color depth. The modal pretreatment concentration and treatment duration had only a limited influence on the color coordinates. However, samples treated for 90 min tended to exhibit slightly higher color depth than those treated for 60 min, suggesting that longer pretreatment may improve dye accessibility by promoting a more uniform fiber surface. These observations are consistent with the findings of Özdemir (2009) and Ortlek et al. (2010), who reported that vortex-spun yarns generally exhibit higher color yield than ring-spun yarns because of their lower surface hairiness and more regular yarn structure.

Table 4. CIELab Color Coordinates and Color Yield (K/S) Test Results

Sample Code	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE_{CMC}	K/S
R-3-60	14,88	0,18	-1,72	1,73	275,90	Standard	28,77
R-3-90	13,78	-0,08	-2,23	2,23	267,85	Standard	32,79
R-5-60	14,96	0,25	-1,20	1,23	281,97	Standard	27,42
V-3-60	14,37	0,25	-1,80	1,82	277,93	0,52	29,87
V-3-90	15,57	-0,17	-2,18	2,19	265,43	0,88	27,10
V-5-60	14,09	0,31	-1,31	1,35	283,41	1,79	30,06

The washing, water, perspiration and rubbing fastness values of the woven fabrics are presented in Tables 5 and 6. All fabric samples exhibited excellent washing, water and perspiration fastness ratings (Grade 4–5), regardless of spinning system or pretreatment condition. These results indicate that the applied dyeing process provided effective dye fixation for both ring- and vortex-spun fabrics. In contrast, dry rubbing fastness showed slightly lower ratings, ranging from Grade 3 to Grade 4. The ring-spun fabrics generally exhibited rubbing fastness values of 3–4 and 4, whereas the vortex-spun fabrics showed slightly lower ratings in some cases, particularly for sample V-3-60, which exhibited Grade 3 in both warp and weft directions. This behavior may be associated with differences in yarn structure and the amount of loosely bound dye remaining on the fabric surface after dyeing. Although slight differences were observed between the spinning systems, the rubbing fastness values remained within an acceptable range for apparel fabrics.

Table 5. Washing and Water Color Fastness Test Results

Sample Code	Washing Fastness							Water Fastness						
	Staining						Color Change	Staining						Color Change
	Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool	
R-3-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R-3-90	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
R-5-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
V-3-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
V-3-90	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
V-5-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

Table 6. Perspiration and Rubbing Color Fastness Test Results

Sample Code	Acidic Perspiration Fastness							Alkaline Perspiration Fastness							Rubbing Fastness	
	Staining						Color Change	Staining						Color Change	Dry	
	Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Acetate	Cotton	Polyamid	Polyester	Acrylic	Wool		Weft	Warp
R-3-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	3-4
R-3-90	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4
R-5-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4
V-3-60	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3	3
V-3-90	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	3-4
V-5-60	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4

The tensile strength, seam slippage and pilling resistance values of the woven fabrics are presented in Table 7. The ring-spun fabrics exhibited higher tensile strength than the vortex-spun fabrics under all processing conditions. This result can be attributed to the higher fiber migration and stronger fiber cohesion in ring-spun yarns. Nevertheless, the tensile strength of the vortex-spun fabrics remained within acceptable limits for apparel applications, indicating that the modal pretreatment did not significantly weaken the fabric structure. The seam slippage results showed that all fabric samples exhibited satisfactory seam performance. Furthermore, the applied pretreatment did not adversely affect yarn mobility or fabric stability. The pilling resistance results were found to be comparable for both ring- and vortex-spun fabrics, indicating that the spinning system had no significant influence on pill formation under the applied processing conditions. All samples achieved commercially acceptable pilling grades, demonstrating that the modal pretreatment preserved the surface durability of the fabrics.

Table 7. Mechanical Properties and Bending Rigidity Test Results

Sample Code	Mass per unit area (gsm)	Pilling Resistance		Seam Slippage (mm)		Tensile Strength (N)		Total Bending Rigidity ($\mu\text{N.m}$)
		Face	Back	Weft	Warp	Weft	Warp	
R-3-60	148,0	4--5	4--5	2,56	3,22	395,73	230,90	134,55
R-3-90	149,0	4--5	4--5	3,02	3,66	357,39	238,13	73,20
R-5-60	144,0	4--5	4--5	2,71	4,64	374,89	233,88	75,49
V-3-60	153,0	4--5	4--5	2,60	3,16	375,62	256,75	118,52
V-3-90	147,0	4--5	4--5	2,58	2,59	393,45	228,62	113,41
V-5-60	142,0	4--5	4--5	2,46	4,24	361,55	242,86	67,83

The fabric handle properties, expressed as bending rigidity according to ASTM D1388, are presented in Table 7. The results showed that the modal pretreatment significantly reduced the bending rigidity of both ring-spun and vortex-spun fabrics, resulting in a softer fabric handle. This improvement can be attributed to the reduction of inter-fiber friction and the increased flexibility of the yarn structure after finishing. Although the ring-spun fabrics generally exhibited lower bending rigidity values than the vortex-spun fabrics, the differences between the two spinning systems became considerably smaller after the finishing process. Among the investigated pretreatment conditions, longer treatment time generally resulted in improved handle properties, indicating that treatment duration had a greater influence than chemical concentration. These findings demonstrate that the developed finishing sequence effectively improved the handle performance of vortex-spun micro modal fabrics, enabling them to approach the softness of conventional ring-spun fabrics.

The hydrophilicity results, determined according to DIN 53924, are presented in Table 8. All fabric samples exhibited good wettability due to the inherently hydrophilic nature of micro modal fibers. Only slight differences were observed between the ring-spun and vortex-spun fabrics, indicating that the spinning system had a limited influence on the water absorption behaviour. The modal pretreatment did not negatively affect the wettability of the fabrics. The results suggest that the applied finishing process preserved the moisture management properties of the micro modal fibers, which is particularly important for apparel fabrics intended to provide high wearing comfort.

Table 8. Weft Direction Hydrophilicity Test Results (as Wetting Height) (cm)

Time (minute)	R-3-60	R-3-90	R-5-60	V-3-60	V-3-90	V-5-60
2 min	4,93	4,70	4,53	4,93	4,60	4,73
5 min	6,20	6,07	5,70	6,23	5,70	5,83
10 min	7,17	7,07	6,50	7,27	6,70	6,87

15 min	8,00	7,83	7,20	7,93	7,47	7,50
20 min	8,67	8,40	7,77	8,33	7,97	8,00
25 min	9,13	8,77	8,13	8,77	8,30	8,37
30 min	9,43	9,10	8,43	9,17	8,63	8,63

The thermal comfort properties of the woven fabrics were evaluated using an Alambeta thermal properties tester, and the results are presented in Table 9. The thermal conductivity, thermal diffusivity and thermal absorptivity values of the ring-spun and vortex-spun fabrics were found to be very similar, indicating that the spinning system had no significant influence on thermal comfort under the investigated conditions. Furthermore, the modal pretreatment did not adversely affect the thermal characteristics of the fabrics. These results indicate that the optimized finishing process successfully improved fabric handle while maintaining the thermal comfort properties of the woven fabrics.

Table 9. Thermal Comfort Test Results

Sample Code	Thermal Conductivity - $(\lambda) - (W/mK) \times 10^{-3}$	Thermal Diffusivity - (a) - $(m^2/s) \times 10^{-6}$	Thermal Absorptivity - (b) - $(W.s^{1/2}/m^2K)$	Thermal Resistance - (r) - $(Km^2/W) \times 10^{-3}$	Maximum heat flow - (qm) - (W/m^2)
R-3-60	24,70	0,006	325,10	12,50	508,23
R-3-90	21,57	0,004	334,47	11,83	507,50
R-5-60	21,53	0,004	327,50	11,70	506,30
V-3-60	24,70	0,006	325,10	12,50	508,23
V-3-90	22,97	0,005	334,57	12,40	496,43
V-5-60	22,47	0,004	332,10	12,40	507,73

4.CONCLUSION

This study investigated the effects of ring and vortex spinning systems on the mechanical, color, thermal and handle properties of micro modal woven fabrics subjected to different modal pretreatment conditions. The results demonstrated that the spinning system significantly influenced the mechanical performance of the fabrics. Ring-spun fabrics exhibited higher tensile strength, whereas both spinning systems showed comparable seam slippage and pilling resistance. The color measurements indicated that vortex-spun fabrics generally provided slightly higher color yield, while all fabric samples exhibited excellent color fastness properties regardless of the spinning system.

One of the most important findings of this study was the improvement in fabric handle through process optimization. The combination of modal pretreatment effectively reduced the bending rigidity of the fabrics, enabling the handle characteristics of vortex-spun fabrics to approach those of ring-spun fabrics without negatively affecting their mechanical, color or thermal performance. In addition, both ring-spun and vortex-spun fabrics exhibited similar wettability and thermal comfort properties, indicating that the pretreatment process preserved the inherent comfort characteristics of micro modal fibers.

Overall, the findings demonstrate that vortex spinning, combined with an optimized finishing process, can be considered a promising alternative to conventional ring spinning for woven apparel fabrics. The developed process offers the potential to reduce production costs while maintaining satisfactory fabric quality and comfort performance. Furthermore, the results provide valuable technical knowledge for the development of cost-effective, high-value woven fabrics and may serve as a basis for future studies on different fiber blends and sustainable finishing technologies.

Future studies should investigate the effects of different fiber blends, eco-friendly finishing chemicals and alternative soft finishing techniques on the handle and comfort properties of vortex-spun woven fabrics. In addition, evaluating the long-term durability of these fabrics after repeated laundering and wear would provide valuable information for their industrial application.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported under Project No: PR-02-25-SYK-00 by SYK Textile R&D Center affiliates Ministry of Industry and Technology, The Republic of Türkiye.

5.REFERENCES

- BASAL, G. and OXENHAM, W. (2003). "Vortex Spun Yarn and Air-Jet Spun Yarn", *AUTEX Research Journal*, 3(3), 96-101.
- DAĞDEVİREN, M. and ERBİL, Y. (2022). "Investigation of the Properties of Selected Blended Yarns Produced By Air-Jet (Vortex) Spinning Technology", *Çukurova University Journal of Natural and Applied Sciences*, 1(1), 21-30.

- ERDUMLU, N. (2011). "An Approach to Investigate the Spinnability of Fine Count Yarns on Vortex Spinning System", Ph.D. Dissertation, İstanbul Technical University, Graduate School of Science, İstanbul, Türkiye.
- ERDUMLU, N., ÖZİPEK, B., OZTUNA, A.S. and ÇETİNKAYA, S. (2009). "Investigation of Vortex Spun Yarn Properties in Comparison with Conventional Ring and Open-End Rotor Spun Yarns", *Textile Research Journal*, 79(7), 585–595.
- ERDUMLU, N., ÖZİPEK, B. and OXENHAM, W. (2012). "Vortex Spinning Technology", *Textile Progress*, 44(3–4), 141–174.
- GHALEBI, B., IRANNEJAD, F., FATHI, E. and SHANBEH, M. (2024). "Statistical Analysis of the Effect of Viscose Air-Jet Spun Yarn Process Variables on Tensile Properties of Plied Yarns Based on Taguchi Method", *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19, 1–12.
- KILIÇ, M. and OKUR, A. (2011). "The Properties of Cotton-Tencel and Cotton-Promodal Blended Yarns Spun in Different Spinning Systems", *Textile Research Journal*, 81(2), 156–172.
- KOSTAJNŠEK, K. and DIMITROVSKI, K. (2016). "Comparative Study on the Properties of Vortex and Ring Spun Yarns and the Properties of Woven Fabrics Containing those Yarns in Weft", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24(2), 59–65.
- ORTLEK, H.G., TUTAK, M. and YOLACAN, G. (2010). "Assessing Colour Differences of Viscose Fabrics Knitted from Vortex-, Ring- and Open-End Rotor-Spun Yarns after Abrasion", *Journal of the Textile Institute*, 101(4), 310–314.
- ÖZDEMİR, H. (2009). "Investigation of the Physical Properties and Package Dyeing Performance of Yarns Produced by Different Spinning Systems", Ph.D. Dissertation, Çukurova University, Adana, Türkiye.
- RAMESHKUMAR, C., ANANDKUMAR, P., SENTHILNATHAN, P., JEEVITHA, R. and ANBUMANI, N. (2008). "Comparative Studies on Ring, Rotor and Vortex Yarn Knitted Fabrics", *AUTEX Research Journal*, 8(4), 100–105.
- REPOŃ, M.R., ISLAM, M.T., RAHMAN, M.M., MALEK, M.A. and JALIL, M.A. (2021). Characterisation of CVC Yarn with Different Drafting Ratios in Vortex Spinning", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 29(6), 54–58.
- SKENDERI, Z., KOPITAR, D., RAZIK, S.E. and IVEKOVIC, G. (2019). "Study on Physical-Mechanical Parameters of Ring, Rotor and Vortex Spun Modal and Micro Modal Yarns", *Tekstilec*, 62(1), 42–53.
- TOMLJENović, A., ŽIVIČNJAK, J. and MIHALJEVIĆ, I. (2023). "Usage Durability and Comfort Properties of Socks Made from Differently Spun Modal and Micro Modal Yarns", *Materials*, 16(4), 1684.

ORCID: 0009-0004-9403-2819

Methodological Trends In Music Research In Turkey: An Examination Of Conservatory Graduate Theses

Dr. Ahmet Kerim Acar^{*1}¹ Milli Savunma Bakanlığı* Corresponding Author: Ahmet Kerim Acar
ahmet.kerim.acar.sb@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this study is to identify the research methods and techniques preferred in graduate theses produced at conservatories in Turkey and to reveal the methodological trends in the field. The study was designed as a survey model, and document analysis, a qualitative research method, was adopted for data collection. The sample was determined through criterion sampling and consists of 16 master's and proficiency in art theses completed between 2023 and 2026 at the conservatories of four Turkish universities and made accessible in full text through the Council of Higher Education National Thesis Center. The theses were coded through a Thesis Classification Form developed by the researcher in terms of research approach, research design, data collection technique, sampling method, data analysis technique, and subject area; the findings were analyzed using descriptive statistics. The findings show that the approach actually applied in the theses is almost entirely qualitative (93.8%), that no thesis exhibits a quantitative approach, and that only one thesis approximates a mixed method. However, 68.8% of the theses do not declare their approach and 81.3% do not declare their design. Although five theses actually conduct practice-based/artistic research, none of them identifies itself in these terms. Consequently, qualitative dominance is not a conscious paradigmatic positioning but an unnamed default condition. The study offers recommendations for strengthening research methods education in conservatory graduate programs and for developing a field-specific methodological framework.

Keywords: Music research, research methods, conservatory, graduate theses, document analysis.

Türkiye’de Müzik Araştırmalarında Yöntem Eğilimleri: Konservatuvar Lisansüstü Tezleri Üzerine Bir İnceleme

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki konservatuvarlarda üretilen lisansüstü tezlerde tercih edilen araştırma yöntem ve tekniklerini belirlemek ve alandaki metodolojik eğilimleri ortaya koymaktır. Araştırma, tarama modelinde tasarlanmış; verilerin elde edilmesinde nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi benimsenmiştir. Örneklem, ölçüt örnekleme yoluyla belirlenmiş olup Türkiye’nin dört üniversitesinin konservatuvarlarında 2023-2026 yılları arasında tamamlanmış ve YÖK Ulusal Tez Merkezi’nde tam metin erişime açık 16 yüksek lisans ile sanatta yeterlik tezinden oluşmaktadır. Tezler, araştırmacı tarafından geliştirilen Tez Sınıflandırma Formu aracılığıyla araştırma yaklaşımı, araştırma deseni, veri toplama tekniği, örnekleme yöntemi, veri analiz tekniği ve konu alanı bakımından kodlanmıştır; bulgular betimsel istatistiklerle çözümlenmiştir. Bulgular, tezlerin fiilen uyguladığı yaklaşımın neredeyse bütünüyle nitel olduğunu (%93,8), nicel yaklaşım sergileyen hiçbir teze rastlanmadığını ve karma yöntemle yaklaşan tek bir tez bulunduğunu göstermektedir. Ancak tezlerin %68,8’i yaklaşımını, %81,3’ü desenini hiç beyan etmemektedir. Fiilen uygulama temelli/sanatsal araştırma yürüten beş tez bulunmasına karşın, hiçbirini kendisini bu terimlerle adlandırmamaktadır. Sonuç olarak nitel baskınlık bilinçli bir paradigmatik konumlanma değil, adlandırılmamış bir varsayılan durumdur. Çalışma, konservatuvar lisansüstü programlarında araştırma yöntemleri eğitiminin güçlendirilmesi ve alana özgü bir yöntem çerçevesi geliştirilmesi yönünde öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Müzik araştırmaları, araştırma yöntemleri, konservatuvar, lisansüstü tezler, doküman analizi.

1. INTRODUCTION

The fundamental element that distinguishes scientific knowledge from other ways of knowing is not the conclusions reached, but the path followed in reaching them. Knowledge obtained through everyday observation, appeal to authority, or intuition may occasionally be correct; however, what separates such knowledge from scientific knowledge is that it is not the product of a systematic, verifiable, and replicable method (Büyüköztürk et al., 2020). In this respect, method is not merely a technical component of research but the epistemological foundation that grounds the validity and reliability of the knowledge produced. As Karasar (2020) emphasizes, scientific research is a planned process that requires adherence to specific principles and techniques at every stage, from the definition of the problem to the collection, analysis, and interpretation of data. When the alignment between the research question and the chosen method breaks down, the findings obtained lose their scientific value, however interesting they may be.

Method is also a criterion indicating the maturity level of a scientific field. Kuhn (2012) ties a discipline's becoming a scientific community to its members sharing a common paradigm. From this perspective, the diversity of research methods used in a field and the quality of their reporting offer a direct indication of the extent to which that field's scientific accumulation has become institutionalized. Indeed, the clear and transparent reporting of method is a precondition for a study to be verifiable and replicable (Creswell and Creswell, 2018).

Music occupies a distinctive position with respect to this discussion. Music is, on the one hand, an artistic production that is performed, composed, and experienced; on the other hand, it is an object of scientific inquiry examined in its historical, theoretical, cultural, and pedagogical dimensions. This dual character has prevented music research from being tied to a single methodological tradition. While historical musicology draws on a tradition based on archival and documentary analysis, ethnomusicology has placed fieldwork at its center; music education, meanwhile, has largely adopted the measurement and experimental design tradition of educational sciences. This interdisciplinary structure, situated between social sciences, fine arts, and educational sciences, endows music research with rich methodological diversity while also producing an ongoing ambiguity regarding which study should be evaluated by which methodological criteria.

Conservatories are among the institutions where this ambiguity becomes most visible. Since their founding, conservatories in Turkey have been shaped within a practice-centered educational tradition primarily aimed at training performers, composers, and interpreters. The research function was added to these institutions relatively late, with the opening of graduate programs. Consequently, a researcher writing a thesis within a conservatory typically comes from years of performance practice yet sets out with more limited theoretical preparation in scientific research methods compared to colleagues in faculties of education or institutes of social sciences. Moreover, the types of studies frequently encountered in conservatory theses, such as work analysis, composer monographs, performance comparison, and repertoire examination, fit only with difficulty into the standard qualitative-quantitative-mixed classification. Although the flexible and interpretive nature of qualitative research opens a certain space for such studies (Yıldırım and Şimşek, 2021), the question of how performance itself is to be positioned as a form of knowledge production still awaits an answer in the Turkish context.

Nevertheless, no systematic study addressing the methodological profile of graduate theses produced in the field of music in Turkey with specific reference to conservatories has been found. Existing thesis and article review studies in the literature focus predominantly on the field of music education and on samples drawn from faculties of education; conservatory theses, despite their distinctive methodological dynamics, remain largely unexamined. Yet theses produced at conservatories constitute a considerable accumulation in numerical terms and embody most intensely the tension between artistic production and scientific research. Not knowing which research approaches and techniques this accumulation rests upon limits the field's methodological self-reflection and, consequently, its capacity for self-improvement. The present study arises from this gap.

The aim of this research is to identify the research methods and techniques preferred in graduate theses produced at conservatories in Turkey and to reveal the methodological trends in the field. In line with this general aim, answers were sought to the following research questions:

1. Which research approaches (qualitative, quantitative, mixed) are preferred in conservatory graduate theses?
2. Which research designs and data collection techniques are used in these theses?
3. How are the sampling methods and data analysis techniques preferred in the theses distributed?
4. What is the relationship between the subject areas of the theses and the research methods preferred?
5. What level of standardization and consistency is observed in the theses with respect to the reporting of method?

2. LITERATURE REVIEW

2.1. A Conceptual View of Scientific Research Methods

A researcher's choice of method is the outcome of a philosophical positioning prior to being a technical selection. This positioning is termed paradigm or worldview in the literature; it expresses the set of fundamental assumptions shared by a research community regarding the nature of reality, how knowledge is obtained, and how research is to be conducted (Creswell and Plano Clark, 2017). Postpositivism, associated with quantitative approaches, regards reality as singular and independent of the researcher; it produces knowledge through measurement and theory testing. Constructivism, associated with qualitative approaches, regards reality as plural; assuming that meaning is constructed within the subjective views of participants, it proceeds inductively.

These paradigmatic distinctions long fueled a debate positioning the qualitative and the quantitative as two opposing camps. In this debate, which Johnson and Onwuegbuzie (2004) term the paradigm wars, purists on both

sides adopted the incompatibility thesis, arguing that the two paradigms cannot be combined. Yet both approaches have their own strengths and weaknesses. Mixed methods research is positioned precisely at this point as a third paradigm; it proposes that the two approaches be brought together in such a way that their strengths combine while their weaknesses do not overlap (Johnson and Onwuegbuzie, 2004). Mixed methods hold particular potential for music research: a study in which the formal analysis of a work is conducted alongside interviews concerning performers' experiences of interpreting that work fits neither a purely quantitative nor a purely qualitative framework, yet it can be meaningfully constructed through a mixed design.

The disentangling of three levels frequently confused in methodological debates is decisive for the classification framework of this study. The first level, research design, determines the general plan of action of the research; survey, experimental research, phenomenology, ethnography, and case study belong to this level (Büyükoztürk et al., 2020; Merriam and Tisdell, 2016). The second level, data collection technique, refers to the concrete instruments that realize the design: interview, observation, questionnaire, scale, and document review are the principal ones; there is no obligatory correspondence between technique and design. The third level, data analysis technique, determines how the collected data will be analyzed. Deriving the methodological profile of a study is possible only by coding these three levels separately.

2.2. The Problem of Method in Music Research and the Artistic Research Debate

Although music research appears to be gathered under a single roof, it consists of subdisciplines resting on markedly divergent methodological traditions. The most visible example of this divergence emerges in the opposition between ethnomusicology and music education. As Nettl (2015) demonstrates, the distinguishing feature of ethnomusicology is the centrality of fieldwork. By contrast, music education research, drawing on the methodological climate of educational sciences, has adopted a quantitative tradition based on scale development, experimental design, and statistical analysis. Of two subdisciplines under the same roof, one regards the researcher's subjective position in the field as a source of knowledge, while the other views the researcher's influence as a source of error to be controlled.

Added to this methodological diversity is the artistic research debate, which has matured in the international literature over the past three decades. Borgdorff (2012), who established the conceptual ground of the debate, distinguishes three ideal types of the relationship between art and research. Research on the arts examines artistic practice from a theoretical distance and preserves the distinction between researcher and object of research. Research for the arts is applied research in the narrow sense; here art is not the object of examination but the goal of the research. The most contested of the three is research in the arts: this approach does not presuppose a distinction between subject and object; artistic practice itself becomes a constitutive component of both the research process and the research results (Borgdorff, 2012). From this perspective, the great majority of conservatory theses in Turkey are formally situated in the first category. Yet those who write these theses are also performers, and behind their studies there often lies performance experience spanning many years.

At the center of this ambiguity lies the question of whether performance itself can be accepted as a form of knowledge production. Nelson (2013), in positioning practice as research as a methodology, posits an interaction among three modes of knowing: tacit and embodied knowledge, contextual knowledge, and discursive, theoretical knowledge. For Nelson, the arts are primarily disposed toward embodied knowledge; practice as research operates through the concept of praxis, where these modes touch one another. Smith and Dean (2009), meanwhile, draw attention to the bidirectionality of the relationship: practice-led research denotes creative production giving rise to research insights, while research-led practice denotes academic research nourishing creative practice. Yet it is clear that these approaches are in tension with traditional scientific criteria: criteria such as replicability and verifiability cannot be applied directly to a singular and unrepeatable performance experience.

The extent to which this debate, so mature in the international literature, finds a counterpart in conservatory graduate programs in Turkey is a separate question. Thesis writing guidelines and institute directives largely take as their basis the standard thesis format of institutes of social sciences; the researcher is therefore expected to write a methods section conforming to the qualitative-quantitative-mixed schema. The mismatch between this expectation and the nature of performance-based knowledge production may produce two possible outcomes. First, although the researcher is in fact conducting research in the arts, they are compelled to fit this into the ready-made templates offered by the guideline. These templates most often consist of expressions such as descriptive survey model or document analysis. Second, the methods section ceases to be a functional component explaining how the research was actually conducted and turns into a formal requirement to be filled in. In either case, a disconnection emerges between the method declared in the thesis and the method actually applied.

2.3. Conservatory Education and the Graduate Research Tradition in Turkey

The origins of conservatory education in the contemporary sense in Turkey rest on the institutionalization efforts of the early years of the Republic. The starting point of this process is the Music Teachers' School (Musiki

Muallim Mektebi), founded in 1924 to train music teachers for secondary schools. The institution was transformed into the Ankara State Conservatory in 1936; the function of training music teachers was transferred, beginning in the 1938-1939 academic year, to the Music Branch of the Gazi Institute of Education. This divergence laid the foundation of the institutional division of labor in the field of music in Turkey: on one side, faculties of education resting on the methodological tradition of educational sciences; on the other, conservatories prioritizing the training of performers, composers, and interpreters. The founding purpose of conservatories was not research but artistic practice at the highest level; the research function was added to these institutions only with the opening of graduate programs.

Today, graduate education conducted at conservatories is shaped through master's and proficiency in art programs. Proficiency in art is defined in the Regulation on Graduate Education and Instruction as a program equivalent to the doctorate; however, it differs markedly from the doctorate in terms of its aim. According to the regulation, proficiency in art work aims at the production of an original work of art and, in music and performing arts, at superior practice and creativity. The doctoral program, by contrast, aims to equip the student with the ability to conduct independent research and to reach new syntheses by examining scientific problems (Yükseköğretim Kurulu [Council of Higher Education], 2016). Yet a striking tension emerges here. The same regulation defines the thesis prepared at the conclusion of proficiency in art education as a document reflecting a scientific study. In other words, the legislation on the one hand describes a program aimed at superior practice and creativity, and on the other codes the product of this program as a scientific document. This dual expectation between artistic production and scientific reporting may constitute the institutional source of the ambiguity observed in the methods sections of conservatory theses.

Conservatory theses also have a distinctive profile in terms of content and genre. The types of studies most frequently encountered in these theses are work analyses, performance analyses, composer monographs, and repertoire examinations. The methodological status of such studies, however, is contested. A work analysis is a study whose primary data is the score itself; it requires neither an interview nor a statistical procedure. It therefore fits only with difficulty into the standard tripartite classification and is most often placed in categories such as document analysis or descriptive survey, which apply only partially. Similarly, although a performance analysis brings into play the researcher's own performance experience and embodied knowledge, this source of knowledge is most often left unnamed in the methods section.

No study in the literature directly addresses the methodological profile of conservatory theses. Existing review studies focus predominantly on the field of music education. Indeed, Aras and Göksel (2024) revealed that quantitative methods are most often preferred in technology-related theses in music education; Bükülmez (2023) demonstrated a similar tendency in doctoral theses produced in music education departments. Similarly, Babacan (2021), Belge (2021), Köşreli (2020), and Sonsel and Efe (2019) examined theses produced in specific subfields through content analysis. However, none of these studies treats conservatory production as a separate sample. Acar (2025) showed that the literature in the field of music can be mapped through quantitative methods; that study, however, focused not on the methodological content of thesis texts but on the bibliographic characteristics of publications. The present research aims to fill this gap by examining the methodological profile of conservatory graduate theses in Turkey through a framework that also takes into account the artistic research debate.

3. RESEARCH METHOD

3.1. Research Model

This research was designed in the survey model, which aims to describe an existing situation as it is (Karasar, 2020). Document analysis, a qualitative research method, was adopted for obtaining the data. Document analysis is a method encompassing the systematic examination of written materials containing information about the phenomena to be investigated (Bowen, 2009; Yıldırım and Şimşek, 2021). The documents examined in this study are the full texts of graduate theses produced at conservatories. At the same time, because the qualitative data obtained from the theses were quantified by being coded under predetermined categories and presented with frequency and percentage values, the study also bears the characteristics of quantitative content analysis (Krippendorff, 2019).

3.2. Population and Sample

The theoretical population of the research consists of graduate theses produced within the conservatories of universities in Turkey. The sample was determined through criterion sampling, one of the purposive sampling methods. The fundamental logic of criterion sampling is the inclusion in the study of all cases meeting a predetermined set of criteria (Patton, 2015). The criteria taken as the basis for determining the sample are as follows: (a) the thesis must have been produced in the departments of major art/major science within a university conservatory; theses produced in departments of musicology and music sciences were excluded because these fields possess an established scientific method tradition. (b) The thesis must have been completed between 2023 and 2026.

(c) The thesis must be at the master's or proficiency in art level. (d) The thesis must be accessible in full text at the Council of Higher Education National Thesis Center. (e) An equal number of theses must be selected from each institution in order to ensure institutional diversity.

In line with these criteria, the sample was formed from a total of 16 theses produced at the conservatories of four universities. Four theses were selected from each institution, two at the master's level and two at the proficiency in art level; balance was thus also observed in the distribution by level. The institutions included in the sample are Hacettepe University, Istanbul University, Mimar Sinan Fine Arts University, and Dokuz Eylül University. Among the theses examined, those belonging to three institutions were produced within the Institute of Fine Arts, whereas the theses belonging to Istanbul University were produced in the Department of Music within the Institute of Social Sciences. This difference does not alter the theses' quality of being conservatory-based; it is nonetheless noteworthy in demonstrating that conservatory graduate education in Turkey is not gathered under a single institute structure.

3.3. Data Collection Instrument and Process

The data were collected through the database of the Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (Council of Higher Education National Thesis Center). The search was conducted using the database's advanced search options, applying together the filters of university name, institute, department, thesis type, and year range. The full texts of theses meeting the criteria were downloaded from the database and gathered in a separate file directory for coding. During the coding process all theses were read in full; in theses containing no explicit declaration regarding method, the techniques actually used were coded by inference from the text as a whole, and this act of inference was itself recorded as a finding.

In order to code the data systematically, a Thesis Classification Form was developed by the researcher. The categories of the form were constructed on the basis of the classification frameworks used in similar content analysis studies in the literature (Lane, 2011; Eğmir et al., 2017) and the design-technique-analysis distinction found in general research methods sources; the form was expanded to encompass techniques specific to the field of music. The form consists of six categories: bibliographic information; research approach (qualitative, quantitative, mixed, unspecified); research design (descriptive survey, case study, phenomenology, historical research, ethnography, experimental design, practice-based/artistic research, unspecified); data collection technique (general techniques and techniques specific to the field of music; coded as multiple choice); sampling method and data analysis technique; and subject area. The unspecified options in the form were designed not as an indicator of deficiency in the coding process but directly as a finding category. For this reason, two separate columns were used in the coding: the method declared by the thesis and the method actually applied by the thesis.

3.4. Data Analysis and Limitations

The theses examined were coded through the Thesis Classification Form; the resulting codings were analyzed with descriptive statistics (frequency and percentage). Cross-tabulations were used to render visible the relationships between categories. Owing to the sample size, inferential statistical tests were not employed. In order to ensure the reliability of the codings, all theses in the sample were coded independently by a second coder with expertise in the field in addition to the researcher; the two codings were compared and the reliability formula proposed by Miles and Huberman (1994) was applied. Items on which the coders disagreed were discussed again and consensus was reached.

The limitations of the research must be stated explicitly. The study is limited to 16 theses completed between 2023 and 2026 at the conservatories of four universities and accessible in full text. This sample size does not permit the generalization of the findings to all conservatory theses in Turkey; the aim of the study is not statistical generalization but the presentation of a descriptive profile of the methodological trends in the field. In addition, doctoral theses and theses produced in departments of musicology and music sciences were excluded. Finally, the codings regarding the methodological characteristics of the theses are limited to information declared in, or inferable from, the written texts of the theses; however, since the subject of this study is precisely the manner in which method is reported, this limitation simultaneously constitutes the object of examination of the research.

4. FINDINGS

4.1. Distribution of the Theses by Year, Institution, and Level

The 16 theses examined within the scope of the research were completed between 2023 and 2026 in the conservatory graduate programs of four universities. Because the sample was formed, as required by criterion sampling, so as to contain an equal number of theses from each institution, the distribution across institutions is equal by design. The distribution by level is likewise balanced: eight master's theses (50.0%) and eight proficiency in art theses (50.0%). This balance was constructed in advance so that the relationship between the level variable and method reporting could be examined comparatively; it therefore cannot be interpreted as a finding regarding actual production rates in the field. The distribution by year, by contrast, is a natural feature of the sample; half of

the theses were completed in 2025. A noteworthy finding regarding institutional structure emerges at the institute level: 12 of the theses (75.0%) were produced within the Institute of Fine Arts, while four theses (25.0%) were produced within the Institute of Social Sciences. This difference may be read as an institutional reflection of the ambiguity at the level of legislation addressed in the second section.

Table 1. Distribution of the Theses by University, Institute, and Year

University	Institute	2023	2024	2025	2026	Total (f)	%
Hacettepe U.	Fine Arts	–	2	2	–	4	25.0
Istanbul U.	Social Sciences	–	–	4	–	4	25.0
Mimar Sinan FAU	Fine Arts	1	2	1	–	4	25.0
Dokuz Eylül U.	Fine Arts	–	2	1	1	4	25.0
Total		1	6	8	1	16	100.0

Note: The equality in the institutional distribution is a result of the sample design.

4.2. Distribution by Research Approach

The research approach of the theses was coded in two separate columns: the approach declared in the text of the thesis and the approach actually inferred from the text as a whole. This distinction reveals a picture more striking than the distribution itself. At the level of declaration, only five of the 16 theses (31.3%) explicitly name their research approach, and all five characterize their study as qualitative. The remaining 11 theses (68.8%) contain no declaration of approach in their texts. At the level of actual application, no thesis in the sample exhibits a quantitative approach; 15 theses (93.8%) conduct procedures that may be evaluated within the scope of a qualitative approach, and only one thesis (6.3%) approximates a mixed approach by employing qualitative and quantitative elements together. That thesis is the study which tests the notation system it develops through a distinction between experimental and control groups but analyzes the data obtained not statistically but through observation and feedback.

Table 2. Distribution of the Theses by Research Approach

Research Approach	Declared (f)	Declared (%)	Actual (f)	Actual (%)
Qualitative	5	31.3	15	93.8
Quantitative	–	–	–	–
Mixed	–	–	1	6.3
Unspecified	11	68.8	–	–
Total	16	100.0	16	100.0

The most striking aspect of this distribution is that the use of mixed methods is virtually nonexistent and that theses declaring no approach whatsoever exceed two thirds. The finding may be interpreted in two ways. The first interpretation accords with the framework discussed in the second section: the overwhelming majority of conservatory theses take as their subject works, performance, and processes of creation; by their very nature these subjects invite an interpretive form of knowledge production. Yet the more decisive second interpretation is this: the majority of the theses do not declare that they prefer a qualitative approach; they merely conduct qualitative procedures in practice. The dominant pattern in the field is not a conscious paradigmatic positioning but the wholesale omission of the methodological discussion. The 93.8% actual rate of the qualitative approach must therefore be read not as a preference but as a default condition.

4.3. Distribution by Research Design

Research design is the category in which the highest degree of ambiguity emerged during the coding process. Only three of the theses (18.8%) provide any naming at the level of design in their texts; one of these characterizes its study as descriptive research, while two use document analysis as the name of a design. The remaining 13 theses (81.3%) do not declare their design in any way. When coding is carried out at the level of actual application, the theses are seen to exhibit an appearance that may be evaluated predominantly within the scope of descriptive survey (f = 6, 37.5%) and practice-based/artistic research (f = 5, 31.3%), accompanied by three theses bearing elements of historical research (18.8%), one case study (6.3%), and one experimental design (6.3%). Phenomenological and ethnographic designs were not encountered at all in the sample.

Table 3. Distribution of the Theses by Research Design

Research Design	Declared (f)	Declared (%)	Actual (f)	Actual (%)
Descriptive survey	1	6.3	6	37.5
Practice-based / artistic research	–	–	5	31.3

Research Design	Declared (f)	Declared (%)	Actual (f)	Actual (%)
Historical research	–	–	3	18.8
Case study	–	–	1	6.3
Experimental design	–	–	1	6.3
Phenomenology / Ethnography	–	–	–	–
Document analysis (used as design)	2	12.5	–	–
Unspecified	13	81.3	–	–
Total	16	100.0	16	100.0

The most important finding in this table concerns the practice-based/artistic research design. In the sample, five theses consist of studies in which the composer makes their own work the object of analysis, applies a notation system they have developed, or constructs knowledge from within practice by producing performance recommendations. These theses are in fact situated in the position defined in the second section by Borgdorff's concept of research in the arts and Nelson's concept of praxis. Yet none of them names its study in these terms. The field's most distinctive methodological position is left unnamed by the field itself. Instead, these theses either present themselves without giving any design name at all, or define themselves with a label borrowed from the vocabulary of scientific research that renders the epistemic position of practice invisible. The 81.3% rate of theses that do not specify their design is therefore not merely a reporting deficiency; it is an indicator of the absence of a language for the field's own mode of knowledge production.

4.4. Distribution by Data Collection Technique

The data collection techniques category was coded as multiple choice. Turning to general techniques, document review appears in all 16 theses (100.0%). This universal prevalence is in part a matter of definition. The use of other general techniques, by contrast, is extremely limited: interviews were used in only two theses (12.5%) and observation in only one thesis (6.3%); questionnaire and scale techniques were not encountered at all in the sample. When techniques specific to the field of music are examined, score/work analysis is seen to have been used in 14 theses (87.5%) and to be the field's actual principal data collection technique. This picture shows that conservatory theses largely refrain from collecting data from human participants and that the data source is almost entirely text, score, and recording.

Table 4. Data Collection Techniques Used in the Theses

Data Collection Technique	f	%
Document review	16	100.0
Score / work analysis	14	87.5
Archival examination	4	25.0
Performance recording analysis	3	18.8
Interview	2	12.5
Transcription	2	12.5
Observation	1	6.3
Edition comparison	1	6.3
Questionnaire / Scale	–	–

Note: Percentages are calculated over 16 theses. Since a thesis may use more than one technique, the column total exceeds 100%.

Placing these techniques within standard methodological classifications poses a serious difficulty. The extraction of pitch-class sets from a score, the comparison of differences between two manuscript copies, or the analysis of three different performers rendering the same work at different tempi may all be accommodated in the general methodological literature under the heading of document review. Yet this act of accommodation erases the epistemic specificity of the techniques. The analysis of a performance recording does not produce the same kind of knowledge as the reading of an archival document. The reduction of these techniques to general categories also explains why the expression document analysis is used so frequently and so vacuously in the methods sections of conservatory theses: it is the only legitimate label available to the field. On the other hand, although 11 of the 16 theses (68.8%) use more than one technique, interpreting this figure as data triangulation would be misleading. None of the theses declares that it compares the data obtained from different techniques; the techniques are used distributed across different sections of the thesis. This is not a methodological triangulation but a sectional division of labor.

4.5. Sampling Methods, Analysis Techniques, and Subject Area

Sampling method is the methodological dimension to which the theses in the sample devote the least attention. Thirteen of the 16 theses (81.3%) make no declaration whatsoever regarding sampling method. This finding is accompanied by a pattern more significant than the numerical distribution: four theses in the sample construct the concepts of population and sample upon the work. In these theses, the population is defined as all the works of the composer examined, and the sample as the one or two works that are the subject of the research. This usage is the application of a conceptual pair borrowed from the vocabulary of quantitative research to an act of selection with which it has no logical connection. Turning to data analysis techniques, musical analysis (87.5%) stands out as the dominant technique; descriptive analysis and content analysis are used to a limited extent, while inferential statistics are not employed at all.

When subject area and the research approach actually applied are examined cross-sectionally, composer/work examination is seen to constitute 62.5% of the theses on its own. When music theory (18.8%) is added to this, the share of work-centered studies exceeds four fifths. There is one thesis each in the areas of composition, orchestral conducting, and instrument/performance; no thesis appears in the sample in the areas of music education, music technology, or ethnomusicology. The cross-tabulation shows that there is no significant differentiation between subject area and choice of method: whatever the subject, the qualitative approach remains the default position. The complete absence of a quantitative approach in the sample is a consequence less of the distribution of subjects than of the field's methodological repertoire; even when a subject inviting quantitative analysis entered the sample, no quantitative analysis was performed.

Table 5. Cross-Distribution of Subject Area and the Research Approach Actually Applied

Subject Area	Qual.	Quant.	Mixed	Total (f)	%
Composer / work examination	10	–	–	10	62.5
Music theory	3	–	–	3	18.8
Instrument / performance	–	–	1	1	6.3
Composition	1	–	–	1	6.3
Orchestral conducting	1	–	–	1	6.3
Total	15	–	1	16	100.0

4.6. Problems Concerning the Reporting of Method in the Theses

The findings presented under this subheading directly support the central claim of the study. Only four of the 16 theses in the sample (25.0%) contain a standalone methods section. The remaining 12 theses (75.0%) either provide information about their method in a few sentences scattered within the introduction or provide none at all. In terms of the level variable, two of the four theses containing a methods section are at the master's level and two at the proficiency in art level. That is, there is no relationship between method reporting and academic degree. Proficiency in art theses do not exhibit a more developed methodological awareness than master's theses. This finding indicates that the problem relates not to individual competence or difference in degree but to the writing tradition of the field.

Table 6. Indicators of Method Reporting in the Theses

Indicator	Present (f)	Present (%)	Absent (f)	Absent (%)
Standalone methods section	4	25.0	12	75.0
Declaration of research approach	5	31.3	11	68.8
Declaration of research design	3	18.8	13	81.3
Declaration of sampling method	3	18.8	13	81.3
Naming of data analysis technique	7	43.8	9	56.3
Validity / reliability strategy	1	6.3	15	93.8
Declaration of ethics committee approval	1	6.3	15	93.8
Limitations section	2	12.5	14	87.5

When the inconsistencies between the declared design and the technique actually used are examined, three types were identified in the sample. The first type is the application of a concept at the wrong scale. Four theses construct the conceptual pair of population and sample upon the works of the composer; a concept resting on the logic of statistical representation is thereby applied to an act of selection that makes no claim to representation whatsoever. The second type is the vacuous use of a label. Two theses define themselves as document analysis or

descriptive research; yet they perform none of the procedures that this label requires (constructing a coding scheme, determining categories, defining the unit of analysis). The third type is the failure to fulfill the requirements of a design in the presence of data that invite it. The thesis conducting a three-month application with an experimental and control group configuration does not analyze the data at hand statistically. These three types point to a common origin: the field borrows from a language it does not possess in order to name the work it does, and does not perform the procedures that the borrowed terms require.

The finding concerning validity, reliability, and trustworthiness strategies is the sharpest result of the sample. Only one of the 16 theses (6.3%) applies and reports a strategy in this direction. The remaining 15 theses (93.8%) make no declaration whatsoever as to which strategy they employ to ensure the validity of their analysis; none of the strategies such as expert opinion, member checking, data triangulation, or intercoder reliability is encountered. Yet it would be unfair to leave this finding standing alone. The validity of a work analysis cannot be established by the same criteria as the validity of an interview study; the trustworthiness of a score analysis is established through the analytical consistency and musical persuasiveness of the analysis. The problem is not that the theses fail to apply qualitative research strategies; it is that they apply no strategy at all and do not discuss the fact that they apply none.

5. CONCLUSION

This research aimed to reveal the methodological profile of graduate theses produced at conservatories in Turkey and analyzed, through the Thesis Classification Form, 16 theses completed between 2023 and 2026 at the conservatories of four universities. According to the findings, the approach actually applied in the theses is almost entirely qualitative (93.8%); no thesis in the sample exhibits a quantitative approach, and there is a single thesis (6.3%) approximating a mixed approach. The actual designs cluster around descriptive survey (37.5%) and practice-based/artistic research (31.3%); among data collection techniques, document review (100.0%) and score/work analysis (87.5%) occupy the determining position. No significant differentiation was found between subject area and choice of method; whatever the subject, the qualitative approach remained the default position. In short, the dominance of qualitative and descriptive approaches in conservatory theses is the principal finding; yet this dominance is not itself a preference but an unnamed default condition.

The dominance of the qualitative approach may at first glance be read as a natural consequence of the epistemological tradition of conservatories. It is not meaningful to expect a statistical test from a study whose primary data is the score itself; in this respect, qualitative dominance cannot on its own be taken as an indicator of deficiency. Yet the real problem indicated by the findings lies not in the character of the approach but in its status: 68.8% of the theses never name their approach; qualitative procedures are conducted, but the paradigmatic position from which these procedures derive is not discussed. The epistemological character of the field and the methodological self-reflection of the field are two separate matters, and the findings of this research show the former to be strong and the latter to be largely absent.

The most striking aspect of this picture is that the artistic research paradigm has failed to become institutionalized. Five theses, which make the composer's own work the object of analysis, test a notation system they have developed by applying it, or construct knowledge directly from within practice by producing performance recommendations, are in fact situated in the position defined by Borgdorff's (2012) concept of research through/in the arts and Nelson's (2013) concept of praxis. Yet none of these theses identifies itself in these terms; the number of theses declaring practice-based/artistic research is zero. This is the empirical counterpart of the disconnection anticipated in the second section. The institutional source of this gap also appears open to discussion. The Regulation on Graduate Education and Instruction (Yükseköğretim Kurulu [Council of Higher Education], 2016), while defining proficiency in art as superior practice and creativity, codes the thesis that is the product of this program as a document reflecting a scientific study. This dual expectation at the level of legislation, combined with thesis writing guidelines taking the social sciences format as their basis, condemns the researcher to a language that does not describe the work they actually carry out.

When the findings are compared with the results of similar studies in the literature, the specificity of conservatory theses becomes even more pronounced. In the field of educational sciences, Eğmir, Erdem, and Koçyiğit (2017) found that 61.4% of the articles examined used quantitative methods; Aras and Göksel (2024) revealed that quantitative methods are most often preferred in technology-related theses in music education. In the sample of this research, by contrast, there is not a single thesis exhibiting a quantitative approach. The contrast shows that conservatory theses diverge markedly in method from music theses originating in faculties of education. On the other hand, the findings overlap with the international literature at one point. Lane (2011) found that 12 of 65 studies defined as qualitative did not specify any particular design. Leaving method unnamed is therefore not a problem peculiar to Turkey alone; yet the findings of this research show that in the conservatory context the scale of the problem is far greater and that it has become not an exception but the rule. As for future research, the

expansion of the sample, the examination of institutions' thesis writing guidelines as primary sources, and the conduct of a comparative analysis with conservatory theses internationally stand out as priorities.

In line with the findings obtained, a number of recommendations may be offered. First and foremost, research methods courses in conservatory graduate programs should be made compulsory and applied; these courses should be conducted not at the beginning of the thesis writing process but concurrently with the stage at which the thesis topic is determined. In addition, it would be beneficial to develop a methodological guide for conservatory theses that encompasses the paradigms of artistic research and practice-based research and grants methodological status to field-specific study types such as work analysis, performance comparison, and composer monographs. Relatedly, the methods section should be defined in thesis writing guidelines as a standard and compulsory component; the headings of research approach, design, data collection technique, sampling, and validity/trustworthiness strategy should be explicitly required. Furthermore, the organization of methodology seminars for supervising faculty members is recommended; since the deficiency in method reporting is independent of academic degree, the problem cannot be addressed at the student level alone. Finally, the field must develop its own criteria of validity; the criteria by which the trustworthiness of a score analysis or a performance comparison is to be established should be determined not through borrowed templates but through the field's own debate.

REFERENCES

- ACAR, A. K. (2025). "Yeni Medya Teknolojilerinde Müzisyen Kimliğinin Dönüşümü: Yapay Zeka, Metaverse ve Dijital Dönüşüm Kavramları Üzerine Bibliyometrik Analiz", *Online Journal of Music Sciences*, 10 (2): 219-234.
- ARAS, A. and GÖKSEL, R. E. (2024). "Türkiye'de Müzik Eğitimi Alanında Yapılmış Teknoloji İçerikli Lisansüstü Çalışmaların İncelenmesi", *Art Vision*, 30 (53): 230-239.
- BABACAN, E. (2021). "Türkiye'de Piyano ile İlgili Yapılan Lisansüstü Araştırmaların İçerik Analizi (1995-2017)", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23 (3): 1159-1191.
- BELGE, O. (2021). "Türkiye'de Armoni Üzerine Yazılmış Lisansüstü Tezlerin Analizi", *The Journal of Academic Social Science Studies*, 14 (87): 209-219.
- BORG DORFF, H. (2012). *The Conflict of the Faculties: Perspectives on Artistic Research and Academia*, Leiden University Press, Leiden.
- BOWEN, G. A. (2009). "Document Analysis as a Qualitative Research Method", *Qualitative Research Journal*, 9 (2): 27-40.
- BÜKÜLMEZ, D. İ. (2023). "Türkiye'de Müzik Eğitimi Bilim Dallarında Yapılan Doktora Tezlerinin İçerik Analizi (2014-2021)", *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26 (49): 49-60.
- BÜYÜKÖZTÜRK, Ş., KILIÇ ÇAKMAK, E., AKGÜN, Ö. E., KARADENİZ, Ş. and DEMİREL, F. (2020). *Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, 28th Edition, Pegem Akademi, Ankara.
- CRESWELL, J. W. and CRESWELL, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th Edition, SAGE Publications, Los Angeles.
- CRESWELL, J. W. and PLANO CLARK, V. L. (2017). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd Edition, SAGE Publications, Los Angeles.
- EĞMİR, E., ERDEM, C. and KOÇYİĞİT, M. (2017). "Trends in Educational Research: A Content Analysis of the Studies Published in International Journal of Instruction", *International Journal of Instruction*, 10 (3): 277-294.
- JOHNSON, R. B. and ONWUEGBUZIE, A. J. (2004). "Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come", *Educational Researcher*, 33 (7): 14-26.
- KARASAR, N. (2020). *Bilimsel Araştırma Yöntemi: Kavramlar, İlkeler, Teknikler*, 35th Edition, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- KÖSRELİ, S. (2020). "Türkiye'de Ses Eğitimi Alanında Yazılmış Lisansüstü Tezlere Yönelik Bir İnceleme", *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9 (5): 3651-3668.
- KRIPPENDORFF, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*, 4th Edition, SAGE Publications, Los Angeles.
- KUHN, T. S. (2012). *The Structure of Scientific Revolutions*, 4th Edition, University of Chicago Press, Chicago.
- LANE, J. (2011). "A Descriptive Analysis of Qualitative Research Published in Two Eminent Music Education Research Journals", *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, (188): 65-76.

- MERRIAM, S. B. and TISDELL, E. J. (2016). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation*, 4th Edition, Jossey-Bass, San Francisco.
- MILES, M. B. and HUBERMAN, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*, 2nd Edition, SAGE Publications, Thousand Oaks.
- NELSON, R. (2013). *Practice as Research in the Arts: Principles, Protocols, Pedagogies, Resistances*, Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- NETTL, B. (2015). *The Study of Ethnomusicology: Thirty-Three Discussions*, 3rd Edition, University of Illinois Press, Urbana.
- PATTON, M. Q. (2015). *Qualitative Research and Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice*, 4th Edition, SAGE Publications, Thousand Oaks.
- SMITH, H. and DEAN, R. T. (2009). *Practice-Led Research, Research-Led Practice in the Creative Arts*, (Eds.) SMITH, H. and DEAN, R. T., Edinburgh University Press, Edinburgh.
- SONSEL, Ö. B. and EFE, M. (2019). “Orkestra Alanında Yazılmış Yüksek Lisans, Sanatta Yeterlik ve Doktora Tezlerinin İncelenmesi”, *Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (41): 193-204.
- YILDIRIM, A. and ŞİMŞEK, H. (2021). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, 12th Edition, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- YÜKSEKÖĞRETİM KURULU [Council of Higher Education] (2016). *Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği* [Regulation on Graduate Education and Instruction], *Resmî Gazete* [Official Gazette], No: 29690, 20 April.
- YÜKSEKÖĞRETİM KURULU ULUSAL TEZ MERKEZİ [Council of Higher Education National Thesis Center] (2026). “Tez Tarama Veri Tabanı” [Thesis Search Database], <https://tez.yok.gov.tr>, accessed 10.06.2026.

ORCID: 0000-0002-7381-9215 | 0000-0002-7381-9215

Bilecik, Bursa Ve Sakarya İlleri Ispanak Üretim Alanlarında Görülen Yabancı Ot Türleri, Yoğunlukları Ve Rastlanma Sıklıklarının Belirlenmesi

Dr. Adayı Fulya Hızır^{*1}, Ph.D.Cand. Fulya Hızır^{*2}

1 Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitüsü

2 Atatürk Horticultural Central Research Institute

* Corresponding Author: Fulya Hızır
filyahizarbasaran@gmail.com

ÖZET

Yabancı otlar, sebzelerin yabancı otlara karşı zayıf rekabetinden dolayı sebze yetiştiriciliğinde önemli bir sorundur. Ispanak alanlarında ciddi verim kayıplarına neden olan yabancı otlarla mücadelede ilk koşul yabancı otların tür, yoğunluk ve rastlanma sıklığının belirlenmesidir. Bu amaçla 2022-2023 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde ıspanak üretiminin yoğun olarak yapıldığı Bilecik (Osmaneli), Bursa (Karacabey, Mustafakemalpaşa, Yenişehir) ve Sakarya (Adapazarı, Erenler, Geyve) illerinde sürveyler gerçekleştirilmiştir. Ispanak üretim alanlarında 17 familyaya ait 35 farklı yabancı ot türü tespit edilmiştir. İlçe düzeyinde en fazla yoğunluk gösteren yabancı ot türlerinin Bilecik ili Osmaneli ilçesinde *Lamium amplexicaule* L. (5.41 adet/m²); Bursa ili Karacabey ilçesinde *Chenopodium album* L. (4.83 adet/m²), Mustafakemalpaşa ilçesinde *Stellaria media* (L.) Vill. (3.75 adet/m²), Yenişehir ilçesinde *Chenopodium album* L. (1.29 adet/m²); Sakarya ili Adapazarı ilçesinde *Veronica persica* L. (2.38 adet/m²), Erenler ilçesinde *Veronica hederifolia* L. (4.22 adet/m²), Geyve ilçesinde *Veronica hederifolia* L. (2.13 adet/m²) olduğu tespit edilmiştir. Rastlanma sıklığı bakımından en çok rastlanan yabancı ot türlerinin Bilecik ili Osmaneli ilçesinde *Lamium amplexicaule* L. (%75), Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesinde *Stellaria media* L. (%75) ve Sakarya ili Geyve ilçesinde *Veronica hederifolia* L. (%60,87) olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ispanak, Marmara Bölgesi, yabancı ot sürveyi, yabancı ot türleri

Determination of Weed Species, Their Densities And Frequency of Occurrence in Spinach Production Areas of Bilecik, Bursa And Sakarya Provinces

ABSTRACT

Weeds are a significant problem in vegetable cultivation due to the poor competition between vegetables and weeds. The first step in controlling weeds that cause significant yield losses in spinach fields is determining the type, density, and frequency of weeds. For this purpose, surveys were conducted between 2022-2023 in Bilecik (Osmaneli), Bursa (Karacabey, Mustafakemalpaşa, Yenişehir), and Sakarya (Adapazarı, Erenler, Geyve) provinces, where spinach production is intensive in the Marmara Region. 35 different weed species belonging to 17 families were identified in spinach production areas. The most common weed species at the district level were determined to be *Lamium amplexicaule* L. (5.41 plants/m²) in Osmaneli district of Bilecik province; *Chenopodium album* L. (4.83 plants/m²) in Karacabey district of Bursa province; *Stellaria media* (L.) Vill. (3.75 plants/m²) in Mustafakemalpaşa district; *Chenopodium album* L. (1.29 plants/m²) in Yenişehir district; *Veronica persica* L. (2.38 plants/m²) in Adapazarı district of Sakarya province; *Veronica hederifolia* L. (4.22 plants/m²) in Erenler district; and *Veronica hederifolia* L. (2.13 plants/m²) in Geyve district. In terms of frequency of occurrence, the most frequently encountered weed species were *Lamium amplexicaule* L. (75%) in Osmaneli district of Bilecik province, *Stellaria media* L. (75%) in Mustafakemalpaşa district of Bursa province, and *Veronica hederifolia* L. (60.87%) in Geyve district of Sakarya province.

Keywords: Marmara region, spinach, weed survey, weed species

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasıyla, ihtiyaç olunan gıda arzının karşılanabilmesi için, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak ve verimi arttırmak önem arz etmektedir. Türkiye'de tarımsal üretim içinde toplam sebze üretiminin yaklaşık %6,2'sini karnabahar, brokoli, lahanaya, marul, ıspanak, semizotu, roka, tere, dereotu gibi yaprağı yenen sebzeler oluşturmaktadır (Balkaya vd., 2016: 8). İnsan beslenmesinde önemli mineral kaynağı ve yüksek antioksidan içeriği ile ıspanak (*Spinacia oleracea* L.), tek yıllık yapraklı bir sebze türü olup, anavatanı; Güney Türkistan, Kafkasya, Nepal olarak kabul edilmektedir (Günay, 1992: 179). Dünyada ıspanak üretiminde en çok üretim yapan ülke, Çin olup, Türkiye ilk 5 ülke arasındadır (FAO, 2020).

Marmara Bölgesi (Bilecik, Bursa, Düzce, Edirne, Kocaeli, Kırklareli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova ve İstanbul)'nde toplam üretim alanı 21.855 dekar olup, üretim miktarı 28.037 tondur (TÜİK, 2019). En yoğun ıspanak

üretim yapılan iller; Bursa, Sakarya ve Bursa'dır. Tablo 1'de Marmara Bölgesi'nde en yoğun üretim yapılan iller, üretim miktarları ve üretim alanları (da) verilmiştir.

Tablo 1. Marmara Bölgesi'nde Ispanak Üretimi Yapılan İller, Üretim Alanları ve Miktarları

Bölge	İller	Üretim Alanı (da)	Üretim (ton)
Marmara Bölgesi	Bilecik	2453	2868
	Bursa	9423	12960
	Edirne	1518	1848
	Sakarya	5973	7477
	Tekirdağ	606	594
	Diğer İller	1882	2290
	Genel Toplam	21855	28037

Ispanak çabuk olgunluğa ulaşan hem sonbahar hem de ilkbahar mahsulü olarak yetiştirilebilen yapraklı sebzelerdendir (Günay, 1992:179; Sensoy vd., 2011:148; Ghorbani vd., 2015:400). Ülkemizde ıspanak yetiştiriciliğinde ekim çoğunlukla serpme ekim metodu ile yapılmaktadır (Anonim, 2011:13). Serpme ekimle yapılan yetiştiricilikte yabancı ot mücadelesi daha da önemlidir. Yabancı otlar, sebzelerin yabancı otlara karşı zayıf rekabetinden dolayı sebze yetiştiriciliğinde önemli bir sorundur (Bigongiali vd., 2014:30; Ghorbani vd., 2015:400; Drost, 2020). Yabancı ot mücadelesi tüm yetiştirme sezonu boyunca uygulanmalıdır. Üretimde ciddi verim kayıplarına neden olan yabancı otlar, sebzelerle kaynak rekabetine bağlı olarak verimi yaklaşık olarak; %45-95 oranında düşürebilmekte ve ürün kalitesini bozmaktadır (Mennan vd., 2020:1).

Yabancı otların mücadelesinde ilk adım yabancı otların tür, yoğunluk ve rastlanma sıklıklarının belirlenmesidir. Bu amaçla yürütülen çalışma 2022-2023 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde en yoğun ıspanak üretimi yapılan illerden Bursa İlinde Yenişehir, Karacabey, Mustafakemalpaşa ilçelerinde; Sakarya İlinde Adapazarı, Geyve ve Erenler ilçelerinde; Bilecik ili Osmaneli ilçesinde, yabancı ot saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Ispanak yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artırılması için yabancı otların tespiti, yoğunluğu ve rastlanma sıklığının belirlenmesi, mücadelenin etkin olarak yapılması açısından önemli bir adımdır. Bununla birlikte bölgede ıspanak alanlarında yabancı ot tür, yoğunluk ve rastlanma sıklığı ilk kez tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın materyalini; Bilecik, Bursa ve Sakarya illerinde yetiştirilen ıspanak bitkileri ile söz konusu alanlarda bulunan yabancı otlar ve 1 m²'lik sayım çerçevesi oluşturmuştur.

2.1. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları, 2022-2023 yıllarında, Marmara Bölgesi'nde en yoğun ıspanak üretim alanlarına sahip Bursa ili Yenişehir, Karacabey, Mustafakemalpaşa ilçelerinde; Sakarya ili Adapazarı, Geyve ve Erenler ilçelerinde; Bilecik ili Osmaneli ilçesinde tesadüfi örnekleme yöntemine göre, Çiftçi kayıt sisteminde kayıtlı üretim alanlarının %2'sine tekabül eden alanlar seçilerek gerçekleştirilmiştir (Bora ve Karaca, 1970:43). Saha çalışmalarına ıspanak çıkışları tamamlandıktan sonra başlanmıştır.

2.2. Yabancı Ot Türlerinin, Yoğunluklarının, Rastlanma Sıklıklarının Belirlenmesi

Yabancı ot sayımları; çerçeve yöntemine göre yapılmış olup, atılan çerçeve sayısı, tarlaların büyüklüğüne göre belirlenmiştir. Tarla büyüklüğü 1-5 dekarlık alanlarda 4; 5-10 dekarlık alanlarda 6; 10-20 dekarlık alanlarda 8; 20-50 dekarlık alanlarda 12 ve daha büyük alanlarda 16 kez 1 m²'lik çerçeveler atılmış olup çerçeve içine giren yabancı otların tür bazında sayımları gerçekleştirilmiştir (Bora ve Karaca, 1970:43; Odum, 1971:144). Sayımlarda geniş yapraklı yabancı otlar tüm bitki olarak, dar yapraklıların ise sapları sayılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler sörvey kartlarına işlenmiştir.

2.2.1. Yabancı Ot Yoğunlukları

Sayımlar sırasında belirlenen yabancı ot türleri ve sayıları dikkate alınarak m²'deki yabancı ot yoğunluğu hesaplanmıştır. Yabancı ot türlerinin ilçeler düzeyindeki yoğunlukları, ağırlıklı ortalama esasına göre; her sayım noktası için, saptanan yabancı ot yoğunluğu (adet/m²), o tarlanın alanı ile çarpılarak ve bu çarpım sonuçlarının toplamı, o ilçede sörveyi yapılan toplam tarla alanına bölünerek belirlenmiştir. Türlerin il düzeyindeki ortalamaları ise, ilçeler ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Bora ve Karaca, 1970:43).

2.2.2. Yabancı Ot Türlerinin Rastlanma Sıklığı (R.S. %)

Bir yabancı ot türünün ölçüm yapılan alan içerisindeki ölçümlerin % kaçında karşılaşıldığını gösteren değerdir ve aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Odum, 1971:144)

$$R.S. (\%) = 100 \times [\text{Bir Türün Bulunduğu Ölçüm Sayısı (n)} / \text{Yapılan Toplam Ölçüm Sayısı (m)}]$$

2.2.3. Yabancı Ot Türlerinin Teşhisi ve Adlandırılması

Yabancı ot türlerinin teşhisinde Flora of Turkey (Davis, 1965-1980), adlandırılmasında ise Uluğ vd. (1993:513)'den faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Saha çalışmaları; 2022-2023 yıllarında, Bursa (Karacabey, Mustafakemalpaşa, Yenişehir), Sakarya (Adapazarı, Erenler, Geyve), Bilecik (Osmaneli) illerinde ıspanak üretim yoğunluğu dikkate alınarak yürütülmüştür. Ispanak yetiştiriciliğinin bölgede Kasım-Aralık-Ocak ve Mart aylarında yoğun olarak yapıldığı belirlenmiştir.

Buna göre; Bilecik ilinde Osmaneli ilçesinden 3 tarladan, Bursa ilinden Karacabey, Mustafakemalpaşa ve Yenişehir ilçelerinden 14 tarladan ve Sakarya ilinden Adapazarı, Erenler ve Geyve ilçelerinden 18 tarladan olmak üzere toplam 35 tarlada örneklem gerçekleştirilmiştir. Bilecik ilinde Osmaneli ilçesinde 41 da, Bursa ili Yenişehir, Karacabey ve Mustafakemalpaşa ilçelerinde 118 da, Sakarya ilinde Adapazarı, Geyve ve Erenler ilçelerinde 122.6 da alanda olmak üzere toplam 281.6 da alanda yapılmıştır.

Örneklem yapılan il, ilçeler, köy/mahalle, ada/parsel, tarla sayısı (adet) ve alanını (da) gösterir bilgiler Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Örneklem Yapılan Ispanak Üretim Alanlarına Ait Bilgiler

Tarih	İl	İlçe	Köy	Ada/Parsel	Tarla Sayısı	Örneklem Yapılan Alan (da)
18.11.2022	Bilecik	Osmaneli	Büyük Yenice	126/9	1	9
18.11.2022				126/10	1	22
18.11.2022				126/2	1	10
				Toplam	3	41
03.11.2022	Bursa	Karacabey	Karasu	0/810	1	2
03.11.2022				0/541	1	3.5
04.11.2022		Mustafakemalpaşa	Koşuboğazı	1279/10	1	2.0
09.12.2022				95/1	1	3.2
09.12.2022		Yenişehir	Çayır	94/2	1	6.0
09.12.2022				94/1	1	7.3
09.12.2022				42/14	1	10.9
09.12.2022				156/17	1	19
09.12.2022			Yolören	156/18	1	11.2
09.12.2022				147/1	1	12
09.12.2022				125/2	1	10.9
09.12.2022				125/3	1	5.5
09.12.2022				161/32	1	18.9
09.12.2022				161/31	1	5.2
				Toplam	14	118
06.10.2022	Sakarya	Adapazarı	Çökekler	0/1120	1	4.0
06.10.2022				0/1176	1	7.0
08.11.2022			Bileciler	0/585	1	5.0
08.11.2022				0/868	1	4.3
04.01.2022			Taşlık	0/2222	1	7.0
04.01.2022				0/2921	1	13.6
10.12.2022		Erenler	Sarıcalar	0/591	1	5.8
10.12.2022				0/592	1	4.2
10.12.2022				0/593	1	2.9
10.12.2022				0/594	1	3.2
10.12.2022				0/595	1	3.5
04.03.2022		Geyve	Bayat	0/1149	1	8.2
04.03.2022				0/1204	1	13.8
04.03.2022				0/1405	1	5.2
04.03.2022				0/1275	1	12.9
04.03.2022				0/1274	1	5.8
04.03.2022				0/1404	1	9.7
04.03.2022				0/1276	1	6.5
				Toplam	18	122.6
				Genel Toplam	35	281.6

3.1. Tespit Edilen Yabancı Ot Türleri

Örneklemelerin yapıldığı ıspanak üretim alanlarında tespit edilen yabancı ot türleri familya düzeyinde belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Bilecik, Bursa ve Sakarya İllerinde Ispanak Üretim Alanlarında Tespit Edilen Yabancı Ot Türleri

No	Familyası	Bilimsel Adı	Türkçe İsmi
1	Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Kırmızı köklü tülküyruğu

2		<i>Chenopodium album</i> L.	Sirken
3		<i>Chenopodium hybridum</i> L.	Melez sirken
4	Apiaceae	<i>Conium maculatum</i> L.	Baldıran
5	Asteraceae	<i>Cirsium</i> sp.	Köygöçüren
6		<i>Lactuca serriola</i> L.	Yabani marul
7		<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Mayıs papatyası
8		<i>Anthemis</i> sp.	Köpek papatyası
9		<i>Senecio vulgaris</i> L.	Kanarya otu
10		<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	Devediken
11		<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg.	Karahindiba
12		<i>Xanthium strumarium</i> L.	Dikenli pıtrak
13	Boraginaceae	<i>Heliotropium europaeum</i> L.	Akrepotu
14	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Çobançantası
15		<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Yabani turp
16	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Kuşotu
17	Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Tarla sarmaşığı
18	Euphorbiaceae	<i>Mercurialis annua</i> L.	Yer fesleğeni
19	Lamiaceae	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	Büyük ballıbaba
20	Fabaceae	<i>Medicago sativa</i> L.	Yonca
21		<i>Trifolium</i> sp.	Üçgül
22	Malvaceae	<i>Malva sylvestris</i> L.	Büyük ebegümeci
23	Papaveraceae	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Şahtere
24	Plantaginaceae	<i>Veronica hederifolia</i> L.	Adi yavşanotu
25		<i>Veronica persica</i> Poir.	Circamuk
26		<i>Veronica filiformis</i> Sm.	Yavşanotu
27	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Köpekdişi ayrığı
28		<i>Echinochloa</i> sp.	Darıcan
29		<i>Lolium perenne</i> L.	İngiliz çimi
30		<i>Poa annua</i> L.	Tek yıllık salkımotu
31		<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş
32	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Semizotu
33	Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i> L.	Köpeküzümü
34		<i>Datura stramonium</i> L.	Şeytan elması
35	Rubiaceae	<i>Galium</i> sp.	Yapışkan ot

Bilecik, Bursa ve Sakarya ıspanak üretim alanlarında yapılan saha çalışmaları sonucunda 17 familyaya bağlı 35 yabancı ot türü belirlenmiştir

LsStrange (2001:31), ıspanak alanlarında yaygın olarak görülen yabancı ot türlerinin; *Urtica urens* L. (küçük ısırgan), *Malva parviflora* L. (küçük çiçekli ebegümeci), *Stellaria media* (L.) Vill. (kuşotu), *Silybrium irio* L. (bülbul otu), *C. bursa-pastoris* (L.) Vill. (Çobançantası), *Hordeum jubatum* (tilkikuyruğu arpa), *Hordeum murinum* subsp. *leporinum* (kılçık arpa), *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv. (Darıcan), *C. arvensis* L. (Tarla sarmaşığı), *Poa annua* L. (tek yıllık salkımotu), *Medicago polymorpha* L. (kırkyonca), *Xanthium* spp. (Pıtrak), *Gnaphalium* spp. (bozağan), *Cuscuta* spp. (Küsküt), *Amsinckia* spp. (Yabani ardıçotu), *Erodium* spp. (Dönbaba), *Descurainia sophia* (L.) Webb. (sadirotu), *Chenopodium murale* L. (akkazayağı), *S.vulgaris* L. (imampamuğu), *Lamium amplexicaule* L. (ballıbaba), *Polygonum arenastrum* Boraue (bezmeceotu), *Polygonum persicaria* L. (söğütotu), *Chenopodium album* L. (sirken), *Lactuca serriola* L. (yabani marul), *Medicago lupulina* L. (şerbetçi otu yoncası), *Ipomoea* spp. (Gecese fası), *Sinapis arvensis* L. (yabani hardal), *S. nigrum* L. (köpek üzümü), *Solanum sarrachoides* Sendtn. (Tüylü itüzümü), *Cyperus esculentus* L. (yer bademi), *Avena fatua* L. (yabani yulaf), *Amaranthus* spp. (Horozibiği), *Matricaria discoidea* DC. (petalsiz papatya), *Portulaca oleracea* L. (semizotu), *Raphanus raphanistrum* L. (yabani turp), *Lolium multiflorum* Lam. (İtalyan çimi), *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre (tırşon), *Sonchus* spp. (Eşek marulu), *Leptochloa* spp. (inceçimen), *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (sarıtış yoncası), *Lepidium didymum* L. olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma sonuçları, önceki çalışmalarda tespit edilen yabancı ot türleriyle benzerlik göstermektedir.

3.2. Yabancı Ot Türlerinin. Yoğunluklarının. Rastlanma Sıklıklarının Belirlenmesi

Marmara Bölgesi Bilecik, Bursa ve Sakarya illerinde yoğun olarak ıspanak üretimi yapılan alanlarda yürütülen saha çalışmalarında yabancı ot türleri, yoğunlukları (adet/m²) ve rastlanma sıklıkları (%) il ve ilçe düzeyinde belirlenmiştir (Tablo 4. Tablo 5 ve Tablo 6).

Tablo 4. Bilecik İli ve İlçeler Düzeyinde Yabancı Ot Yoğunlukları (adet/m²) ve Rastlanma Sıklıkları (%)

Bilimsel Adı	Türkçe İsmi	İlçe Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)	İl Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)	İl Düzeyinde Rastlanma Sıklığı (%)
		Osmaneli	İlçeler Ortalaması Yoğunluk (adet/m ²)	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Kırmızı köklü tilkikuyruğu	0.24	0.24	16.67
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	Melez sirken	0.22	0.22	12.50
<i>Chenopodium album</i> L.	Sirken	1.98	1.98	54.17
<i>Anthemis</i> sp.	Köpek papatyası	0.11	0.11	4.17
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Çobançantası	0.68	0.68	25.00
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Tarla sarmaşığı	0.17	0.17	8.33
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	Büyük ballıbaba	5.41	5.41	75.00
<i>Medicago sativa</i> L.	Yonca	0.04	0.04	4.17
<i>Malva sylvestris</i> L.	Büyük ebegümeci	0.11	0.11	8.33
<i>Veronica hederifolia</i> L.	Adi yavşanotu	1.24	1.24	29.17
<i>Veronica persica</i> Poir.	Cırcamuk	0.04	0.04	4.17
<i>Lolium perenne</i> L.	İngiliz çimi	0.33	0.33	8.33
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş	0.04	0.04	4.17
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Semizotu	1.22	1.22	12.50
<i>Solanum nigrum</i> L.	Köpeküzümü	0.04	0.04	4.17

Bilecik ilinde 11 familyaya bağlı 15 yabancı ot türü belirlenmiştir. En fazla yoğunluk gösteren yabancı ot türü *Lamium amplexicaule* L. (5.41 adet/m²) olarak saptanmıştır. Özaslan vd. (2002:52)'nin Tokat ili Merkez ilçesinde sonbahar sörveylerinde *L. amplexicaule* L. + *L. purpureum* L. yabancı ot türlerinin ortalama yoğunluğu 8.79 adet/m² olarak belirlenmiş olup bu çalışma ile uyumluluk göstermiştir. Buna göre; Bilecik ili Osmaneli ilçesinde rastlama sıklığı bakımından en çok rastlanan yabancı ot türü %75.00 oranla *L. amplexicaule* L. olarak belirlenmiştir. Wallace ve Stein (2020)'e göre Teksas Eyaleti'nde ıspanak alanlarında besin, su, yer ve ışık gibi kaynaklar için rekabete girerek verimi ve kaliteyi azaltan, hasatta ürüne karışarak sorun oluşturan yabancı ot türlerinden ilk sırada *L. amplexicaule* L. olduğu bildirilmiştir. Ayrıca Özaslan vd. (2002:52)'ye göre Tokat'ın Turhal ilçesinde rastlama sıklığı bakımından *L. amplexicaule* L.'nin %63.63 olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucu, bahsi geçen çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Tablo 5. Bursa İli ve İlçeler Düzeyinde Yabancı Ot Yoğunlukları (adet/m²) ve Rastlanma Sıklıkları (%)

Bilimsel Adı	İlçeler Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)			İl Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)	İlçeler Düzeyinde Rastlanma Sıklığı (%)			İl Düzeyinde RS (%)
	Karacabey	Mustafa kernalpaşa	Yenişehir		Karacabey	Mustafa kernalpaşa	Yenişehir	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	4.17	-	0.04	1.40	25.00	-	3.85	9.62
<i>Chenopodium album</i> L.	4.83	0.5	1.29	2.21	50.00	25.00	42.31	39.10
<i>Anthemis</i> sp.	0.31	0.75	-	0.35	12.50	50.00	-	20.83
<i>Cirsium</i> sp.	-	0.25	0.02	0.09	-	25.00	1.92	8.97
<i>Lactuca serriola</i> L.	0.15	-	-	0.05	12.50	-	-	4.17
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	-	-	0.20	0.07	-	-	9.62	3.21
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	-	-	0.07	0.02	-	-	5.77	1.92
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg.	-	-	0.02	0.01	-	-	1.92	0.64
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	-	0.25	0.07	0.11	-	25.00	5.77	10.26
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	0.10	-	0.77	0.29	12.50	-	19.23	10.58
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	4.69	3.75	0.72	3.05	62.50	75.00	23.08	53.53

Bilimsel Adı	İlçeler Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)			İl Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)	İlçeler Düzeyinde Rastlanma Sıklığı (%)			İl Düzeyinde RS (%)
	Karacabey	Mustafa kemalpaşa	Yenişehir		Karacabey	Mustafa kemalpaşa	Yenişehir	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0.52	1.25	0.17	0.65	25.00	75.00	9.62	36.54
<i>Mercurialis annua</i> L.	0.15	0.50	0.22	0.29	12.50	50.00	9.62	24.04
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	-	-	1.15	0.38	-	-	44.23	14.74
<i>Fumaria officinalis</i> L.	1.35	-	0.09	0.48	25.00	-	3.85	9.62
<i>Veronica hederifolia</i> L.	-	-	0.20	0.07	-	-	9.62	3.21
<i>Veronica persica</i> Poir.	0.15	-	0.09	0.08	12.50	-	3.85	5.45
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	0.42	-	-	0.14	25.00	-	-	8.33
<i>Echinochloa</i> sp.	0.56	-	-	0.19	12.50	-	-	4.17
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	-	-	0.05	0.02	-	-	3.85	1.28
<i>Portulaca oleracea</i> L.	0.52	-	-	0.17	25.00	-	-	8.33
<i>Galium</i> sp.	-	0.50	0.02	0.17	-	25.00	1.92	8.97
<i>Datura stramonium</i> L.	0.73	-	-	0.24	12.50	-	-	4.17
<i>Solanum nigrum</i> L.	2.81	-	0.11	0.97	37.50	-	3.85	13.78

Bursa ilinde üç ilçede 12 familyaya ait 24 yabancı ot türü tespit edilmiştir. İl düzeyinde yabancı ot türleri içerisinde en yoğun ve rastlanma sıklığı bakımından en fazla karşılaşılan yabancı ot türünün *Stellaria media* L. (3.05 adet/m²; %53.53) olduğu tespit edilmiştir.

Rodríguez vd. (2008:208), Kolombiya ıspanak tarlalarında yaptıkları çalışmada *S. media* L. 4.46 m²/adet ile baskın tür olarak kaydedilmiştir. Özasan vd. (2002)'ye göre Tokat ili Turhal ilçesinde tespit edilen yabancı ot türlerinden *S. media* L.'nin rastlama sıklığı oranı %54.54 olarak belirlenmiştir. Buna göre çalışma sonucu önceki çalışma ile benzerdir. Ayrıca Roberts ve Stokes (1966:181) sebze yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlarda topraktaki tohum rezervlerini incelemişler ve en yoğun türlerden birinin *S. media* (L.) Vill. olduğu kaydedilmiştir. Buna göre; çalışma sonuçları bahsi geçen önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Tablo 6. Sakarya İli ve İlçeler Düzeyinde Yabancı Ot Yoğunlukları (adet/m²) ve Rastlanma Sıklığı (%)

Bilimsel Adı	İlçeler Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)			İl Düzeyinde Yoğunluk (adet/m ²)	İlçeler Düzeyinde RS (%)			İl Düzeyinde RS (%)
	Adapazarı	Erenler	Geyve		Adapazarı	Erenler	Geyve	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	0.21	0	0	0.07	15.63	-	-	5.21
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	0.08	0	0	0.03	3.13	-	-	1.04
<i>Chenopodium album</i> L.	0.35	0	0	0.12	18.75	-	-	6.25
<i>Conium maculatum</i> L.	0	0	0.13	0.04	-	-	4.35	1.45
<i>Lactuca serriola</i> L.	0.24	0	0	0.08	9.38	-	-	3.13
<i>Senecio vulgaris</i> L.	0.10	0	0	0.03	9.38	-	-	3.13
<i>Xanthium strumarium</i> L.	0.05	0	0	0.02	6.25	-	-	2.08
<i>Heliotropium europaeum</i> L.	0.10	0	0	0.03	6.25	-	-	2.08
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0.40	0	0	0.13	12.50	-	-	4.17
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	1.13	0	0.06	0.40	21.88	-	6.52	9.47
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0.06	0	0.02	0.03	3.13	-	2.17	1.77
<i>Mercurialis annua</i> L.	0.19	0	0	0.06	15.63	-	-	5.21
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	0	0.40	0.35	0.25	-	31.82	21.74	17.85
<i>Medicago sativa</i> L.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Trifolium</i> sp.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Veronica hederifolia</i> L.	0.04	4.22	2.13	2.13	3.13	45.45	60.87	36.48
<i>Veronica persica</i> Poir.	2.38	0.16	0.10	0.88	9.38	13.64	2.17	8.40
<i>Veronica filiformis</i> L.	0	0.21	0.05	0.09	-	9.09	4.35	4.48
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	0.65	0	0	0.22	15.63	-	-	5.21
<i>Echinochloa</i> sp.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Poa annua</i> L.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Portulaca oleracea</i> L.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Datura stramonium</i> L.	0.03	0	0	0.01	3.13	-	-	1.04
<i>Solanum nigrum</i> L.	0.03	0.43	0	0.01	3.13	22.73	-	8.62

Sakarya ili kapsamında üç ilçede 14 familyaya ait 24 adet yabancı ot türü tespit edilmiştir. İl düzeyinde yabancı ot türleri içerisinde en yoğun ve rastlanma sıklığı bakımından en fazla karşılaşılan yabancı ot türünün *Veronica hederifolia* L. (2.13 adet/m²; %36.48) olduğu tespit edilmiştir. Özasan (2002:52)'ye göre Tokat ili Turhal ilçesinde *V. hederifolia* L.+*V. persica* Poir türleri toplam yoğunluğu olarak almış ve yoğunluğu 7.78 adet/m² olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Tokat ili Merkez ilçede sonbahar döneminde ekilen ıspanak alanlarında *V. hederifolia* L.+*V. persica* L. türlerinin toplam rastlama sıklığı oranının %50 olduğu kaydedilmiştir (Özaslan vd.. 2002:52). Çalışma sonuçları önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

4. SONUÇ

Ispanak yetiştiriciliği içerdiği vitamin ve mineraller açısından zengin bir sebze olması ve dünya üretiminde ilk beş ülke arasında yer almamız sebebiyle sürdürülebilirliği ve verimliliği desteklenmesi gereken bir sebze türüdür. Yabancı otların yüksek rekabet yeteneği sebebiyle özellikle yapraklı sebzelerin verim ve kaliteyi düşürmesi sebebiyle önemli bir sorundur. Bu sebeple tüm sezon boyunca yabancı ot mücadelesi yapılmalıdır. Yabancı ot mücadelesinde ise ilk koşul alanda yabancı ot tür, yoğunluk ve rastlanma sıklığının belirlenmesidir.

Marmara Bölgesi'nde en yoğun ıspanak üretimi yapılan iller; Bilecik, Bursa ve Sakarya illeridir. Ispanak üretim alanlarında yapılan saha çalışmalarında Asteraceae ve Poaceae familyası başta olmak üzere 17 familyaya ait 35 farklı yabancı ot türü tespit edilmiştir. İl düzeyinde en fazla yoğunluk gösteren yabancı ot türleri belirlenmiş olup buna göre; Bilecik ilinde *Lamium amplexicaule* L. (5.41 adet/m²), Bursa ilinde *Stellaria media* L. (3.05 adet/m²), Sakarya ilinde *Veronica hederifolia* L. (2.13 adet/m²)'dir. Bölgede rastlama sıklığı bakımından en fazla rastlanan türler; *L. amplexicaule* L., *S. media* L., *Convolvulus arvensis* L., *V. hederifolia* L. olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yabancı ot türlerinin yaygınlıkları, rekabet yeteneklerinin fazla olması, eradikasyonunun da mümkün olmadığı ve özellikle hasatta ürüne karışma durumunun insan sağlığı açısından riski de göz önüne alındığında yabancı ot mücadelesi öncelikli bitki koruma sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilecik, Bursa ve Sakarya illeri Ispanak yetiştiriciliğinde yabancı ot mücadelesinde ilk adım olarak nitelendirilebilecek bu çalışma ile yabancı ot mücadele çalışmalarına bilgi kaynağı sağlaması beklenmekte ve çalışmaların artırılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

- Anonim (2011). Ispanakgil Sebzeleri Yetiştiriciliği. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Orta Öğretim Projesi. Tarım Teknolojileri. 622b00239. Ankara. 2011. 74 S.
- Balkaya, A., Sarıbaş, Ş., & Özgen, T. (2017). Türkiye'de kışlık sebze türlerinin tarımsal üretimdeki yeri ve önemi. *Türktob Dergisi*, 20, 8-12.
- Bigongiali, F., Carlesi, S., Antichi, D., Fontanelli, M., Frascioni, C., Peruzzi, A., & Barberi, P. (2014). Innovative strategies for weed control in organic spinach and cauliflower. In *Atti del XLIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Agronomia* (pp. 30-30). SOCIETÀ ITALIANA DI AGRONOMIA (SIA).
- Bora, T., Karaca, İ. (1970). Kültür Bitkilerinde Hastalığın ve Zararın Ölçülmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. İzmir. Ders Kitabı No:167. S:8.
- Davis, P. H. (Ed.). (1965–1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Cilt 1–10). Edinburgh University Press.
- Drost, D. (2020). Spinach in the Garden,**
https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1249&context=extension_curall, 10.12.2023.
- FAO (2020). Spinach. <https://data.un.org/Data.aspx?q=spinach&d=FAO&f=itemCode%3a373>, 24.12.2024.
- Ghorbani, R., Khoramdel, S., Asadi, G. H., & Afrikan, R. (2015). Evaluation the effect of weed management strategies on weed seed bank and spinach yield (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Protection*, 29(3), 400-411.
- Günay, A. (1992). "Özel Sebze Yetiştiriciliği". s. 80, Kişisel Yayın, Cilt-2. Ankara.
- Lsstrange, M. (2001). UC IPM Pest Management Guidelines-Spinach (Vol.3467). University Of California. Anr/Communication Services. https://ipm.ucanr.edu/legacy_assets/PDF/PMG/pmgspinach.pdf, 10.12.2023.
- Mennan, H., Jabran, K., Zandstra, B. H., & Pala, F. (2020). Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. *Agronomy*, 10(2), 257.
- Odum, E. P. (1971). Fundamentals of Ecology–WB Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto, 574.
- Özaslan, C., Önen, H., Özer, Z. (2002). Tokat-Kazova'da İlkbahar ve Sonbahar Ispanak (*Spinacia Oleracea* L.) Yetiştiriciliğinde Sorun Olan Yabancı Otların Belirlenmesi. *Türkiye Herboloji Dergisi*. 5(1):52-61.
- Roberts, H. A., & Stokes, F. G. (1966). Studies on the weeds of vegetable crops. VI. Seed populations of soil under commercial cropping. *Journal of Applied Ecology*, 181-190.
- Rodriguez, M., & Plaza, G. GilR., Chaves, B., Jiménez, J.(2008). Recognition and population fluctuation of weeds in spinach crop (*Spinacia oleracea* L.) in the municipality of Cota, Cundinamarca. *Agronomia Colombiana*, 26(1), 208-211.

- Sensoy, S., Turkmen, O., & Gorgun, Y. (2011). Determination of suitable sowing dates for spinach production in Van ecological condition. *Yyu J Agr Sci*, 21, 140-145.
- TÜİK (2019). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, 01.09.2020.
- Uluğ, E., Kadioğlu İ., Üremiş İ. (1993). Türkiye'nin yabancı otları ve bazı özellikleri. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No:78, Adana.
- Wallace, R., Stein, L. (2020). <https://agrillifeextension.tamu.edu/library/farming/spinach-weed-control-for-texas/> , Spinach Weed Control for Texas, 11.11.2020.

ORCID: 0000-0003-3850-7416 | 0000-0001-6246-8707

Getiri Eğrisi Öngörüsünde Karmaşıklık Kazandırır Mı? Gelişmiş Ve Gelişmekte Olan Piyasalarda Dinamik Nelson-Siegel Modeli İçin Tahmin Stratejileri

Arş. Gör. Dr. Cemal Öztürk*, Prof. Dr. İsmail Çevis*

¹ Iğdır University² Pamukkale University* Corresponding Author: Cemal Öztürk
cemal.ozturk@igdir.edu.tr

ÖZET

Getiri eğrisinin sağlıklı biçimde öngörülmesi, para politikasının izlenmesinden kamu borç yönetimine kadar pek çok alanda kritik önem taşımaktadır. Bu amaçla en sık başvurulan araç olan dinamik Nelson-Siegel (DNS) modeli uygulamada farklı yollarla tahmin edilebilmektedir: faktörler her hafta ayrı ayrı elde edilip tek değişkenli AR(1) süreçleriyle öngörülebilme, faktörler arası etkileşimlere izin veren bir VAR(1) kurulabilme ya da sistem bütünüyle durum-uzayı biçiminde yazılarak Kalman filtresi ve EM algoritmasıyla tek aşamada tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu tahmin stratejilerinin öngörü başarısını ortak bir deneysel tasarım içinde karşılaştırmaktır. Bu doğrultuda ABD, Euro Bölgesi ve Türkiye'nin 2014–2023 dönemine ait haftalık sıfır kuponlu getiri eğrileri kullanılmış; 250 haftalık kayan pencereler ile bir, üç ve altı aylık ufuklar üzerinden, rastgele yürüyüş, AR(1) ve kısıtsız VAR ölçütleri dâhil altı model değerlendirilmiştir. Bulgular, tahmin yöntemi karmaşıklıkla öngörü doğruluğunun düzenli biçimde gerilediğini ortaya koymaktadır. Naif ölçütleri geçebilen tek strateji iki aşamalı AR(1) uygulamasıdır; bu üstünlük yalnızca Türkiye'de, üç ve altı aylık ufuklarda ve yüzde sekize varan oranlarda gözlenmektedir. Bunun nedeni, birim kök sınırındaki faktör dinamiklerinin karmaşık tahminlerde örnekleme hatasını büyütmesidir; durağan olmayan tahminleri rastgele yürüyüşe döndüren basit bir düzeltme, ek hatayı yüzde on ikiye kadar önlemektedir. Sonuçlar, merkez bankalarının öngörü sistemlerinde karmaşıklığa değil disipline öncelik vermesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: getiri eğrisi, dinamik Nelson-Siegel, kalman filtresi, öngörü performansı, gelişmekte olan piyasalar

Does Sophistication Pay in Yield-Curve Forecasting? Estimation Strategies For The Dynamic Nelson-Siegel Model Across Developed And Emerging Markets

ABSTRACT

The yield curve feeds a wide range of policy decisions, and the dynamic Nelson-Siegel (DNS) model remains the most widely used tool for projecting it. Practitioners, however, must decide how the model is to be estimated: factors may be extracted week by week and projected with separate AR(1) processes, tracked jointly through a VAR(1), or estimated in a single pass with the Kalman filter and the EM algorithm. Systematic evidence on what this choice costs is scarce. This study evaluates the three strategies alongside random-walk, AR(1) and unrestricted VAR benchmarks within a fully common rolling-window design covering weekly zero-coupon curves for the United States, the euro area and Türkiye over 2014–2023, with 250-week estimation windows and horizons of one, three and six months. Forecast accuracy worsens almost step by step as estimation becomes more elaborate. The plain two-step AR(1) implementation is the only strategy that outperforms the naive benchmarks, in Türkiye at quarterly horizons by up to eight percent. Factor dynamics estimated near the unit-root boundary explain this pattern, and a correction returning explosive systems to a random walk avoids up to twelve percent of additional error. Central banks should therefore invest in discipline rather than complexity.

Keywords: yield curve, dynamic Nelson-Siegel, kalman filter, forecast performance, emerging markets

1. INTRODUCTION

The term structure of interest rates condenses a great deal of forward-looking information, so forecasting it is a routine task inside central banks, treasuries and asset-management desks. Since Diebold and Li (2006) recast the Nelson-Siegel curve in dynamic form, their specification has become the tool practitioners reach for most often: it reduces the cross-section of yields to three interpretable factors, namely level, slope and curvature (Litterman and Scheinkman, 1991), and turns forecasting the curve into forecasting those factors. What the model does not settle is how the factors should be estimated. They can be extracted cross-section by cross-section and each projected with a univariate autoregression; they can interact through a vector autoregression (VAR); or the whole system can be cast in state-space form and estimated jointly with the Kalman filter and the EM algorithm (Diebold, Rudebusch and Aruoba, 2006; Koopman, Mallee and van der Wel, 2010). Joint estimation is asymptotically the most efficient,

but whether that advantage survives finite rolling windows and markets that shift regime is an open question, and the evidence is thin outside the advanced economies.

The choice matters because curve forecasts are policy inputs rather than mere trading signals. The term structure encodes expectations about future policy and activity (Gürkaynak and Wright, 2012), and central banks keep curve models running for scenario work, reserve management and communication. If institutional effort drifts towards ever more elaborate estimation while accuracy slips, the price is paid in the quality of policy analysis. Forecasters have long cautioned that simple methods are hard to beat (Makridakis and Hibon, 2000; Green and Armstrong, 2015); we test that caution on the term structure, where it has not been examined systematically within the DNS family.

We organise the DNS implementation choices as a three-rung ladder—two-step estimation with univariate AR(1) factors (DNS-AR), two-step estimation with a factor VAR(1) (DNS-VAR) and one-step Kalman-filter estimation with EM (DNS-KF)—and pit each rung against three yardsticks: a random walk, a maturity-by-maturity AR(1) and an unrestricted VAR(1) on yields. Every model sees the same data, the same 250-week training window, the same forecast origins and the same loss, so the comparison is exactly like for like. The testing ground runs from developed to emerging: weekly government bond yield curves for the United States, the euro area and Türkiye over 2014–2023, a span that takes in the effective-lower-bound years, the COVID-19 shock, the 2021–2023 tightening and Türkiye’s unorthodox-policy episode. The paper makes three contributions. It offers the first like-for-like comparison of DNS estimation strategies across developed and emerging markets; it pins down the mechanism behind the parsimony advantage using rolling spectral radii of the factor transition matrix; and it converts the findings into concrete guidance for policy institutions. Section 2 reviews the literature, Section 3 sets out the data and methodology, Section 4 presents the results, Section 5 discusses policy and Section 6 concludes.

2. RELATED LITERATURE

Three literatures meet in this exercise. The first is the modelling of the term structure. Parsimonious factor curves trace back to Nelson and Siegel (1987); Diebold and Li (2006) gave the representation its dynamic form and showed its forecasting value for U.S. Treasuries. Christensen, Diebold and Rudebusch (2011) later derived an arbitrage-free counterpart, and Diebold, Li and Yue (2008) extended the framework to a global setting. State-space estimation of the model dates to Diebold, Rudebusch and Aruoba (2006), with time-varying-parameter extensions in Koopman, Mallee and van der Wel (2010), while Diebold and Rudebusch (2013) provide a book-length treatment. Our ladder simply collects the implementations this literature has already placed on the practitioner’s desk.

The second literature is predictability. Although the term structure carries information about future rates, exploiting it out of sample is hard: Duffee (2002) documents the weak forecasts of standard affine models, which is why Diebold and Li (2006) benchmark against a random walk. Against this, the recurring verdict of large forecasting comparisons is that added complexity tends to cost accuracy (Makridakis and Hibon, 2000; Green and Armstrong, 2015), a verdict not yet examined systematically within the DNS family across developed and emerging markets. The third literature is emerging-market evidence, which is sparse next to the work on the United States and the euro area (Castello and Resta, 2025). Türkiye, where high volatility meets abrupt policy shifts, is an unusually demanding test bed. Comparisons of DNS implementations do exist for advanced economies; Yu and Zivot (2011) find the two-step route competitive with state-space estimation for U.S. yields. But a single design that spans developed and emerging markets, states its benchmarks explicitly and prices an explosivity correction is, as far as we know, new, and that is the gap we fill.

3. DATA AND METHODOLOGY

3.1. Data

We use weekly government bond yield curves for three markets chosen to span a developed-to-emerging range. For the United States we take the eleven constant-maturity Treasury (CMT) par yields published by the U.S. Department of the Treasury¹; the euro-area series are the AAA-rated central-government zero-coupon spot rates estimated by the European Central Bank with the Svensson method, and the Turkish zero-coupon yields are drawn from Refinitiv. To dampen microstructure noise we sample each Monday. Table 1 summarises the three panels.

¹ These are constant-maturity par yields rather than zero-coupon spot rates; following common practice in applied Nelson-Siegel work, we fit the cross-section to them directly. The Gürkaynak, Sack and Wright (2007) zero-coupon curve is an alternative source for the U.S. market.

Table 1. Summary of the Datasets

Market	Sample	Weekly Obs.	Maturities	Shortest	Longest
United States	2014.01 – 2021.12	418	11	1M	30Y
Euro area	2014.01 – 2023.03	482	32	3M	30Y
Türkiye	2014.01 – 2023.05	491	9	1M	10Y

Notes: Weekly (Monday) observations. The last two columns give the shortest and longest tenor on each curve.

The samples share a January 2014 start but end on different dates because of availability — end-2021 for the United States, early 2023 for the euro area and mid-2023 for Türkiye. Since every comparison stays within a market on identical windows and origins, the differing end dates leave the rankings untouched. The maturity grids differ in richness, from nine Turkish tenors to thirty-two euro-area ones, which matters for the unrestricted VAR benchmark, whose parameter count scales with the square of the grid. Levels and volatility differ just as sharply: U.S. and euro-area yields average below three percent, with euro-area rates spending years in negative territory, whereas Turkish yields average near thirteen percent and are far more volatile. That dispersion is what lets the three markets tell the estimation strategies apart.

3.2. The Nelson-Siegel Model and Estimation Strategies

For a given week, the Nelson-Siegel form describes the yield cross-section with three factors and a decay parameter (λ): the level loading equals one at every maturity, the slope loading falls from one to zero, and the curvature loading is hump-shaped. We fix λ per market by a grid search over $[0.05, 1.49]$ in steps of 0.01 that minimises the pooled cross-sectional residual sum of squares, obtaining 0.47 for the United States, 0.41 for the euro area and 1.49 for Türkiye; the Turkish value sits at the upper grid bound, so its cross-sectional optimum may lie slightly higher. Because λ governs only the shape of the factor loadings and is held common across all six estimators, it cannot affect their relative ranking, and we treat it as a fixed design constant chosen on the cross-sectional fit rather than on forecast accuracy. With λ fixed, each weekly factor vector follows from an ordinary least squares fit of the observed cross-section on the loading matrix.

The two-step strategies build on these factor series. DNS-AR forecasts each factor with its own AR(1); DNS-VAR estimates an intercept-augmented trivariate VAR(1) that lets level, slope and curvature interact. The one-step strategy, DNS-KF, treats the model as a linear Gaussian state-space system: the loading matrix is held fixed, the factors follow a first-order VAR with intercept, and the transition matrix, the covariances and the initial state are estimated by the Shumway and Stoffer (1982) EM algorithm, started from the two-step estimates and iterated to convergence. All three carry the same safeguard: if the estimated autoregressive root or the spectral radius of the transition matrix reaches one, the factor forecast reverts to a driftless random walk that holds the factors at their last values. The unrestricted VAR(1) benchmark follows the same rule but acts on the yield vector itself, dropping the Nelson-Siegel restriction.

3.3. Forecast Design and Evaluation

Each model is re-estimated at every origin on the fixed 250-week window as it rolls forward one week at a time, giving 143 origins for the United States, 207 for the euro area and 216 for Türkiye. The models generate iterated 26-week paths, from which we read off the one-, three- and six-month (4-, 13- and 26-week) horizons. Accuracy is the root mean squared error (RMSE) across origins and maturities, and equal predictive accuracy is tested with the Diebold and Mariano (1995) statistic. The whole pipeline is deterministic, so every figure reported below reproduces exactly from the code and data.

4. EMPIRICAL RESULTS

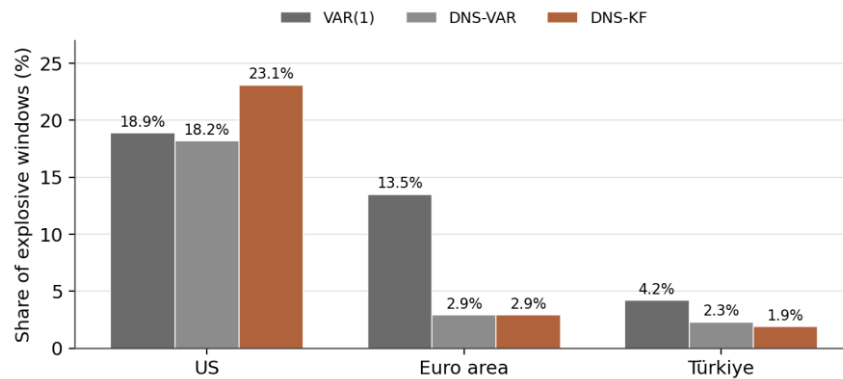
4.1. Factor Dynamics at the Unit-Root Boundary

We start with what the two estimation routes actually pull out of the data. On the level and slope factors the two-step OLS paths and the Kalman-smoothed paths line up closely; the smoother mostly strips high-frequency noise from the curvature factor, so the extra information that full-information estimation recovers is visibly small. What stands out instead is where the factor dynamics sit: on the unit circle in every market, with full-sample spectral radii between 0.981 and 1.010. Estimated this close to the boundary in 250-week windows, the dynamics will cross it again and again.

Figure 1 shows how often. Explosive estimates occur frequently, reaching almost a quarter of U.S. windows for the state-space estimator and a fifth for the factor VAR, and they cluster in the lower-bound years, when yields drifted with little mean reversion for a window to lock onto. This pattern is consistent with the mechanism that we

argue drives the results: near the unit root, richer parameterisations are estimated with more sampling error, and small errors in near-unit roots snowball through iterated multi-step forecasts.

Figure 1. Frequency of Explosive Rolling-Window Estimates (250-Week Windows)



4.2. Out-of-Sample Forecast Accuracy

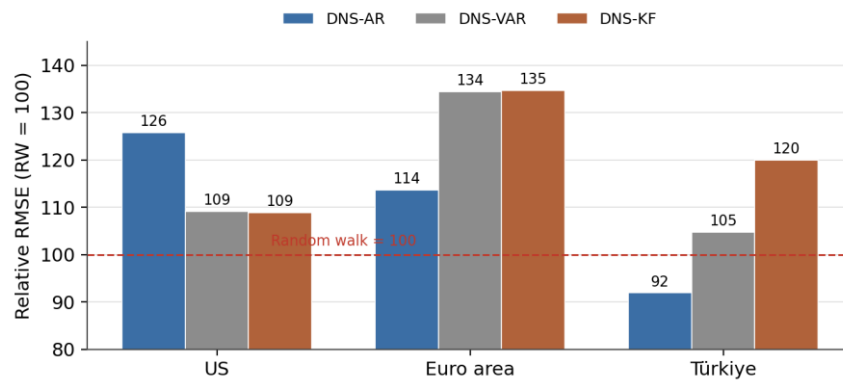
Table 2 gathers the out-of-sample RMSEs for all six models, three markets and three horizons, with row minima in bold. Reading the Turkish rows left to right at six months lays the pattern bare: DNS-AR 3.42, DNS-VAR 3.90, DNS-KF 4.46. Going from univariate to multivariate factor dynamics costs about fourteen percent of accuracy, and moving on to joint estimation costs roughly another fourteen. The euro area repeats the ordering (0.52, 0.61, 0.61).

Table 2. Out-of-Sample Forecast Errors (RMSE, Percentage Points)

Market	Horizon	RW	AR(1)	VAR(1)	DNS-AR	DNS-VAR	DNS-KF
United States	1M	0.164	0.167	0.170	0.188	0.175	0.184
United States	3M	0.311	0.323	0.346	0.373	0.334	0.332
United States	6M	0.466	0.492	0.530	0.586	0.509	0.507
Euro area	1M	0.166	0.172	0.205	0.176	0.182	0.183
Euro area	3M	0.301	0.323	0.398	0.335	0.381	0.377
Euro area	6M	0.455	0.492	0.634	0.517	0.612	0.613
Türkiye	1M	1.570	1.565	1.617	1.575	1.631	1.709
Türkiye	3M	2.609	2.592	2.750	2.543	2.747	3.046
Türkiye	6M	3.719	3.588	3.888	3.417	3.896	4.460

Notes: Rolling-origin forecasts on the fixed 250-week window; RMSE over origins and maturities. Bold marks the row minimum. RW: random walk.

Against the benchmarks, one strategy stands apart. DNS-AR is the only rung that beats the random walk anywhere, and it does so only in Türkiye, at three months (2.54 against 2.61) and six months (3.42 against 3.72, an 8.1 percent gain). In the United States nothing beats the random walk and the ladder even inverts, as one would expect once boundary dynamics leave no mean reversion to exploit and the remaining gaps reflect estimation noise alone. The unrestricted yields-VAR trails everywhere and struggles most on the thirty-two-tenor euro-area curve. Figure 2 recasts the six-month comparison relative to the random walk: only Türkiye's DNS-AR drops below the benchmark, while every other bar sits above it.

Figure 2. Forecast Errors Relative to the Random Walk (Six-Month Horizon, RW = 100)

The point rankings hold up under formal testing. Table 3 reports Diebold-Mariano statistics for every model against the random walk, and for the two elaborate DNS variants against DNS-AR. In the developed markets every significant departure from the naive benchmarks is a deterioration, sharpest for the euro-area yields-VAR and state-space DNS; the Turkish DNS-AR gains at longer horizons are economically meaningful but fall short of significance, because volatile yields make the loss differentials noisy. The within-ladder tests bite harder: DNS-VAR and DNS-KF are significantly less accurate than DNS-AR across all euro-area horizons and at the shorter Turkish ones. In short, the data reject sophistication against parsimony more firmly than they reject parsimony against naivety.

Table 3. Diebold-Mariano Test Statistics

Market	Horizon	AR(1)	VAR(1)	DNS-AR	DNS-VAR	DNS-KF	DNS-VAR vs AR	DNS-KF vs AR
United States	1M	1.65*	1.44	4.17***	4.13***	3.93***	-1.69*	-0.35
United States	3M	1.37	1.89*	2.27**	2.50**	2.10**	-1.53	-1.32
United States	6M	1.32	2.26**	1.75*	1.82*	1.96*	-1.36	-1.28
Euro area	1M	3.19***	2.19**	3.24***	1.47	1.76*	0.59	0.82
Euro area	3M	2.59***	1.57	2.75***	1.29	1.31	0.89	0.88
Euro area	6M	2.54**	1.41	2.73***	1.31	1.28	0.97	0.94
Türkiye	1M	-0.32	1.19	0.07	1.23	2.66***	0.90	1.56
Türkiye	3M	-0.25	1.40	-0.28	1.09	3.29***	1.24	2.27**
Türkiye	6M	-0.99	1.08	-0.76	0.97	2.18**	1.29	1.98**

Notes: Columns 3–7 test each model against the random walk (positive = model worse than RW); the final two test DNS-VAR and DNS-KF against DNS-AR (positive = worse than DNS-AR). Loss is the mean squared error over the h -step path and across maturities at each origin; the variance uses a Newey-West HAC estimator with lag $h-1$. *, ** and *** denote significance at 10, 5 and 1 percent.

4.3. The Price of the Explosivity Correction

Because the rolling transition estimates cross the unit circle as often as Figure 1 records, the random-walk fallback is no technical afterthought. Rerunning DNS-VAR with the correction switched off inflates the six-month RMSE by seven percent in the United States, twelve in the euro area and three in Türkiye, and the damage bunches at regime turns, precisely the moments a policy institution can least afford to miss. With the rule off, the six-month forecast extends the recent drift without limit and pulls the curve away from the outcome; with it on, the forecast stays anchored. The safeguard costs nothing and is fully transparent, so we treat it as a mandatory part of any DNS forecasting setup.

5. POLICY IMPLICATIONS

For central banks, the message concerns forecasting infrastructure. Curve models feed everything from reading expectations off the term structure (Gürkaynak and Wright, 2012) to portfolio stress tests, and our evidence says the marginal unit of effort is better spent on discipline than on sophistication: explosivity safeguards, parsimonious factor dynamics and honest rolling evaluation. Institutions that adopted state-space estimation for its asymptotic efficiency should note that in every market we examine, that efficiency is swamped by finite-window estimation error at the unit-root boundary. For emerging-market debt managers, the usable quarterly-horizon predictability that exists in Türkiye, yet is captured only by the plainest DNS implementation, means term-structure

inertia can inform issuance timing and duration choices, provided the system is not over-parameterised. At the scale of a sovereign issuance programme an eight-percent six-month accuracy gain is potentially material, though quantifying its value would require a formal cost or decision analysis that we leave to future work.

For monetary-policy analysis, the factor estimates are themselves informative. Türkiye's level factor, the curve's long-run anchor, doubles during the 2021–2023 easing episode while the slope factor flips sign: rate cuts steepened the curve instead of lowering it, a pattern often read as a de-anchoring of long-horizon expectations, though the level factor blends expected rates with term and inflation premia that we do not separate here. Because the two-step factors capture this just as well as the Kalman smoother, a real-time monitor built on DNS factors is cheap to run and needs no filtering machinery.

6. CONCLUSION

Laid out as an estimation ladder and judged like for like across the United States, the euro area and Türkiye, the implementation choices of the dynamic Nelson-Siegel model return a clear verdict: sophistication does not pay. Univariate two-step estimation beats its multivariate and state-space rivals out of sample and is the only strategy that improves on naive benchmarks where predictability actually exists, namely the emerging market at quarterly horizons. The most plausible reason is the unit-root boundary on which the factor dynamics sit, which turns parameter richness into forecast noise and makes the explosivity correction an indispensable piece of practice.

The study has boundaries that mark out future work: the decay parameter is fixed within each market, evaluation is limited to point accuracy, and only one emerging market is examined. Time-varying parameters (Koopman, Mallee and van der Wel, 2010; Castello and Resta, 2025), density evaluation and a wider emerging-market panel are natural next steps. The practical bottom line is unlikely to change: in yield-curve forecasting the returns to estimation sophistication are at best zero, while the returns to discipline are large.

REFERENCES

- Castello, O., & Resta, M. (2025). Optimal time varying parameters in yield curve modeling and forecasting: A simulation study on BRICS countries. *Computational Economics*, 65(4), 2081–2113. <https://doi.org/10.1007/s10614-024-10619-z>
- Christensen, J. H. E., Diebold, F. X., & Rudebusch, G. D. (2011). The affine arbitrage-free class of Nelson-Siegel term structure models. *Journal of Econometrics*, 164(1), 4–20. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2011.02.011>
- Diebold, F. X., & Li, C. (2006). Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics*, 130(2), 337–364. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.03.005>
- Diebold, F. X., Li, C., & Yue, V. Z. (2008). Global yield curve dynamics and interactions: A dynamic Nelson-Siegel approach. *Journal of Econometrics*, 146(2), 351–363. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2008.08.017>
- Diebold, F. X., & Mariano, R. S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(3), 253–263. <https://doi.org/10.1080/07350015.1995.10524599>
- Diebold, F. X., & Rudebusch, G. D. (2013). *Yield curve modeling and forecasting: The dynamic Nelson-Siegel approach*. Princeton University Press.
- Diebold, F. X., Rudebusch, G. D., & Aruoba, S. B. (2006). The macroeconomy and the yield curve: A dynamic latent factor approach. *Journal of Econometrics*, 131(1–2), 309–338. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.01.011>
- Duffee, G. R. (2002). Term premia and interest rate forecasts in affine models. *The Journal of Finance*, 57(1), 405–443. <https://doi.org/10.1111/1540-6261.00426>
- Green, K. C., & Armstrong, J. S. (2015). Simple versus complex forecasting: The evidence. *Journal of Business Research*, 68(8), 1678–1685. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.03.026>
- Gürkaynak, R. S., Sack, B., & Wright, J. H. (2007). The U.S. Treasury yield curve: 1961 to the present. *Journal of Monetary Economics*, 54(8), 2291–2304. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2007.06.029>
- Gürkaynak, R. S., & Wright, J. H. (2012). Macroeconomics and the term structure. *Journal of Economic Literature*, 50(2), 331–367. <https://doi.org/10.1257/jel.50.2.331>
- Koopman, S. J., Mallee, M. I. P., & van der Wel, M. (2010). Analyzing the term structure of interest rates using the dynamic Nelson-Siegel model with time-varying parameters. *Journal of Business & Economic Statistics*, 28(3), 329–343. <https://doi.org/10.1198/jbes.2009.07295>

- Litterman, R., & Scheinkman, J. (1991). Common factors affecting bond returns. *The Journal of Fixed Income*, 1(1), 54–61. <https://doi.org/10.3905/jfi.1991.692347>
- Makridakis, S., & Hibon, M. (2000). The M3-competition: Results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 16(4), 451–476. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(00\)00057-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(00)00057-1)
- Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). Parsimonious modeling of yield curves. *The Journal of Business*, 60(4), 473–489. <https://doi.org/10.1086/296409>
- Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (1982). An approach to time series smoothing and forecasting using the EM algorithm. *Journal of Time Series Analysis*, 3(4), 253–264. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1982.tb00349.x>
- Yu, W.-C., & Zivot, E. (2011). Forecasting the term structures of Treasury and corporate yields using dynamic Nelson-Siegel models. *International Journal of Forecasting*, 27(2), 579–591. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2010.04.002>

ORCID: 0009-0000-9004-4354

Endüstriyel Sabit Gaz Dedektörlerinde Sensör Drift Telifisi İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Çok Teknolojili Füzyon Mimarisi Önerisi

Researcher Saadet Süeda Öz^{*1}¹ Uestco Enerji Sistemleri

* Corresponding Author: Saadet Süeda Öz

sueda.oz@ozu.edu.tr

ÖZET

Endüstriyel sabit gaz dedektörlerindeki katalitik, NDIR ve elektrokimyasal sensörler zamanla kalibrasyon kayması (drift) nedeniyle güvenilirliklerini yitirmektedir. Periyodik yeniden kalibrasyon ise önemli bir işletme maliyeti oluşturmaktadır. Bu çalışma, driftin gaz sınıflandırma performansına etkisini nicel olarak ortaya koyarken makine öğrenmesi tabanlı telifi ve izleme yöntemlerini adil bir protokole karşılaştırmaktadır. UCI Gaz Sensör Dizisi Drift veri setinde (13.910 örnek, 16 sensör, 6 gaz, 36 ayda 10 parti), denetimsiz alan uyarılama (CORAL, Altuzay Hizalama) ve sınırlı etiketli artımlı öğrenme, sınıflandırıcı parametreleri sabitlenerek 10 tekrarlı protokolle değerlendirilmiştir. Drift, doğruluğu %97,3'ten %40,8'e düşürmektedir. En güvenilir kazancı driftte dayanıklı doğrusal sınıflandırıcı seçimi sağlamıştır (%37,6'dan %55,8'e). CORAL performansı tutarlı biçimde düşürmüştür (%47,6), Altuzay Hizalama ortalamada en yüksek doğruluğa ulaşsa da (%62,5) partiler arasında kararsız kalmış, sınırlı (%10-30) hedef etiketiyle artımlı öğrenme bazı metriklerde iyileşme sağlasa da yüksek değişkenlik nedeniyle kararlı bir üstünlük gösterememiştir. Aynı teknoloji (MOx) sensörler benzer drift sergilediğinden karar düzeyi füzyon da kazanç sağlamamıştır. İzleme deneyleri, model güven skorunun driftte karşı duyarsız olduğunu, girdi uzayı istatistiklerinin ise driftin varlığını tespit ettiğini ancak şiddetini öngöremediğini göstermiştir. Sonuç olarak, hiçbir tekil yazılımsal yöntem güvenilir telifi sağlamamakta; driftte dayanıklı basit sınıflandırıcıların, girdi istatistiğine dayalı kalibrasyon uyarısının ve çok-teknolojili füzyon mimarisinin bütünlüklü kullanımı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gaz Sensörleri, Sensör Drifti, Alan Uyarılama, Artımlı Öğrenme, Sensör Füzyonu, Kalibrasyon

A Proposed Machine Learning-Based Multi-Technology Fusion Architecture For Sensor Drift Compensation in Industrial Fixed Gas Detectors

ABSTRACT

Catalytic, NDIR, and electrochemical sensors in industrial fixed gas detectors lose reliability over time due to calibration drift. Periodic recalibration is also highly costly. This study quantifies impact of drift on gas classification and compares machine learning-based compensation and monitoring methods under fair protocol. On UCI Gas Sensor Array Drift dataset (13,910 samples, 16 sensors, 6 gases, 10 batches over 36 months), unsupervised domain adaptation (CORAL, Subspace Alignment) and incremental learning with limited labels were evaluated with fixed classifier parameters across 10 seeds. Drift reduces accuracy from 97.3% to 40.8%. The most reliable gain came from drift-robust linear classifier (37.6% to 55.8%). CORAL consistently reduced performance to 47.6%. Subspace Alignment achieved the highest average accuracy of 62.5%, but was unstable across batches. Incremental learning with limited (10–30%) target labels improved some metrics, but lacked consistent advantage due to high variability. Since same-technology (MOx) sensors exhibit correlated drift, decision-level fusion also provided no gain. Monitoring experiments showed that model confidence remains blind to drift, whereas input-space statistics detect its presence but cannot predict its severity. In conclusion, no single software-based method provides reliable compensation. Integrated design combining drift-robust simple classifiers, input-statistics-based calibration alerts, and a multi-technology fusion architecture is recommended.

Keywords: Gas Sensors, Sensor Drift, Domain Adaptation, Incremental Learning, Sensor Fusion, Calibration

1. INTRODUCTION

Fixed gas detectors are safety critical instruments operated continuously in petrochemical plants, energy infrastructure and other industrial facilities. Commercial systems use mature sensing technologies, including catalytic pellistors for combustible gases, non-dispersive infrared (NDIR) sensing for infrared active gases, and electrochemical cells for toxic gases. Those alarm functions are governed by performance standards such as IEC 60079-29-0:2025 (IEC, 2025). A missed alarm can cost lives, while a false alarm may interrupt production; the reliability of the decisions produced by these instruments is therefore a fundamental safety requirement rather than a convenience.

Many gas-sensing technologies are susceptible to sensor drift, i.e., gradual and often unpredictable changes in their response characteristics during operation. Such changes can arise from sensing-element aging, poisoning, environmental variation, and other changes in the measurement system (Rudnitskaya, 2018:1-2; Vergara et al., 2012:320-321). By altering the relationship between analyte exposure and sensor response, drift degrades the validity of calibration and classification models. Periodic recalibration with reference gases is effective but costly in technician time, experimental effort, consumables, and system downtime (Rodriguez-Lujan et al., 2014:123-124; Rudnitskaya, 2018:1-2). Reducing this recalibration burden without compromising safety is therefore operationally important.

Software-based drift compensation may help preserve model performance and delay recalibration. A substantial body of work has evaluated this problem on the UCI Gas Sensor Array Drift benchmark, which contains 13,910 measurements from a 16-sensor metal-oxide (MOx) array exposed to six gases over 36 months (Vergara et al., 2012:320-321). Proposed approaches include classifier ensembles (Vergara et al., 2012), domain-adaptation extreme learning machines using limited labeled target-domain samples (Zhang and Zhang, 2015:1790-1792), unsupervised distribution-alignment methods such as CORAL (Sun et al., 2016:2058-2059) and Subspace Alignment (Fernando et al., 2013:2960-2962), and chemometric correction and standardization methods such as Orthogonal Signal Correction and Direct Standardization (Padilla et al., 2010:28-29; Fonollosa et al., 2016:1044-1045).

Direct comparison across these studies is difficult because they differ in classifier choice, target-domain supervision, and validation protocol. This paper therefore asks a practical question: under a fixed-classifier, ten-repeat, and imbalance-aware protocol, which compensation strategies provide reliable gains, and what do the results imply for the design of an industrial multi-sensor detector?

The contributions are fourfold. (i) Drift evidence: an RBF-SVM trained on Batch 1 achieves 97.3% within-batch cross-validation accuracy but only 37.6% mean accuracy across Batches 2–10. (ii) Comparative evaluation: replacing the RBF model with a lower-capacity linear classifier increases mean accuracy to 55.8%. Under the tested protocol, CORAL reduces performance to 47.6%, whereas Subspace Alignment reaches the highest mean accuracy of 62.5% but varies substantially across batches. Incremental updating with 10–30% labeled target data improves some metrics but shows high variability. The method ranking remains unchanged under balanced accuracy and macro-F1. (iii) Monitoring findings: the tested confidence-based indicator does not track performance degradation, whereas a label-free input-space statistic flags distribution shifts but does not estimate their severity. (iv) Architecture proposal: decision-level fusion of the tested MOx sub-arrays does not outperform the full-array classifier, indicating insufficient error diversity within this split. Based on these findings, a multi-technology architecture combining physically distinct sensing channels, drift-robust classifiers, and input-statistics-based calibration alerts is proposed. Validation of the proposed architecture requires heterogeneous field data.

2. RELATED WORK

2.1. Drift Compensation on the Gas Sensor Array Drift Benchmark

The dataset introduced by Vergara et al. (2012:320–321) remains a widely used public benchmark for long-term drift research. Its authors proposed weighted classifier ensembles trained on successive batches. Zhang and Zhang (2015:1790–1792) subsequently introduced domain-adaptation extreme learning machines (DAELM), which use a limited number of labeled target-domain samples. Calibration-transfer approaches apply chemometric techniques such as Orthogonal Signal Correction and Direct Standardization to gas sensor arrays (Padilla et al., 2010:28–29; Fonollosa et al., 2016:1044–1045), while Rodriguez-Lujan et al. (2014:123–124) addressed the complementary cost question of calibrating sensor arrays with a minimal number of reference experiments. A methodological caution is also due: Dennler et al. (2022:1–3) showed that a different, widely used wind-tunnel MOx dataset contains temporally clustered recordings and drift-related baseline information that can inflate gas-classification performance. Although their analysis concerns a different dataset, it supports time-separated evaluation and careful interpretation of temporal structure.

2.2. Unsupervised Domain Adaptation and Concept Drift

Sensor drift can be treated as a temporally evolving distribution-shift problem: factory-calibration data and aged-sensor data follow different distributions, relating the problem to the broader concept-drift setting surveyed by Gama et al. (2014:1–4). CORrelation ALignment (CORAL) aligns the second-order statistics of source and target features using a closed-form whitening–recoloring transformation (Sun et al., 2016:2058–2059). Subspace Alignment (SA) learns a linear mapping between the PCA subspaces of the two domains (Fernando et al., 2013:2960–2962). Both methods are unsupervised and computationally lightweight, making them relevant candidates for resource-constrained detectors; both are evaluated here.

2.3. Label-Efficient Incremental Adaptation

An alternative line uses a small amount of labeled target data to adapt the model to the target domain, trading labeling cost for accuracy (Zhang and Zhang, 2015:1790–1792). In an industrial detector, obtaining labeled target samples would typically require controlled reference-gas exposures; the label budget therefore represents a practical calibration cost. We consequently evaluate several label fractions rather than fixing a single budget.

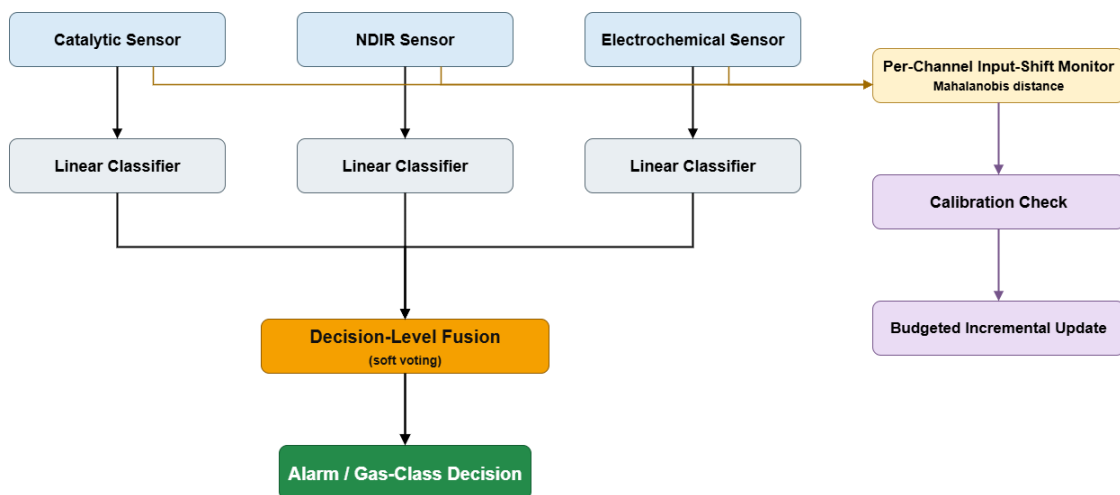
2.4. Multi-Sensor Fusion

Heterogeneous-modal fusion has shown benefits in gas detection. For example, Narkhede et al. (2021:1) combined gas-sensor and thermal-camera streams and reported 96% accuracy for the fused model, compared with 82% and 93% for the individual modalities. Fusion is most useful when its sources provide complementary information or different error patterns. Whether sub-arrays belonging to the same sensing technology provide sufficient diversity under drift has received less attention. We examine this question using two MOx sub-arrays and use the experimental outcome to assess the potential value of technology-level rather than element-level diversity. To our knowledge, no prior study combines a fixed-classifier, repeated, imbalance-aware comparison with an explicit monitoring analysis and an architecture-level interpretation for multi-technology industrial detectors. This paper addresses that gap.

3. PROPOSED MULTI-TECHNOLOGY FUSION ARCHITECTURE

The proposed architecture (Figure 1) is a design template for an industrial fixed detector. It is motivated and constrained by the experimental findings of Section 5 and is presented explicitly as a proposal whose full validation requires multi-technology field data.

Figure 1. Proposed Multi-Technology Fusion Architecture for Sensor Drift Compensation



(a) Technology-diverse sensing layer. The detector combines sensing elements based on distinct physical principles—catalytic combustion, NDIR absorption, and electrochemical reactions—rather than replicating elements of a single technology. Section 5.4 shows that the two tested MOx sub-arrays exhibit similar temporal degradation patterns and that their equal-weight decision-level fusion does not outperform the full-array model. This result does not demonstrate that heterogeneous sensing technologies have independent failure modes; rather, it motivates investigating whether physical diversity can provide more complementary error patterns.

(b) Per-technology linear classifiers. Each sensing channel feeds a linear classifier selected for its temporal robustness in the benchmark experiments. Section 5.2 shows that replacing the RBF-SVM with the linear model increases mean accuracy from 37.6% to 55.8%, a larger gain than that provided by the tested unsupervised adaptation methods relative to the linear baseline.

(c) Decision-level fusion across technologies. The proposed architecture combines per-channel class probabilities using soft voting. The experimental fusion analysis in Section 5.4 used equal weighting of two MOx sub-arrays. Reliability-weighted fusion, channel down-weighting, and channel exclusion are proposed architectural extensions that require validation using multi-technology data.

(d) Label-free input-shift monitoring. Each channel maintains a Mahalanobis-distance monitor relative to its factory-calibration feature distribution. A Ledoit–Wolf covariance estimate is used to obtain a stable and well-conditioned covariance matrix (Ledoit and Wolf, 2004:365–367). Section 5.5 shows that this statistic flags substantial input-distribution shifts but does not predict their effect on classification accuracy. The tested

confidence-based indicator likewise does not consistently track performance degradation. The monitor is therefore intended to trigger a calibration check rather than estimate drift severity or autonomously disable a channel.

(e) Budgeted incremental update loop. When an input-shift flag is raised, a targeted reference-gas exposure may be performed for the affected sensing channel. The resulting labeled samples can then be used for a controlled incremental model update. Because the experiments in Section 5.3 show high variability under small label budgets, such updates are treated as targeted maintenance actions rather than continuous or fully automatic adaptation.

4. EXPERIMENTAL SETUP

4.1. Dataset

Experiments use the UCI Gas Sensor Array Drift Dataset (Vergara et al., 2012:322–325; Vergara, 2012), which contains 13,910 measurements of six analytes—ethanol, ethylene, ammonia, acetaldehyde, acetone, and toluene—recorded by an array of 16 commercial MOx sensors over 36 months and organized into 10 chronological batches. Each measurement is represented by 128 features: two steady-state and six transient descriptors extracted from each sensor. Table 1 shows the batch composition. Batch sizes range from 161 to 3,613, class proportions vary substantially, toluene is absent from Batches 3–5, and the batches are not equally spaced in time. The task is six-class gas identification; accuracy losses therefore reflect the combined effects of sensor drift and these acquisition-related variations, a point revisited in Section 7.

Table 1. Batch Composition of the Dataset (Number of Samples per Class)

Batch	n	Ethanol	Ethylene	Ammonia	Acetaldehyde	Acetone	Toluene
1	445	90	98	83	30	70	74
2	1244	164	334	100	109	532	5
3	1586	365	490	216	240	275	0
4	161	64	43	12	30	12	0
5	197	28	40	20	46	63	0
6	2300	514	574	110	29	606	467
7	3613	649	662	360	744	630	568
8	294	30	30	40	33	143	18
9	470	61	55	100	75	78	101
10	3600	600	600	600	600	600	600

4.2. Protocol

The protocol emulates factory calibration followed by unattended field operation. All configurations are initialized using Batch 1 and evaluated on Batches 2–10 in chronological order. The RBF, unadapted linear, CORAL, and SA configurations do not use target labels. The incremental configuration is evaluated on each batch before being updated with a labeled subset of that batch, following a test-then-update protocol. Feature standardization is fitted only on Batch 1. CORAL and SA subsequently use the unlabeled feature distribution of each target batch to compute a batch-specific alignment. They are therefore transductive methods, corresponding to a device that buffers a period of unlabeled field measurements before adaptation. No target labels are used by either method. The chronological separation of calibration and evaluation data is also consistent with the temporal-separation caution raised by Dennler et al. (2022:1–3).

4.3. Compared Methods

Five configurations are compared. (1) RBF baseline: a support vector classifier with an RBF kernel ($C=10$, $\gamma=\text{"scale"}$), representing a naive nonlinear deployment. (2) Linear: an SGDClassifier trained with hinge loss ($\text{max_iter}=2000$, $\text{tol}=0.001$) without adaptation. (3) Linear + CORAL: the Batch 1 features are whitened and re-colored to match the covariance of each unlabeled target batch, using regularization $\lambda=1$, before training the linear classifier (Sun et al., 2016:2058–2059). (4) Linear + SA: the source and target PCA subspaces are aligned using a closed-form linear mapping with $k=20$ components (Fernando et al., 2013:2960–2962). (5) Linear + Incremental: the linear model is evaluated and subsequently updated using a uniformly sampled labeled subset of each completed batch. The main comparison uses a 10% labeled fraction; Section 5.3 separately evaluates label fractions from 0% to 30%. All implementations use scikit-learn (Pedregosa et al., 2011:2825–2830).

4.4. Evaluation

Configurations (2)–(5) use the same linear classifier settings so that differences are attributable primarily to the compensation strategy. These four configurations are repeated with 10 random seeds. The seeds affect the stochastic training order of the SGD classifier and, for incremental learning, the selection of labeled target samples. For each seed, batch-level results are averaged across Batches 2–10; the reported values are the mean $\pm$ standard deviation across seeds. The deterministic RBF baseline is evaluated once. Because the test batches are strongly

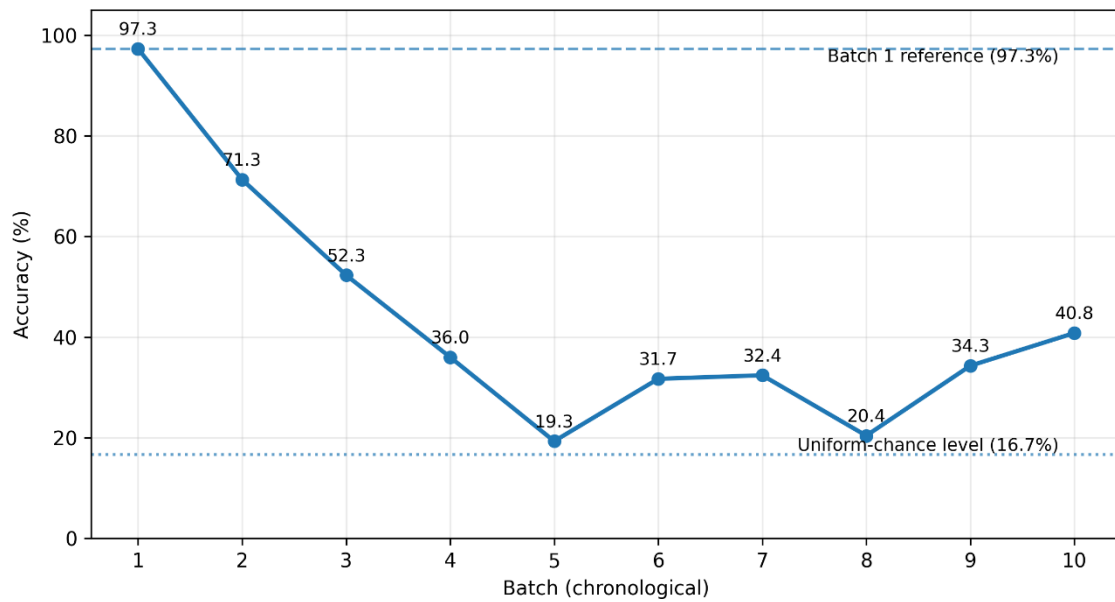
imbalanced, accuracy is supplemented with balanced accuracy and macro-F1. Worst-batch accuracy is also reported as a conservative indicator of temporal robustness rather than as a certified safety-performance metric.

5. RESULTS

5.1. Drift Evidence

Figure 2 shows the accuracy of the static RBF baseline over time. The Batch 1 value is an in-distribution reference obtained by five-fold cross-validation, whereas Batches 2–10 are evaluated chronologically using the model trained on the complete Batch 1. The model achieves 97.3% within Batch 1 but decreases to an average accuracy of 37.6% across Batches 2–10, reaching 40.8% on the final, class-balanced batch. The decline is non-monotonic: accuracy reaches its minimum of 19.3% on Batch 5, partially recovers, and falls again on Batch 8. This trajectory is consistent with a temporally varying distribution shift rather than a simple one-directional degradation.

Figure 2. Accuracy of the Static RBF Baseline Across Chronological Batches



5.2. Fair Comparison Under a Fixed Classifier

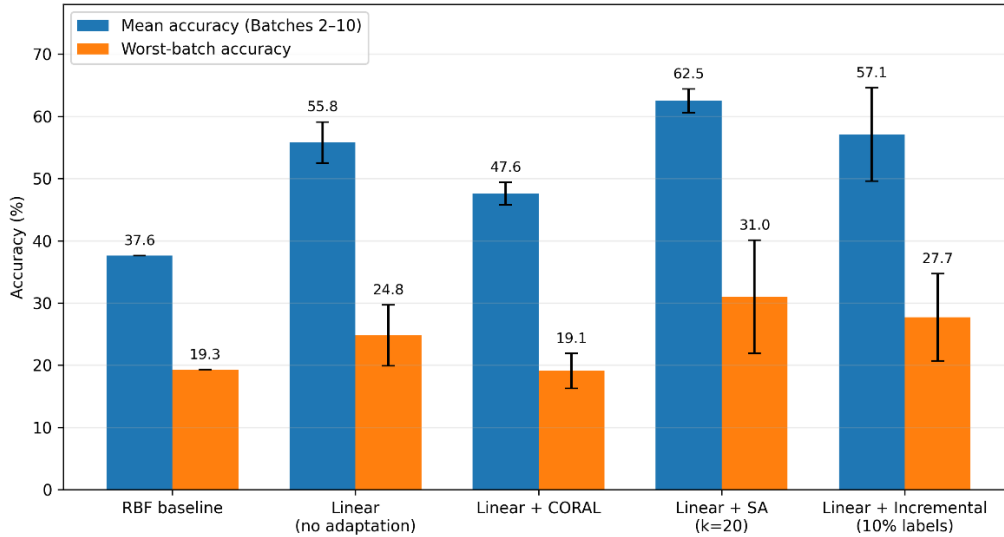
Table 2 and Figure 3 present the repeated comparison. Three observations stand out. First, the largest single gain comes from the classifier itself: with no adaptation and no target labels, the linear model reaches $55.8\% \pm 3.3$, compared with 37.6% for the RBF baseline, an improvement of approximately 18 percentage points. The linear decision boundaries are markedly more robust to this inter-batch distribution shift. We describe this result as improved robustness rather than evidence of overfitting because model capacity, loss function, and optimizer differ simultaneously between the two classifiers. Second, CORAL reduces the performance of the linear baseline, reaching $47.6\% \pm 1.8$ across the 10 repetitions. In a diagnostic, label-informed follow-up experiment, the target covariance was estimated from class-balanced subsamples; the result remained essentially unchanged at $47.7\% \pm 1.6$. This diagnostic result suggests that class imbalance alone does not explain the degradation, although the balanced-subsample procedure is not a deployable unsupervised method. A plausible explanation is that a single global second-order transformation does not adequately represent the geometry of the observed shift. Third, SA achieves the highest average accuracy at $62.5\% \pm 1.9$, but its worst-batch accuracy varies substantially across repetitions ($31.0\% \pm 9.1$). Incremental learning with a 10% label budget reaches $57.1\% \pm 7.5$, with seed-level averages ranging from 38.2% to 64.3%, and therefore shows no stable advantage over the unadapted linear model. A previous single run produced 65.4%, illustrating the risk of drawing conclusions from unrepeatable stochastic experiments. The ranking of the methods remains unchanged under balanced accuracy and macro-F1.

Table 2. Fair Comparison Across 10 Seeds (Mean $\pm$ Standard Deviation, Batches 2–10, %)

Method	Accuracy	Balanced Acc.	Macro-F1	Worst batch
RBF baseline (naive)	37.6	34.7	26.6	19.3
Linear (no adaptation)	55.8 ± 3.3	52.8 ± 3.6	41.7 ± 3.7	24.8 ± 4.9
Linear + CORAL	47.6 ± 1.8	47.5 ± 2.0	36.3 ± 1.6	19.1 ± 2.8
Linear + SA (k=20)	62.5 ± 1.9	61.6 ± 1.2	51.4 ± 1.6	31.0 ± 9.1
Linear + Incremental (10%)	57.1 ± 7.5	57.5 ± 8.6	49.6 ± 8.7	27.7 ± 7.0

Note: Mean $\pm$ standard deviation is reported across 10 seeds for the four stochastic linear configurations. The deterministic RBF baseline was evaluated once.

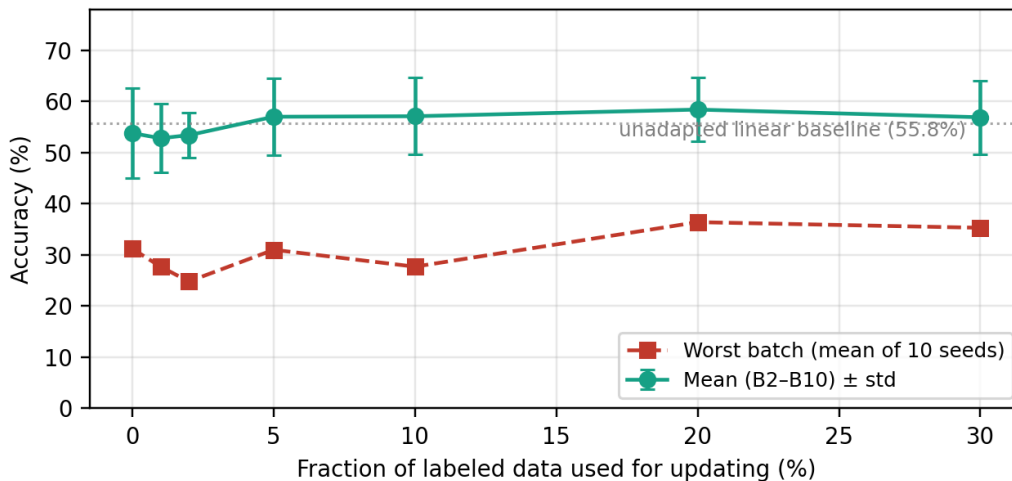
Figure 3. Comparison of Baseline and Compensation Methods (10 Seeds; Error Bars: ± 1 Std)



5.3. Label Budget of Incremental Updating

Figure 4 evaluates labeled fractions from 0% to 30% for incremental updating, with 10 random seeds at each fraction. Mean accuracy ranges from 52.8% to 58.4%, and the overlapping error bars indicate that no label fraction provides a stable improvement over the static linear baseline. The 0% point represents the incremental estimator initialized with partial_fit but not subsequently updated; it is therefore not numerically identical to the separately trained static linear baseline shown by the horizontal reference line. Apparent threshold effects observed in individual runs disappear under repetition. Fractions of 20% and 30% produce higher mean worst-batch accuracy, but the variability remains substantial. Since labeled field samples would require controlled reference-gas exposures, small labeled updates cannot be considered a reliable replacement for controlled recalibration on this benchmark.

Figure 4. Effect of the Label Budget on Incremental Updating (10 Seeds)



5.4. Same-Technology Fusion

To test whether redundancy within a single sensing technology improves temporal robustness, the 16-sensor array was divided into two 8-sensor groups. Independent linear classifiers with logistic loss were trained for the two groups, and their class-probability outputs were combined using equal-weight soft voting. Table 3 shows that the fused model achieves a mean accuracy of 51.7%, below the 55.2% obtained by a single model using all 16 sensors. Its worst-batch accuracy is also lower, at 24.1% compared with 26.5%. The group-wise results indicate limited complementarity, as both sub-arrays exhibit degradation on several of the same difficult batches. The scope of this finding is limited to one sensor split, equal fusion weights, and probabilities without additional calibration.

It therefore does not establish that heterogeneous sensing technologies have independent drift patterns; rather, it shows that same-technology sub-array fusion provided no benefit in this experiment and motivates evaluating diversity at the technology level, as proposed in Section 3.

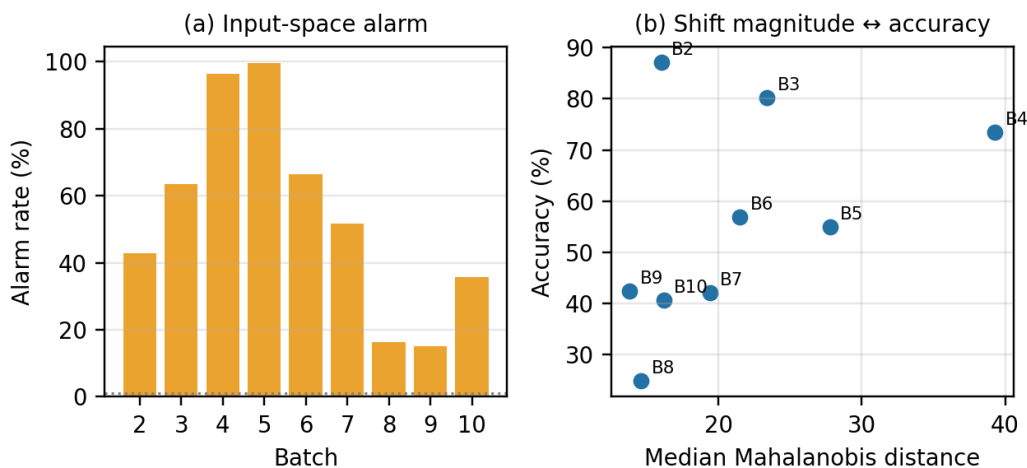
Table 3. Decision-Level Fusion of Same-Technology Sub-Arrays (Single Configuration, %)

Configuration	Mean accuracy (B2–10)	Worst batch
Group 1 (sensors 1–8)	49.2	24.8
Group 2 (sensors 9–16)	47.0	22.8
All 16 sensors (single model)	55.2	26.5
Decision-level fusion (soft voting)	51.7	24.1

5.5. Monitoring: Can the Device Request Calibration?

Two label-free monitoring mechanisms were evaluated. First, a confidence-based rejection rule was tested using a linear SGD classifier with logistic loss to obtain class-probability scores. A threshold derived from Batch 1 was used to retain approximately 95% of the calibration samples. Across Batches 2–10, rejection rates remained between 3.2% and 19.3%, while the accuracy of accepted predictions generally remained close to the raw accuracy. Confidence-based rejection therefore did not consistently track performance degradation and did not provide a reliable calibration trigger in this experiment. Second, an input-space monitor was constructed using the Mahalanobis distance of incoming samples from the Batch 1 feature distribution, with covariance estimated using the Ledoit–Wolf method. The alarm threshold was set at the 99th percentile of the Batch 1 calibration distances. Figure 5(a) shows that the alarm rate ranges from 15.1% to 99.5% across the target batches, indicating substantial departures from the calibration distribution in several periods. However, Figure 5(b) shows that shift magnitude does not track classification degradation: the correlation between median distance and accuracy is weak and positive (Spearman $\rho=0.43$), rather than negative. Batch 4 has the largest median distance but retains 73.5% accuracy, whereas Batch 8 is relatively close to the calibration distribution but reaches only 24.8% accuracy. The input-space statistic can therefore flag a departure from the calibration distribution, but it cannot estimate its effect on model performance or the severity of the required intervention. Because the threshold was estimated in-sample from Batch 1, a deployment implementation should calibrate it using separate held-out reference data.

Figure 5. Input-Space Drift Monitor: (a) Alarm Rates per Batch; (b) Shift Magnitude Versus Accuracy



6. DISCUSSION AND DESIGN IMPLICATIONS

Taken together, the results change the practical ordering of priorities in drift compensation. The simplest intervention—selecting a linear classifier—produced the largest consistent gain, whereas the tested unsupervised alignment methods either reduced performance relative to the linear baseline (CORAL) or improved mean accuracy while showing substantial variability in worst-batch performance (SA). Incremental updating with limited labeled data likewise produced inconsistent gains. Because model capacity, loss function, and optimization procedure differ between the RBF and linear configurations, the improvement cannot be attributed to capacity control alone; nevertheless, classifier choice had a larger effect than the tested compensation methods. For benchmark studies, changing the classifier together with the compensation method risks confounding their respective contributions, while single stochastic runs may misrepresent typical performance. In our experiments, one incremental-learning run reached 65.4%, exceeding the repeated mean of 57.1% by 8.3 percentage points. For detector design, the findings motivate carefully selected and repeatedly evaluated per-channel classifiers, investigation of physically

diverse sensing technologies as a potential source of complementary errors, and calibration checks based on label-free input-shift statistics rather than model confidence. These implications remain consistent with the benchmark evidence while recognizing that the proposed architecture requires validation using heterogeneous field data.

7. LIMITATIONS

Six limitations bound the scope of the conclusions. (1) The task is six-class gas identification on a laboratory benchmark. Industrial performance quantities—including concentration estimation, alarm operation, and response time under IEC 60079-29-0:2025—are not evaluated; therefore, no claim of validated compensation in fixed detectors is made. (2) The experiments use one dataset containing pure analytes under controlled conditions. Batch size, class proportions, and time intervals vary, so performance differences may partly reflect acquisition effects in addition to drift. (3) The compensation comparison uses SGD-trained linear models; confirmation with alternative linear solvers and intermediate-capacity models remains future work. (4) CORAL and SA are applied transductively to complete target batches, corresponding to buffered rather than sample-by-sample adaptation. (5) Fusion is evaluated using one fixed split, equal weights, and probabilities without additional calibration; learned weights, calibrated probabilities, and multiple random splits are not explored. (6) The multi-technology architecture is a proposal motivated by the benchmark findings. Whether physically distinct technologies provide sufficiently complementary error and drift patterns must be validated using heterogeneous field data.

8. CONCLUSION

This study quantified temporal performance degradation on a standard gas-sensor benchmark and compared software compensation strategies using a fixed linear classifier for the compensation comparison, ten random seeds, and imbalance-aware metrics. The static RBF baseline achieved 97.3% under five-fold cross-validation within Batch 1 but averaged only 37.6% across Batches 2–10. The linear classifier provided the largest consistent improvement, reaching 55.8% without target labels. CORAL reduced performance relative to this baseline, Subspace Alignment improved average accuracy but showed substantial worst-batch variability, and incremental updating with small labeled fractions provided no stable advantage. Confidence-based rejection did not reliably indicate degradation, whereas input-space statistics flagged departures from the calibration distribution without predicting their effect on accuracy. No evaluated software method therefore provided dependable compensation on its own. The findings motivate an integrated architecture combining per-channel linear classifiers, input-statistics-based calibration checks, and decision-level fusion across physically diverse sensing technologies. Validation using heterogeneous multi-technology field data remains the immediate next step.

REFERENCES

- DENNLER, N., RASTOGI, S., FONOLLOSA, J., VAN SCHAIK, A. ve SCHMUKER, M. (2022). “Drift in a Popular Metal Oxide Sensor Dataset Reveals Limitations for Gas Classification Benchmarks”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 361: 131668.
- FERNANDO, B., HABRARD, A., SEBBAN, M. ve TUYTELAARS, T. (2013). “Unsupervised Visual Domain Adaptation Using Subspace Alignment”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2960-2967.
- FONOLLOSA, J., FERNANDEZ, L., GUTIERREZ-GALVEZ, A., HUERTA, R. ve MARCO, S. (2016). “Calibration Transfer and Drift Counteraction in Chemical Sensor Arrays Using Direct Standardization”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 236: 1044-1053.
- GAMA, J., ZLIOBAITE, I., BIFET, A., PECHENIZKIY, M. ve BOUCHACHIA, A. (2014). “A Survey on Concept Drift Adaptation”, *ACM Computing Surveys*, 46(4), Article 44: 1–37.
- IEC (2025). IEC 60079-29-0:2025, Explosive Atmospheres—Part 29-0: Gas Detection Equipment—General Requirements and Test Methods, International Electrotechnical Commission, Geneva.
- LEDOIT, O. ve WOLF, M. (2004). “A Well-Conditioned Estimator for Large-Dimensional Covariance Matrices”, *Journal of Multivariate Analysis*, 88(2): 365-411.
- NARKHEDE, P., WALAMBE, R., MANDAOOKAR, S., CHANDEL, P., KOTTECHA, K. ve GHINEA, G. (2021). “Gas Detection and Identification Using Multimodal Artificial Intelligence Based Sensor Fusion”, *Applied System Innovation*, 4(1): 3.
- PADILLA, M., PERERA, A., MONTOLIU, I., CHAUDRY, A., PERSAUD, K. ve MARCO, S. (2010). “Drift Compensation of Gas Sensor Array Data by Orthogonal Signal Correction”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 100(1): 28-35.
- PEDREGOSA, F., VAROQUAUX, G., GRAMFORT, A., MICHEL, V., THIRION, B., GRISEL, O., BLONDEL, M., PRETTENHOFER, P., WEISS, R., DUBOURG, V., VANDERPLAS, J., PASSOS, A.,

- COURNAPEAU, D., BRUCHER, M., PERROT, M. ve DUCHESNAY, E. (2011). "Scikit-learn: Machine Learning in Python", *Journal of Machine Learning Research*, 12: 2825–2830.
- RODRIGUEZ-LUJAN, I., FONOLLOSA, J., VERGARA, A., HOMER, M. ve HUERTA, R. (2014). "On the Calibration of Sensor Arrays for Pattern Recognition Using the Minimal Number of Experiments", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 130: 123-134.
- RUDNITSKAYA, A. (2018). "Calibration Update and Drift Correction for Electronic Noses and Tongues", *Frontiers in Chemistry*, 6: 433.
- SUN, B., FENG, J. ve SAENKO, K. (2016). "Return of Frustratingly Easy Domain Adaptation", *Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30(1): 2058–2065.
- VERGARA, A. (2012). Gas Sensor Array Drift Dataset [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. <https://doi.org/10.24432/C5RP6W>.
- VERGARA, A., VEMBU, S., AYHAN, T., RYAN, M.A., HOMER, M.L. ve HUERTA, R. (2012). "Chemical Gas Sensor Drift Compensation Using Classifier Ensembles", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 166-167: 320-329.
- ZHANG, L. ve ZHANG, D. (2015). "Domain Adaptation Extreme Learning Machines for Drift Compensation in E-Nose Systems", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 64(7): 1790-1801.

ORCID: 0009-0009-8623-437X - 0009-0005-1775-3425- 0000-0002-8526-3285

Havalı Disk Frenlerde Piston Keçesi Tasarımının Sızdırmazlığa Olan Etkisi

Araştırmacı Deniz Farmaka^{*1}, Araştırmacı Bora Güntay², Araştırmacı Zehra Çınarcık³¹ Ege Fren Sanayii ve Ticaret A.Ş., Ürün Tasarım ve Geliştirme Bölümü, İzmir, Türkiye.² Ege Fren Sanayii ve Ticaret A.Ş.,
Ürün Tasarım ve Geliştirme Bölümü, İzmir, Türkiye.³ Ege Fren Sanayii ve Ticaret A.Ş., Ürün Tasarım ve Geliştirme Bölümü, İzmir, Türkiye.* Corresponding Author: Deniz Farmaka
deniz.farmaka@egefren.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada havalı disk frenlerde kullanılan piston keçelerinin tasarımlarının sızdırmazlığa etkisi ele alınmıştır. Keçeler, fren sistemlerinde sızdırmazlığı sağlayan bileşenlerden biridir. Sızdırmazlık, fren sistemlerinin istikrarlı ve güvenli çalışması için önemli bir gerekliliktir. Bu konuyu incelemek adına, farklı tasarımlara sahip keçe numuneleri frenlere monte edilerek, çamur testi ile sızdırmazlık kabiliyetleri test edilmiştir. Bu testte her 50.000 çevrimde bir kontrol yapılarak testin 1.250.000 çevrime kadar devam ettirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneylerde kaliper gövdesi, piston geometrisi ve keçe kanalı tasarımları aynı tutulmuş olup, gözlemlenen performans farklılıklarının yalnızca keçe tasarımından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. N1, N2 ve N3 numunelerinde test sürecinde sızıntı, sıvı girişi, deformasyon ve aşınma gibi hasarlar gözlenirken, N4 numunesi hedeflenen 1.250.000 çevrimi herhangi bir sızıntı oluşmadan tamamlamıştır. Test sonrası incelemelerde sistem içerisinde sıvı, çamur veya yabancı maddeye rastlanmamış; keçe dudaklarında belirgin aşınma veya deformasyon tespit edilmemiştir. Bu kullanım koşullarında, keçelerde garter yayı bulunmasının, metal destek parçası bulunmasına kıyasla daha avantajlı olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, dudak sayısı ve geometrisinin de keçelerin sızdırmazlık performansına doğrudan etki ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Disk fren, Piston keçesi, Sızdırmazlık, Garter yayı, Keçe dudağı

1. GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Disk fren sistemleri, aracın tekerleğine bağlı dönen bir diskin, balataların baskı kuvveti ile sıkıştırılarak sürtünme yoluyla yavaşlatılmasını sağlayan sistemlerdir. Balatalar diske, mekanik, hidrolik, pnömotik (havalı) veya elektromekanik yollarla tahrik edilerek bastırılabilir (Sharma ve Marwah, 2013:30).

Havalı fren sistemleri, havayı sıkıştırma yoluyla bir pistona bastırarak frenleme kuvvetini balatalara aktaran sistemlerdir. Havalı frenlerin kullanım alanlarından bazıları ağır ticari vasıtalar (kamyon, otobüs, tır vb.) ve treyler uygulamalarıdır (Sharma ve Marwah, 2013:30).

Fren sisteminin işlevselliğini sağlayan temel bileşenlerden birisi sızdırmazlık elemanlarıdır. Sızdırmazlık elemanları ya da yaygın adı ile keçeler; toz, su ve çamur gibi dış ortamda bulunan yabancı maddelerin kaliper içerisine girişini engellemektedir. Bu elemanlara kullanıldıkları uygulamalara göre farklı isimler verilmiştir. Örneğin; piston keçesi, rulman keçesi vb. Sızdırmazlık elemanları uygulama çeşidine ve kullanıldığı yere göre özel olarak tasarlanmaktadır (Gezci, 1984:2)

Sızdırmazlık elemanlarının malzemeleri seçilirken dikkat edilen bazı özellikler sertlik, esneklik ve mukavemettir. Keçe sertliklerini ölçmek için Shore A veya Vickers değerleri kullanılmaktadır. Sertlik değerleri sızdırmazlık elemanlarında 40-45 Shore A'dan başlayıp 90-100 aralıklarına kadar çıkabilmektedir. Sızdırmazlık elemanları hem elastik hem plastik özelliklere sahip olabilmektedir. Yani keçeler üzerlerindeki yük kalktığı zaman bir miktar eski hallerine dönebilmektedir. Bir keçenin sertlik değeri yükseldikçe, elastikiyet özelliği azalmaktadır. Sızdırmazlık elemanlarının, çalışma koşullarına bağlı olarak sürtünme kaynaklı sıcaklık artışı nedeniyle elastikiyeti artmakta ve buna bağlı olarak da elastiklik modülü küçülmektedir. Bunun sonucunda da bir çekme gerilmesi oluşmaktadır. Bu nedenle çekme mukavemeti, keçe tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Gezci, 1984:55)

Sızdırmazlık elemanlarında, ısıya ve kimyasal maddelere karşı olan dayanıklılıkları sebebiyle en çok kullanılan malzemeler elastomerlerdir. Elastomerler, elastik malzemeler olup, belirli bir yük altında kaldıklarında deforme olmadan yük kaybolunca eski hallerine geri dönebilmektedirler. Doğal kauçuk (NR), Nitril Butadien Kauçuk (NBR) ve Etilen Propilen Kauçuk (EPM veya EPDM) elastomer malzemelere birkaç örnektir (Gezci, 1984:61)

Bazı keçelerde “garter yayı” adı verilen bir parça kullanılmaktadır. Garter yayı, keçeler çalıştıkça zaman içerisinde gerilme nedeni ile formunu kaybetmemesi amacı ile kullanılmaktadır. Garter yayı ayrıca, keçenin temas ettiği yüzeye eşit ve sabit basınç uygulamasını sağlamakta ve bu sayede, sızdırmazlık performansını arttırmaktadır (Engin, 2023:7).

Bu çalışmada, farklı tasarımlara sahip dört keçenin sızdırmazlıkları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde kaliper gövdesi ve keçe yuvası tasarımları sabit tutulmuş olup, gözlemlenen performans farklılıklarının yalnızca keçe tasarımı ve malzeme özelliklerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Literatürde çoğu çalışma kaliper sistemi, piston yapısı veya genel fren performansına odaklanırken, keçe geometrisi ve malzeme özelliklerinin performansa etkisini izole eden çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma literatüre keçe tasarımı seçenekleri ile alakalı deneysel veri sağlayarak katkıda bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, yeni ürün geliştirme süreçlerinde piston keçe tasarımının sızdırmazlığa ve dolayısıyla fren performansına olan etkisinin belirlenmesinde rehber olacaktır.

2. YÖNTEM

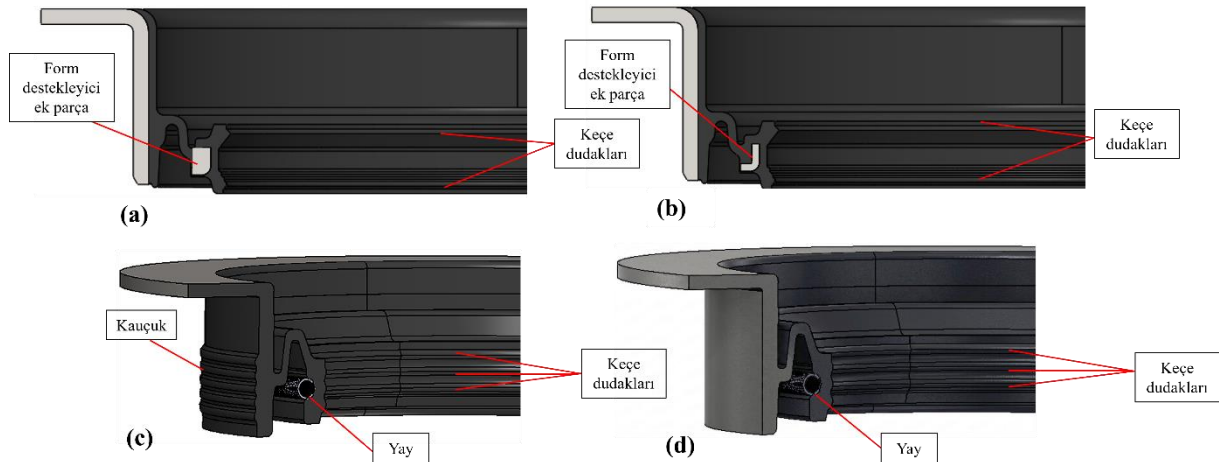
Çalışmanın bu bölümünde farklı tasarımlara sahip 4 adet numune keçenin sızdırmazlık performansını incelemek amacıyla yapılan çamur testlerinin detayları verilmektedir.

Şekil 1’de N1, N2, N3 ve N4 olarak adlandırılan keçe numunelerine ait farklar gösterilmektedir. Numuneler, Tablo 1’de gösterildiği üzere farklı sertlik değerlerine sahip HNBR (Hidrojene Nitril Bütadien Kauçuk) elastomer malzemeden üretilmiş olup metal halka içeren kompozit bir yapıdadır. N1 numunesinde, kare şeklinde metal malzemeden yapılmış form destekleyici ek parça bulunmakta ve keçe piston yüzeyine 2 adet dudak ile temas etmektedir. N2 numunesi, L şeklinde, metal malzemeden yapılmış form destekleyici ek parça içeren bir tasarıma sahiptir ve piston yüzeyi ile 2 adet dudak ile temas etmektedir. N3 numunesi, piston yüzeyi ile 3 adet dudak üzerinden temas eden bir tasarıma sahiptir. Yapı içerisinde yer alan dairesel yay (Garter yayı), elastomer malzemeyi merkeze doğru yönlendirerek temas kuvvetinin artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, metal halka etrafındaki kauçuk yapı ile sızdırmazlığın artırılması hedeflenmiştir. N4 numunesi, piston yüzeyi ile 3 adet dudak ile temas eden bir tasarıma sahiptir. Yapı içerisinde yer alan dairesel yay (Garter yayı), elastomer malzemeyi merkeze doğru yönlendirerek temas kuvvetinin artırılmasını sağlamaktadır. N3 numunesinden farklı olarak, halka etrafında ek kauçuk malzeme bulunmamaktadır.

Tablo 1. Keçe Malzeme Özellikleri

Numune	Malzeme	Sertlik (Shore)
N1	HNBR	80
N2	HNBR	80
N3	HNBR	77
N4	HNBR	75

Şekil 2. Keçe Tasarımları; (a) N1 Numunesi, (b) N2 Numunesi, (c) N3 Numunesi, (d) N4 Numunesi

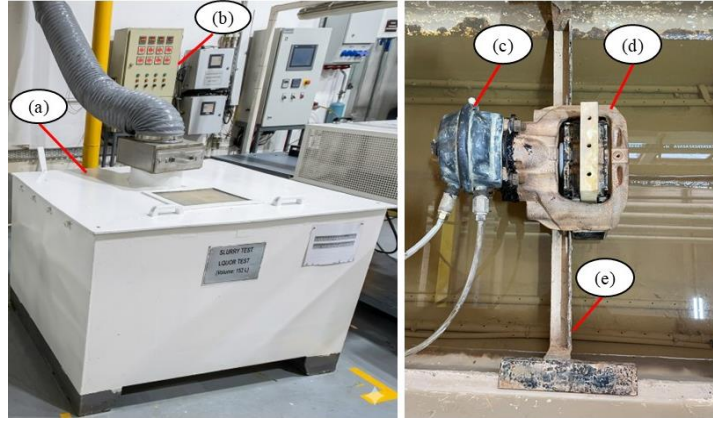


Test düzeneği Şekil 2’de gösterildiği üzere çamur test tankı (a), basınçlı su püskürtme sistemi (b), basınçlı tahrik sistemi/fren körüğü (c), havalı disk fren (d) ve çok amaçlı test fikstüründen (e) oluşmaktadır. Numuneler, fren sistemine montajlanarak test koşullarına hazır hale getirilmiştir. Frenler, çok amaçlı fikstür yardımıyla çamur test tankı içerisine yerleştirilmiş ve basınçlı hava kullanılarak çevrimsel olarak test edilmiştir.

Çamur testi, dört farklı basınç seviyesinden oluşan kademeli bir program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testte uygulanan basınç seviyeleri sırasıyla 2, 2,3, 3,5 ve 2,1 bar olarak belirlenmiştir. Fren sistemi, her bir basınç adımında 1 saniye yükleme (on) ve 3 saniye bırakma (off) süresinden oluşan çevrim programı ile çalıştırılmıştır. Toplamda 1.250.000 çevrim hedeflenmiş olup, test süresince her 50.000 çevrimde bir ara kontrol gerçekleştirilmiştir.

Test tamamlandıktan sonra fren sistemleri demonte edilerek sızdırmazlık elemanları detaylı şekilde incelenmiştir. Değerlendirme, numunelerin çamur ve sıvı girişine karşı sızdırmazlık performansına göre yapılmış olup sonuçlar “sızıntı var / sızıntı yok” kriterine göre sınıflandırılmıştır.

Şekil 2. Test Düzenegi; (a) Çamur Testi Tankı, (b) Basıncı Su Püskürtme Sistemi, (c) Basıncı Tahrik Sistemi/Fren Körüğü (d) Havalı Disk Fren, (e) Test Fikstürü



3. BULGULAR

Bu bölümde farklı tasarımlara sahip 4 adet sızdırmazlık keçesi üzerinde yapılan çamur testlerinin bulguları verilmiştir.

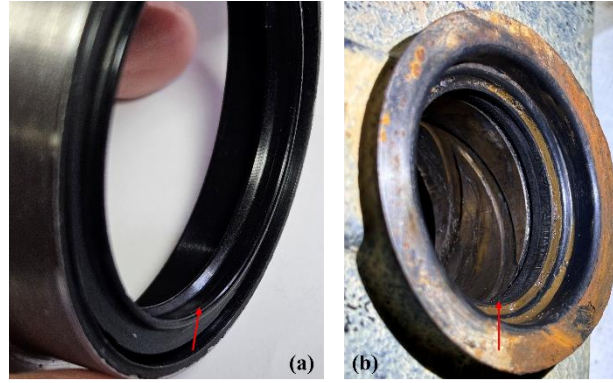
N1 numunesinin çamur testi Tablo 2’de gösterildiği üzere, 850.000 çevrimde keçeden sızıntı tespit edilmesi nedeniyle sonlandırılmıştır. Test sonrası yapılan görsel incelemelerde, Şekil 3’te görüldüğü üzere keçenin dudak bölgesinde belirgin deformasyon olduğu ve dudak çevresinde kauçuk parçacıklarının biriktiği tespit edilmiştir. Ayrıca, N1 numunesinin iç çap dudak yapısında aşınma meydana geldiği belirlenmiştir.

N2 numunesi için yürütülen çamur testinde, 500.000 çevrimde fren sistemi içerisinde sıvı tespit edilmesi üzerine test sonlandırılmıştır. Test sonrasında gerçekleştirilen demontaj işlemi ve incelemelerde, N2 numunesinin iç çap bölgesinde sıvı/çamur birikimi gözlemlenmiştir.

N3 numunesi testinde, 250.000 çevrimde fren sistemi içinde sıvı tespit edilmesi nedeniyle çamur testi sonlandırılmıştır. Test sonrasında gerçekleştirilen demontaj işlemi ve incelemelerde, N3 numunesinin iç çap bölgesinde çamur birikimi olduğu görülmüştür. N3 numunesinin çevresindeki elastomer yapının/kauçuğun deforme olduğu görülmüştür. Sıvının numunenin deforme olan bölgesinden girdiği tespit edilmiştir.

N4 numunesi için gerçekleştirilen ara kontrollerde fren sisteminde herhangi bir sızıntı tespit edilmemiştir. Numune, hedeflenen 1.250.000 çevrimi tamamlamıştır. Test sonrası yapılan incelemelerde, sistem içerisinde sıvı, çamur veya yabancı madde varlığına rastlanmamıştır. N4 numunesinin iç çap bölgesinde çamur birikimi gözlenmiştir. Keçe dudaklarının test öncesi durumu ile karşılaştırılması sonucunda, belirgin bir aşınma veya deformasyon tespit edilmemiştir.

Şekil 3. N1 Piston Keçesi; (a). Test Öncesi Durumu, (b) Test Sonrası Durumu



Tablo 1. Numunelere Ait Çamur Testi Çevrim Sonuçları

Numune Adı	Hedef Çevrim Sayısı	Gerçekleşen Çevrim Sayısı	Tamamlanma Yüzdesi [%]	Hata Kök Nedeni
N1 Numunesi	1.250.000	850,000	68	Dudak bölgesinde deformasyon ve aşınma.
N2 Numunesi	1.250.000	250,000	20	Keçenin iç çap bölgesinde sıvı ve çamur birikmesi; iç çapta sızdırmazlığın yetersiz kalması.
N3 Numunesi	1.250.000	500,000	40	Numune çevresindeki elastomer yapının deforme olması; sıvının bu bölgeden sisteme girmesi.
N4 Numunesi	1.250.000	1.250.000	100	Yapısal bütünlük ve dudak performansı korundu.

4. TARTIŞMA

Çamur testi sonuçları değerlendirildiğinde, piston keçe tasarımlarındaki farklardan yola çıkarak, dudak sayısı, metal destek parçası geometrisi ve yapısal rijitliğin sızdırmazlık performansı üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Teste tabi tutulan bu 4 farklı keçe tasarımı arasındaki performans farklarının temelinde temas basıncı dağılımı, yabancı madde girişi ve deformasyon davranışı yer almaktadır.

N1 numunesi, kare kesitli metal destek parçası ve 2 dudaklı yapısı ile diğer tasarımlara göre daha basit bir tasarıma sahiptir ve çamurlu ortam koşullarında yeterli koruyuculuk sağlayamamıştır. 2 dudaklı yapısı, dışarıdan girebilecek yabancı maddelere karşı sınırlı bir koruma sağlarken, kare kesitli metal destek parçası, elastomer deformasyonunu kısıtlaması nedeniyle yüzey temas uyumunu ve sürekliliğini azaltmış, mikro düzeyde sızdırma kanallarının oluşmasına neden olmuştur. Bu durum partiküllerin daha kolay içeri girmesine ve dolayısıyla hızlı aşınmaya yol açmıştır.

N2 numunesi üzerinde, L kesitli metal destek elastomer içinde rijitlik farklılıkları oluşturmaktadır. Bu farklılıklar, keçenin çalışması sırasında temas çizgisi üzerindeki yükün homojen olarak dağılmasını engellemektedir. Metal destekli bölgelerde (uzun kol tarafı) deformasyonun kısıtlanması nedeniyle temas basıncı artarken, elastomer ağırlıklı bölgelerde (kısa kol tarafı) daha düşük temas basıncı oluşmaktadır. Bu basınç durumundaki farklılık sürekli olmayan bir temas hattına neden olmaktadır. Bu eşit olmayan basınç bölgeleri, partikül girişine izin veren kanallar oluştururken aynı zamanda aşınmayı hızlandırmaktadır.

N3 numunesi 3 dudaklı yapısı ve dairesel garter yayı ile artırılmış temas kuvveti sağlayarak teorik olarak daha yüksek sızdırmazlık performansı sunmaktadır. Kirli ortamlarda çoklu dudak yapısının yabancı madde girişini azaltmada etkili olduğu literatürde ortaya konmuştur (Peisker, 1992). Keçenin, kaliperdeki yuvasına çakılarak oturtulduğu bölgenin çevresinde, kauçuk kaplama malzeme bulunmaktadır. Bu kauçuk kısmın montaj esnasında çakma yüklerine maruz kalması nedeni ile bölgesel sıyrılma ve hasar oluştuğu görülmüştür. Bu durum diğer numunelerden farklı bir sızdırtı bölgesi oluşmasına ve dört numune arasında en düşük sızdırmazlık dayanımının görülmesine neden olmuştur.

N4 numunesi, N3 numunesi ile benzer 3 dudaklı yapı ve dairesel garter yayı tasarımına sahip olmasına karşın, metal halka çevresindeki kauçuk kaplama bulunmamaktadır. N3 numunesinde görülen montaj esnasındaki hasarlar N4 numunesinde görülmemiştir. Bu nedenle N4 numunesinin en yüksek sızdırmazlık dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, havalı disk frenlerde kullanılan piston keçelerinin tasarımlarının sızdırmazlığa etkisi ele alınmıştır. Farklı dudak geometrilerine, metal destek elemanlarına ve yay destekli yapılara sahip dört farklı keçe numunesi çamur testi koşulları altında karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde kaliper gövdesi ve keçe yuvası tasarımları aynı tutulmuş olup, gözlemlenen performans farklılıklarının yalnızca keçe tasarımından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Bu kullanım koşullarında, metal destek parçası kullanmak yerine garter yayı kullanmanın daha iyi sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Garter yayı kullanılan keçelerde, metal destek parçası kullanılan kecelere kıyasla, piston yüzeyine daha eşit dağılmış bir temas kuvveti elde edilmiş ve keçelerin sızdırmazlık kabiliyetinin arttığı görülmüştür.

Elde edilen bulgular, piston keçesi tasarımında dudak sayısı, dudak geometrisi ve yay destekli temas yapısının çamur ve sıvı girişine karşı sızdırmazlık performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

N1, N2 ve N3 numunelerinde test sürecinde sızıntı, sıvı girişi, deformasyon ve aşınma gibi hasarlar gözlenirken, N4 numunesi hedeflenen 1.250.000 çevrimi herhangi bir sızıntı oluşmadan tamamlamıştır. Test sonrası incelemelerde sistem içerisinde sıvı, çamur veya yabancı maddeye rastlanmamış; keçe dudaklarında belirgin aşınma veya deformasyon tespit edilmemiştir.

KAYNAKÇA

Engin, B. (2023). Döner mil dinamik sızdırmazlık elemanlarının geliştirilmesi ve performansının yüksek devir altında deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Gezci, İ. S. (1984). Mekanik sızdırmazlık elemanları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Lewis, J. (2016). Slurry Test (TP-1008) [Rev. B]. Meritor.

Peisker, G. W. (1992). The performance of a radial lip seal with an axial excluder lip in a dust environment (No. 920716). SAE Technical Paper.

Sharma, A., & Marwah, A. K. (2013). Braking systems: Past, present & future. Indian Journal of Research, 2(3), 29–31.

ORCID: K. Türkoğlu: 0009-0000-6688-3844

Polikarbonat Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

Dr. Öğr. Üyesi Şenol Mert^{*1}, Araştırmacı Ali Yıldızhan^{*1}, Araştırmacı Caner Kaplan^{*1}, Araştırmacı Kaan Türkoğlu^{*1},
Öğr. Gör. Dr. Sevda Mert^{*1}

¹ Düzce Üniversitesi

* Corresponding Author: Şenol Mert
senolmert@duzce.edu.tr

ÖZET

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden türetilmiş ve son zamanlarda sadece otomobil sektöründe değil aynı zamanda diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çeken yeni bir kaynak yöntemidir. Yöntem sayesinde, kısa işlem zamanı ile etkili bindirme bağlantıları elde edilebilir. SKNK yöntemi otomasyona yatkındır. Bu sayede, robot ve otomasyon sistemlerine entegre edilerek kolayca geliştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada, sürtünme karıştırma nokta kaynağı, polikarbonat (PC) malzemenin birleştirilmesi için uygulanmıştır. Geleneksel kaynak işlemiyle kaynaklanması zor olan polimer malzemelerin kaynaklanmasında SKNK yöntemi kullanılır. Yöntemin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademeden oluşan bir uygulaması vardır. Farklı araştırmacıların çalışmaları, bu yöntem için takım geometrisinin, takım devir sayısının, takım dalma derinliği ve karıştırma süresinin, bağlantının çekme kuvveti üzerine büyük etkisi olduğunu göstermiştir. Bu deneysel çalışmada, 6 mm kalınlığındaki PC levhaların SKNK ile bindirme bağlantıları yapılmıştır. Farklı karıştırma sürelerinde yapılan bu çalışmada, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SKNK, Takım, Polikarbonat, Parametre, Çekme Testi

Friction Stir Spot Welding Of Polycarbonate Material

ABSTRACT

The friction stir spot welding (FSSW) method is a derivative of the friction stir welding (FSW) process, which is a new process that recently has received considerable attention from the automotive and other industries. Thanks to the method, the effective overlapping joints can be obtained a short processing time. FSSW method is prone to automation. In this way, by integrating the robot and automation systems have been easily developed. In this experimental study, the friction stir spot welding was applied for joining polycarbonate (PC) material. FSSW method is used to weld polymer materials that are difficult to weld with conventional welding processes. The FSSW process consists of three phases of plunging, stirring and retraction with the FSSW tool similar to the FSW tool. The studies of different researchers have shown that tool geometry, tool rotation speed, tool penetration depth and stirring time have a great impact on the tensile force. In this experimental study, 6 mm thick PC sheets were done lap joints with FSSW. In the study conducted at different stirring times, the optimum stirring time that maximizes the tensile strength was determined.

Keywords: FSSW, Tool, Polycarbonate, Parameter, Tensile Test.

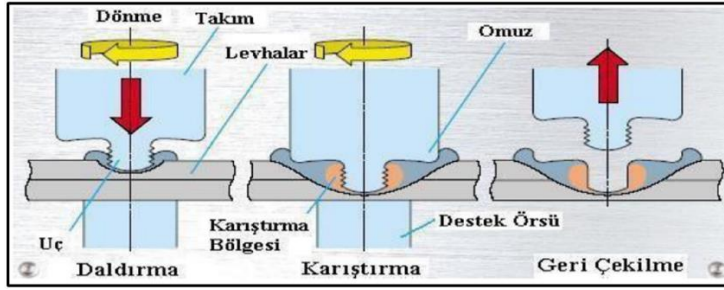
1. GİRİŞ

Polikarbonat (PC) birbirinden bağımsız olarak, Bayer AG şirketinden Dr. G. Schnell tarafından Almanya’da ve General Electric şirketinden D. W. Fox tarafından ABD’de keşfedilmiştir. PC, 50’li yılların sonlarından beri ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. Polikarbonat, günlük yaşantımızın birçok alanında kullanılan yüksek performanslı, sürdürülebilir ve eko verimli bir malzemedir. Berraklık, dayanıklılık, güvenlik, çok yönlülük ile ısı ve kırılmaya karşı direnç gibi eşsiz özelliklere aynı anda sahiptir. ABD’de 1980’lerin sonundan beri otomobil ön farlarında kullanılan polikarbonat Avrupa’da 1992 yılında kullanılmaya başlanmıştır [1]. Polikarbonat plastikler normalde şekilsiz ve saydam termoplastiklerdir. İşlenmiş durumdaki polikarbonat, piyasada çeşitli renklerde saydam ve yarı saydam olarak cama alternatif bir mühendislik malzemesidir. Şeffaf ve darbeye dayanıklı yapısıyla kurşungeçirmez camlardan gözlük camına, tıbbi cihazlardan otomotiv parçalarına, seralardan dijital medya ürünlerine kadar son derece geniş bir kullanım alanı sunar. Polikarbonat, ısı ile bozulmadan tepkimeye giren plastik grubu olan termoplastikler sınıfında yer alır. Erime noktasına kadar ısıtılıp soğutulabilen ve bu döngüyü defalarca tekrarlayabilen polikarbonat, enjeksiyonla kalıplama ve geri dönüşüm süreçlerine son derece uygundur. Polikarbonat “amorflı” bir malzemedir, yani kristalli katıların keskin erime özelliği yerine daha yavaş ve kontrollü

bir yumuşama süreci gösterir. Bu yapısı sayesinde işlenmesi oldukça kolaylaşır. Şeffaf malzeme ihtiyacı söz konusu olduğunda polikarbonat, camın önüne geçen birkaç kritik avantajıyla öne çıkar. Camdan çok daha hafif ve işlenmesi çok daha kolaydır. Bunun en çarpıcı örneği polisler ve askerler tarafından kullanılan koruma kalkanlarıdır. Polikarbonat, hafifliği, yüksek darbe dayanımı, optik berraklığı ve kolay işlenebilirliği ile modern mühendisliğin en değerli malzemelerinden biridir. İnşaattan otomotive, tıptan savunma sanayiine kadar pek çok alanda camın güvenilir alternatifi olarak öne çıkmaktadır [2]. Polikarbonat sert bir malzemedir. PC mühendislik plastiklerinin, üç ana uygulama alanı, cam montaj endüstrisi, otomotiv endüstrisi ve elektrik elektronik endüstrisidir, bunu endüstriyel makine parçaları, optik diskler, paketleme, bilgisayarlar, sağlık hizmetleri, koruyucu ekipmanlar, ofis ekipmanları gibi birçok alan takip eder. PC, kapı ve pencere camlarında, bankaların, elçiliklerin, gözaltı merkezlerinin ve halka açık yerlerin koruyucu pencerelerinde, uçak kabin kapaklarında, aydınlatma ekipmanlarında, endüstriyel güvenlik engellerinde ve kurşungeçirmez camlarda yaygın olarak kullanılır. Havacılık ve uzay teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte, uçak ve uzay araçlarındaki çeşitli bileşenlere olan gereksinimler sürekli olarak artmakta ve bu da bu alanda PC'nin giderek daha fazla kullanılmasına imkan sunmaktadır. İstatistiklere göre, yalnızca bir Boeing uçağında 2500 polikarbonat parça bulunmaktadır ve tek bir uçakta yaklaşık 2 ton polikarbonat malzeme kullanılmaktadır [3].

Otomotiv sektöründe oldukça dikkat çeken sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), sürtünme karıştırma kaynağından (SKK) türetilmiştir [4-6]. Tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantıları gerçekleştirilen, bir katı faz kaynak yöntemi olan SKNK, 1993 yılında Mazda tarafından icat edilmiştir [7-16]. Otomotiv endüstrisinde alüminyum sacların birleştirilmesinde direnç nokta kaynağı ile yapılan bağlantı sonucunda oluşan hataların giderilmesi için geliştirilen SKNK, başarılı bir şekilde, alüminyum [17], magnezyum [18], çelik levhalara [19] uygulanmaktadır. Ayrıca, yapılan araştırmalar, SKNK'nın yüksek mukavemetli, ileri yüksek mukavemetli ve ultra yüksek mukavemetli çelikler gibi çeşitli çelikler için de kullanıldığını belirtmektedir [20]. SKNK ile polimerler üzerine yapılan ilk çalışmalar yakın geçmişte gerçekleştirilmiş, bu yöntemin plastik malzemelere de uygulanabilirliği ispatlanmıştır ve konu ile ilgili ilk yayınlar literatüre kazandırılmıştır. SKNK yönteminin metal malzemelere ilaveten polimer esaslı malzemelere de uygulanabilmesi, yöntemi dikkat çekici hale getirmiş ve yöntemine önemli bir avantaj kazandırmıştır [7, 11, 14, 21]. Sonrasında ise çeşitli polimer esaslı malzemelerin SKNK yöntemi ile birleştirilerek optimum parametrelerin belirlenebilmesi için yurt dışında ve yurt içinde, birçok araştırmacı tarafından çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. SKNK tekniğinin hem polimer esaslı malzemelere hem de metal malzemelere uygulanabilmesi, bu yöntemi akademik dünyada ve de sektörde ilgi odağı haline getirmiştir [4, 7, 9-11, 14, 21-35].

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), direnç nokta kaynağının ve perçinli montajların yerine geçebilecek, geleneksel sürtünme karıştırma kaynağının (SKK) çok önemli bir türevidir. Geleneksel kaynak işlemlerine kıyasla bu teknik, yüksek kaliteli kaynaklı bağlantılar sağlar. SKNK, alüminyum, magnezyum, titanyum gibi çeşitli metalleri birleştirmek için kullanılan yeni bir teknolojidir. Ayrıca, geleneksel kaynak işlemleriyle kaynaklanması zor olan polimer esaslı malzemelerin, kaynakla birleştirilmesinde de kullanılır [36]. Plastik malzemelerin birleştirme ve kaynak tekniklerindeki, gelişme ve modernizasyon, bilimsel araştırma ve endüstri alanında büyük bir ilgi görmüştür. Günümüzde, SKK ve SKNK tekniklerinde, harici ısıtıcıya veya herhangi bir yapıştırıcıya ihtiyaç duyulmaması ve tükenmeyen aletlerin kullanılması nedeniyle, bu yöntemler diğer birleştirme yöntemlerine göre önemli bir avantaj kazanmışlardır [37]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemine dayanan yeni bir kaynak tekniğidir [38] ve SKNK ilk olarak Mazda otomotiv firması tarafından, önce Mazda RX-7 model spor arabaların, hemen sonrasında ise RX-8 model spor arabaların imalatında kullanılmıştır [7]. SKNK, bindirme tipi bağlantılarda sağlam birleştirmeler elde etmek için büyük bir potansiyel sergilemiştir [39]. Yüksek verimli ve çevre dostu olan SKNK yöntemi, bir katı hal kaynak tekniğidir [40]. Yeni bir kaynak yöntemi olan SKNK'nın, otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerdeki uygulama alanları üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır [41-43]. Direnç nokta kaynağı gibi özellikle otomotiv sanayisinde halen kullanılmakta olan kaynak yöntemlerinin yerini, son yıllarda geliştirilen kaynak yöntemleri almaya adaydır. Literatürde, sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi için direnç nokta kaynağının alternatif kaynak yöntemi olarak ifade edilmektedir [4]. SKNK yöntemi, SKK yönteminin nokta halinde dikiş üreten bir versiyonudur. SKNK tekniği, geleneksel ergitmeli kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajlarından biri, ana metalin ergimeden kaynak işleminin gerçekleşmesidir [44]. SKNK yönteminin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, daldırma, karıştırma ve geri çekilme olarak tanımlanan üç aşamada gerçekleştirilen bir uygulaması vardır [8, 9, 25, 27, 45-49]. Bu üç aşama sırasıyla, adım adım aşağıdaki gibidir (Şekil 1) [7].

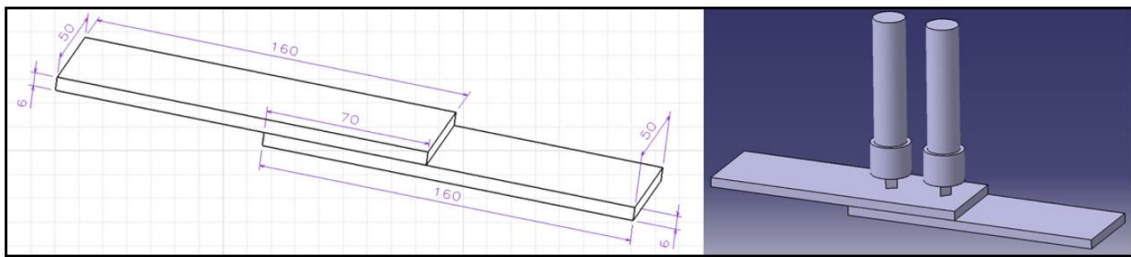


Şekil 1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının üç adımı [7]

Bu deneysel çalışmada, 6 mm kalınlığındaki polikarbonat (PC) levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) ile bindirme pozisyonundaki kaynak bağlantıları yapılmıştır. Kaynaklı bağlantıların oluşturulması için bu deneysel çalışmaya özel uygun kaynak takımı önce tasarlanmış sonrasında da imal edilmiştir. Ayrıca yapılan bu deneysel çalışmada, tezgah tablasına PC kaynak numunelerini bağlayıp kaynak noktalarını oluşturmak için bağlama aparatı da tasarlanmıştır ve imal edilmiştir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen numunelere, çekme testleri uygulanarak, kaynaklı bağlantıların çekme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Farklı karıştırma (birleştirme) süresi değerlerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bağlantının dayanımını maksimum seviyeye çıkaran, en yüksek çekme kuvveti değeri ve optimum karıştırma süresi belirlenmiştir.

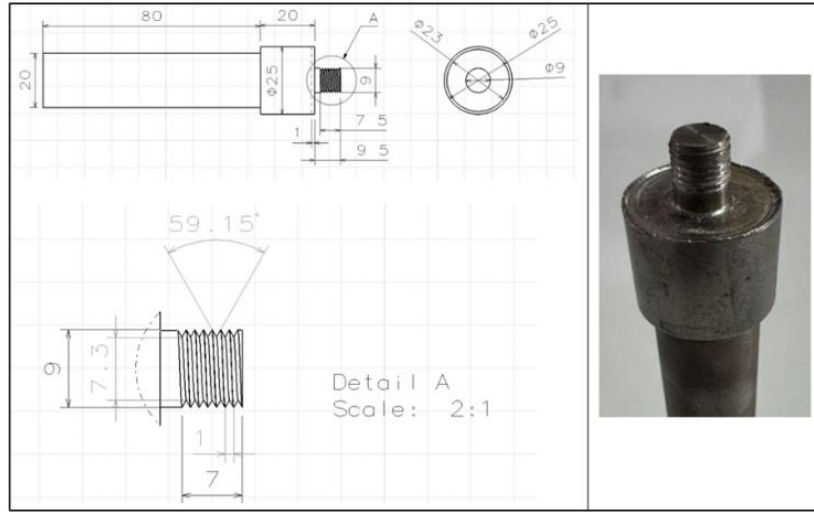
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan bu deneysel çalışmada, kaynaklı bağlantıların oluşturulmasında kullanılan PC numuneler, 160x50x6 mm boyutlarında ve standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Üretilcek kaynaklı bağlantılar için, bindirme pozisyonuna getirilen PC numunelere, sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada, tezgah tablasına PC kaynak numunelerini bağlayıp kaynak noktalarını oluşturmak için bağlama aparatı tasarlanmıştır ve üretilmiştir. İmal edilen bağlama aparatı, kaynaklı bağlantıları oluştururken gözlemlemeye imkan verecek bir şekilde, bu çalışma için özel olarak tasarlanıp, üretilmiştir. Sürtünme karıştırma nokta kaynak takımının tasarlanması ve çizilmesinde CATIA V5 uygulamasından faydalanılmıştır. Tasarlanan kaynak takımı St37 çelik malzemeden CNC Torna tezgahında imal edilmiştir ve kaynaklı parçaların oluşturulmasında kullanılmıştır. Kullanılacak takımın ölçüleri belirlenirken, yapılan literatür araştırmasında, kullanılan takımlar incelenmiştir ve bu takımlara ait ölçüler arasındaki oranlar dikkate alınmıştır. Numunelerin bindirme mesafesi ise 70 mm olacak şekilde belirlenmiş ve tezgah tablasına, tasarlanıp imal edilen bağlama aparatı ile sabitlenmiştir. Bindirme bağlantısı konumundaki parçaların, 50x70 bindirme bölgesine, tasarlanıp imal edilen kaynak takımı ile daldırma, karıştırma (birleştirme) ve geri çekilme adımları sırasıyla uygulanmıştır. Her numune için, belirlenen bindirme bölgelerine ikişer adet kaynak noktası oluşturulmuştur (Şekil 2). Böylece dayanıma katkı sağlaması açısından, kaynaklı bölgenin ve kaynak havuzu hacminin artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 2. Bindirme bölgesi ve iki adet kaynak noktasının oluşturulması

Oluşturulan kaynaklı bağlantılara mekanik testlerden çekme testleri uygulanmıştır ve elde edilen veriler yorumlanmıştır. Çekme kuvvetini maksimum değere taşıyan optimum karıştırma süresi parametresi tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, kaynak noktalarının oluşturulmasında kullanılan kaynak takımı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Bu deneysel çalışma için tasarlanıp üretilen kaynak takımı

PC kaynak numunelerinin tezgah tablasına, bu deneysel çalışma için tasarlanıp üretilen bağlama aparatı ile sabitlenmesi ve kaynaklı bağlantıların gerçekleştirilmesine ait fotoğraf Şekil 4'te görülmektedir. Kaynak noktaları oluşturulurken, yapılan işlemleri görsel olarak takip edebilmek için, yapılan tasarıma özen gösterilmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde, belirlenen parametreler kullanılarak, SKNK işlemleri CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Parçaların bindirme mesafesi 70 mm'dir. Bindirme bağlantısı konumundaki parçaların, 50x70 bindirme bölgelerine, tasarlanıp üretilen kaynak takımı ile, sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin daldırma, karıştırma ve geri çekilme aşamaları sırasıyla uygulanmıştır. Kaynak takımı, numunelere belirlenen dalma hızında, dalma derinliğinde, devir sayısında ve karıştırma süresinde, daldırılmıştır. İstenilen dalma derinliğine ulaşılnca, belirlenen karıştırma süresinden sonra geri çekilmesi yine aynı hız ile gerçekleştirilmiş ve parçalardan uzaklaştırılmıştır. Kaynak noktaları oluşturulan parçalar, hemen sökülmemiş, soğuması için belirli bir süre beklenmiştir.

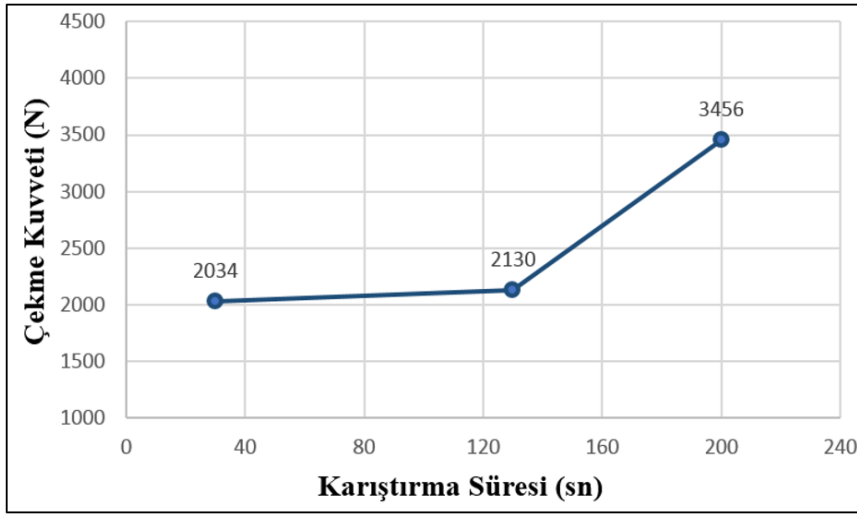


Şekil 4. PC kaynak numunelerinin tezgah tablasına bağlama aparatı ile sabitlenmesi ve kaynaklı bağlantıların gerçekleştirilmesi

Yapılan ön çalışmalar neticesinde, belirlenen dalma derinliği, dalma hızı, devir sayısı için, farklı karıştırma (birleştirme) sürelerinin, kaynak bağlantısının dayanımına etkileri incelenmiştir. Yapılan ön çalışmalar dikkate alınarak, seçilen 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı ve 1700 d/d devir sayısı sabit tutularak, 30, 130 ve 200 sn farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneysel çalışmalarda, kaynaklı bağlantılar oluşturulmuştur. Bağlantının istenen dayanıma sahip olup olmadığı, mekanik testlerden çekme deneyleri ile belirlenmiştir. Bilgisayar kontrollü elektromekanik bir çekme test cihazı kullanılarak, kaynaklı bağlantılara standartlara uygun olarak çekme testleri uygulanmıştır. Elde edilen çekme kuvveti değerleri karşılaştırılarak, hangi birleştirme süresinde maksimum çekme kuvveti değerine ulaşıldığı belirlenmiştir.

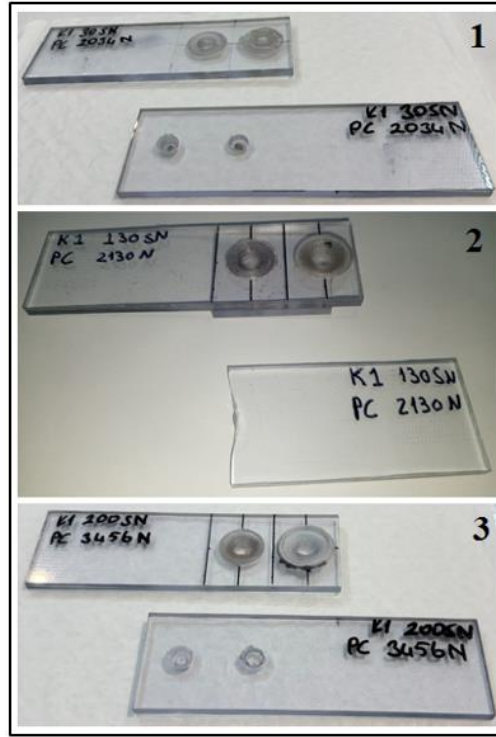
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, yapılan ön çalışmalardan yola çıkılarak, 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı ve 1700 d/d devir sayısı sabit tutularak, tasarlanan ve imal edilen kaynak takım ile gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda, karıştırma süresinin değişiminin, çekme kuvvetine olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma için farklı karıştırma süreleri belirlenmiştir. 30, 130 ve 200 sn'lik değişen karıştırma sürelerinde yapılan deneylerde, elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Karıştırma süresi parametresi arttıkça, çekme kuvvetinin de arttığı tespit edilmiştir. Karıştırma süresinin yani birleştirme süresi parametresinin, belirli bir değerin altında tutulmasının, çekme kuvveti değerinin de düşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Böylece bu deneysel çalışma için, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi, diğer bir deyişle çekme kuvvetini maksimum yapan optimum birleştirme süresi belirlenmiştir.



Şekil 5. 75 mm/dak kaynak takımı dalma hızı, 1700 d/d takım devir sayısı ve 10,5 mm takım dalma derinliği için, çekme kuvveti üzerine karıştırma süresinin etkisi

PC malzeme kullanılarak oluşturulan sürtünme karıştırma nokta kaynağı numunelerinin, çekme deneyi sonrası fotoğrafları Şekil 6'da verilmiştir. Farklı birleştirme süreleri için, sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulanmış parçaların kaynak bölgelerinin gözle yapılan incelemelerinde, tüm numunelerde, kaynak noktasına ait karakteristik görünümün meydana geldiği belirlenmiştir. Kaynak işlemi sırasında yumuşayan plastik malzemenin, farklı karıştırma yani birleştirme sürelerine bağlı olarak farklı oranlarda, kaynak takımı etrafına bir miktar sıvandığı gözlemlenmiştir. Numunelerin çekme deneyi sonrasına ait fotoğrafları incelendiğinde, numunelerin kopma bölgelerinin görünümü, elde edilen çekme kuvveti değerlerine ışık tutmaktadır.



Şekil 6. Çekme deneyi sonrası PC sürtünme karıştırma nokta kaynağı numuneleri

Bu deneysel çalışmada, 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı, 1700 d/d devir sayısı ve 30 sn karıştırma yani birleştirme süresinde oluşturulan kaynaklı numunede, malzemenin yumuşamasını sağlayacak, istenen optimum sıcaklık değerlerine ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bu sürenin PC malzeme için yetersiz bir birleştirme süresi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen 2034 N nispeten düşük çekme kuvveti değeri, bu durumu açıkça desteklemektedir. Kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, 1 nolu numunenin kaynağı sırasında, omuz altından dışa doğru oldukça fazla kaçış yaparak, kaynak bölgesinin etrafında bir miktar yükseldiği görülmüştür. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve dayanım değerlerine katkı sunması gereken malzemenin dışa oldukça fazla kaçış yapmasının, dayanım değerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır.

Bu deneysel çalışmada, 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı, 1700 d/d devir sayısı ve 130 sn karıştırma yani birleştirme süresinde oluşturulan kaynaklı numunede de, malzemenin yumuşamasını sağlayacak, istenen optimum sıcaklık değerlerine ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bu sürenin PC malzeme için yetersiz bir birleştirme süresi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen 2130 N nispeten düşük çekme kuvveti değeri, bu durumu açıkça desteklemektedir. Kaynak bölgesinde yumuşayan plastik malzeme, 2 nolu numunenin kaynağı sırasında, omuz altından dışa doğru önemli bir miktar kaçış yaparak, kaynak bölgesinin etrafında bir miktar yükseldiği görülmüştür. Kaynak havuzu içinde kalması gereken ve dayanım değerlerine katkı sunması gereken malzemenin önemli miktarda dışa kaçış yapmasının, dayanım değerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmada, 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı, 1700 d/d devir sayısı ve 200 sn karıştırma yani birleştirme süresinde oluşturulan kaynaklı numunede çekme kuvvetini 3456 N değerle maksimum yapan optimum karıştırma yani birleştirme süresinin 200 sn olduğu belirlenmiştir. Bu sürenin PC malzeme için daha uygun bir birleştirme süresi olduğu anlaşılmıştır. En yüksek çekme kuvveti değerinin elde edildiği sürtünme karıştırma nokta kaynağı numunesi 3 nolu numunedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, kaynak için malzemede, en uygun yumuşama durumunu sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine 200 sn karıştırma süresinde yani birleştirme süresinde ulaşılmıştır. Kaynak bölgesinde yumuşayan polimer malzemenin, 3 nolu numunenin kaynağı sırasında, omuz altından dışa doğru kaçışı belirli bir süre sonra oldukça azalmış, iyice hamur haline gelen malzeme kaynağa daha elverişli hale dönüşmüştür. Böylece, iyice yumuşayan malzemenin daha iyi karıştırılmasına imkan verecek bir birleştirme süresinin seçilmesinin dayanım değerlerini olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır. 3 nolu numune için belirlenen parametreler kullanılarak, dayanım değerini maksimum yapan en yüksek çekme kuvvetinin elde edildiği optimum karıştırma yani birleştirme süresi değerine ulaşılmıştır. Kullanılan PC malzemenin özelliklerinden dolayı, sert ve gevrek bir yapıya sahip olması nedeniyle, hiçbir kaynaklı numunede sünek uzama lifleri, kopma öncesi büzülme ve kesit daralması görülmemiştir.

4. SONUÇLAR

Hazırlanan PC kaynak numuneleri için, kaynak noktalarının oluşturulmasında, bu deneysel çalışma için özel olarak tasarlanarak imal edilmiş kaynak takımı ve yine bu çalışma için özel olarak tasarlanarak imal edilmiş bağlama aparatı kullanılmıştır. Her numune için, belirlenen bindirme bölgelerine ikişer adet kaynak noktası oluşturulmuştur. Böylece dayanıma katkı sağlaması açısından, kaynaklı bölge ve kaynak havuzu hacmi artırılmıştır. SKNK yönteminin uygulandığı bu deneysel çalışmada, oluşturulan kaynaklı bağlantılarda, karıştırma süresi değişiminin, çekme kuvvetine önemli oranda etkisi olduğu ortaya konulmuştur. Belirli bir dalma derinliği, dalma hızı ve devir sayısı için, farklı karıştırma süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum karıştırma süresi belirlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde, 10,5 mm dalma derinliği, 75 mm/dak dalma hızı ve 1700 d/d devir sayısı sabit tutularak, farklı karıştırma sürelerinde yapılan deneysel çalışmada, çekme kuvvetini 3456 N değerle maksimum yapan optimum birleştirme süresinin 200 sn olduğu belirlenmiştir. En yüksek çekme kuvveti değerine ulaşılan SKNK numunesi 3 nolu numunedir. Yapılan deneysel çalışmada, kaynak için malzemede, en uygun yumuşama durumunu sağlayacak istenen optimum sıcaklık değerlerine 200 sn karıştırma süresinde ulaşılmıştır. Kaynak bölgesinde yumuşayan polimer malzemenin, 3 nolu numunenin kaynağı sırasında, omuz altından dışa doğru kaçışının belirli bir süre sonra oldukça azaldığı, iyice hamur haline gelen malzemenin kaynağa daha elverişli hale dönüştüğü anlaşılmıştır. Böylece, iyice yumuşayan malzemenin daha iyi karıştırılmasına imkan verecek bir birleştirme süresinin seçilmesinin dayanım değerlerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada, 3 nolu numune için belirlenen parametreler kullanılarak, dayanım değerini maksimum yapan en yüksek çekme kuvvetinin elde edildiği optimum karıştırma yani birleştirme süresi değeri tespit edilmiştir. Kullanılan PC malzemenin özelliklerinden dolayı, sert ve gevrek bir yapıya sahip olması nedeniyle, hiçbir kaynaklı numune de sünek uzama lifleri, kopma öncesi büzülme ve kesit daralması görülmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. PAGEV, “Polikarbonat (PC)”, <https://pagev.org/pc/>, ziyaret tarihi: 23.06.2026.
- [2]. 4D Yapı, “Polikarbonat nedir”, <https://www.polikarbonat.com/polikarbonat-nedir/>, ziyaret tarihi: 24.06.2026.
- [3]. WANPLAS, “Polikarbonat”, <https://www.wanplas.com/tr/industry-knowledge/plastic-materials/polycarbonate-pc/>, ziyaret tarihi: 26.06.2026.
- [4]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 26-35.
- [5]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Yönteminde Kullanılan Makina ve Ekipmanların İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences)*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 121-129.
- [6]. Mert, Ş., ve Mert, S., (2015). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin Otomotiv Sektöründeki Yeri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, Sayfa 432-438.
- [7]. Mert, Ş., (2010). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [8]. Feng, Z., Diamond, S., Santella, M. L., Pan, T. Y., and Li, N., (2004). High Strength Weight Reduction Materials - Friction Stir Welding and Processing of Advanced Materials, Oak Ridge National Laboratory Report, DE-AC05-00OR22725, 101-108.
- [9].Feng, Z., Santella, M. L., David, S. A., Steel, R. J., Packer, S. M., Pan, T., Kuo, M., and Bhatnagar, R. S., (2005). Friction Stir Spot Welding of Advanced High-strength steels-A Feasibility Study, SAE World Congress, Detroit, Michigan, USA.
- [10].Mitlin, D., Radmilovic, V., Pan, T., Chean, J., Feng, Z., and Santella, M. L., (2006). Structure Properties Relations in Spot Friction Welded (Also Known as Friction Stir Spot Welded) 6111 Aluminum, *Materials Science and Engineering*, vol. 441, pp. 79-96.
- [11].Arıcı, A. A., ve Mert, Ş., (2007). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, *PAGEV Plastik Dergisi*, 95, Sayfa 152-162.

- [12].Lin, P. C.,Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes And Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 1: Welds Made by a Concave Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 74-89.
- [13].Lin, P. C.,Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes and Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 2: Welds Made by a Flat Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 90-105.
- [14].Mert, Ş., ve Arıcı, A. A., (2008). Friction Stir Spot Welding Method Using in Polypropylene Sheet Materials Joining, 12th International Materials Symposium, Pamukkale University, pp 1150-1156, Denizli.
- [15].Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2008). Fatigue Behavior of Aluminum 5754-O and 6111-T4 Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 2175-2190.
- [16].Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2009). Effects of Processing Time on Strengths and Failure Modes of Dissimilar Spot Friction Welds Between Aluminum 5754-O and 7075-T6 Sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3724-3739.
- [17].Fujimoto, M., Koga, S., Abe, N., Sato, Y. S, and Kokawa, H., (2008). Microstructural Analysis of Stir Zone of Al Alloy Produced by Friction Stir Spot Welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 13, no. 7, pp. 663-670.
- [18].Yin, Y. H., Sun, N., North, T. H., and Hu, S. S., (2010). Hook Formation and Mechanical Properties in AZ31 Friction Stir Spot Welds, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210 (14), pp. 2062-2070.
- [19].Khan, M. I., Kuntz, M. L., Su, P., Su, P., Gerlich, A., North, T., and Zhou, Y., (2007). Resistance and Friction Stir Spot Welding of DP600: A Comparative Study, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 12 (2), pp. 175-182.
- [20].Ataya, S., Ahmed, M. M. Z., Seleman, M. M. El-S., Hajlaoui, K., Latief, F. H., Soliman, A. M., Elshaghou, Y. G. Y., and Habba, M. I. A., (2022). Effective Range of FSSW Parameters for High Load-Carrying Capacity of Dissimilar Steel A283M-C/Brass CuZn40 Joints, *Materials*, 15(4), 1394.
- [21].Arıcı, A. A., and Mert, Ş., (2008). Friction Stir Spot Welding of Polypropylene, *Journal of Reinforced Plasticsand Composites*, vol. 27 (18), pp. 2001-2004.
- [22]. Schäfer, H., Blaga, L., A., Stöver, E., and Klusemann, B., (2023). Refill Friction Stir Spot Welding of Thermoplastic Composites: Case Study on Carbon-fiber-reinforced Polyphenylene Sulfide, *Thin-Walled Structures*, 191, 111037.
- [23].Iftikhar, S., H., Cherupurakal, N., Krishnapriya, R., and Mourad, A., H., I., (2024). Friction Stir Spot Welding of Recycled Scrap Thermoplastics, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 7, 838-848.
- [24].Sioutis, I., Tserpes, K., Tsiangou, E., Boutin, H., Allegre, F., and Blaga, L., (2023). Experimental Evaluation of Refill Friction Stir Spot Welds (RFSSW) as Crack Arrest Features in Co-consolidated Thermoplastic Laminates, *Composite Structures*, 309, 116754.
- [25].Kawasaki Heavy Industries Ltd., (2006 and 2026). A New Method For Light Alloy Joining - Friction Spot Joining - Kawasaki Robot, Japan, www.kawasakirobot.com, visit date: 18 March 2006, 28 March 2013, 06 December 2017, 21 October 2021, 12 March 2024, 22 June 2025 and 17 February 2026.
- [26].J. Hinrichs, (2006). “Friction Stir Spot Welding”, *Friction Stir Link Inc.*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.
- [27].Mert, Ş., and Arıcı, A. A., (2011). Design of Optimal Joining for Friction Stir Spot Welding of Polypropylene Sheets, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 16(6), pp. 522-527.
- [28].Yusof, F., Miyashita, Y., Seo, N., Mutoh, Y., and Moshwan, R., (2012). Utilising Friction Spot Joining for Dissimilar Joint Between Aluminium Alloy (A5052) and Polyethylene Terephthalate, *Scienceand Technology of Weldingand Joining*, vol. 17, pp. 544-549.
- [29].Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Effects of Welding Parameters on Friction Stir Spot Welding of High Density Polyethylene Sheets, *Materials and Design*,vol. 33, pp. 545-550.

- [30]. Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Influence of Tool Geometry and Process Parameters on Macrostructure and Static Strength in Friction Stir Spot Welded Polyethylene Sheets, *Materials and Design*, vol. 33, pp. 145-152.
- [31]. Mostafapour A., and Asad, F. T., (2016). Investigations on Joining of Nylon 6 Plates Via Novel Method of Heat Assisted Friction Stir Welding to Find the Optimum Process Parameters, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 21 (8), pp. 660-669.
- [32]. Yan, Y., Shen, Y., Zhang, W., and Guan, W., (2017). Effects of Friction Stir Spot Welding Parameters on Morphology and Mechanical Property of Modified Cast Nylon 6 Joints Produced by Double-Pin Tool, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, pp. 2511-2523.
- [33]. Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [34]. Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). Polipropilen Malzemeye Uygulanan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Takım Geometrisinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [35]. Goswami, N., K., Pal, K., Bisoyi, R., K., and Nayak, S., S., (2024). Monitoring of Weld Bead Profile in Friction Stir Lap Welding for Polycarbonate Sheets Using Wavelet Packets of Power Signal, *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09057-8> Published online: 29 April 2024.
- [36]. Benyerou, D., Chikh, E., B., O., Khellafi, H., Meddah, H., M., Benhamena, A., Hachelaf, K., and Lounis, A., (2021). Parametric Study of Friction Stir Spot Welding (FSSW) for Polymer Materials Case of High Density Polyethylene Sheets: Experimental and Numerical Study, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 55, 145-158.
- [37]. Sidhom, A., A., E., Naga, S., A., R., and Kamal, A., M., (2022). Friction Stir Spot Welding of Similar and Dissimilar High Density Polyethylene and Polypropylene Sheets, *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100076.
- [38]. Xu, R. Z., Ni, D. R., Yang, Q., Xiao, B. L., Liu, C. Z., and Ma, Z. Y., (2018). Influencing Mechanism of Al-Containing Zn Coating on Interfacial Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Mg-Steel Joint, *Materials Characterization*, 140, 197-206.
- [39]. Çam, G., Javaheri, V., and Heidarzadeh, A., (2022). Advances in FSW and FSSW of dissimilar Al-alloy plates, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27 Jan 2022.
- [40]. Pradhan, D., K., Sahu, B., Bagal, D., K., Barua, A., Jeet, S., and Prahhan, S., (2022). Application of Progressive Hybrid RSM-WASPAS-grey Wolf Method for Parametric Optimization of Dissimilar Metal Welded Joints in FSSW Process. *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, part 5, pp. 766-772.
- [41]. Buffa, G., Fanelli, P., Fratini, L., and Vivio, F., (2014). Influence of Joint Geometry on Micro and Macromechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Joints, 11th International Conference on Technology of Plasticity, *Procedia Engineering*, 81 (2014) 2086 - 2091.
- [42]. Venukumar, S., Yalagı, S., and Muthukumaran, S., (2013). Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Conventional and Refilled Friction Stir Spot Welds in AA 6061-T6 Using Filler Plate, *Transactions Nonferrous Metals Society, China*, 23(2013) 2833-2842.
- [43]. Malafaia, A. M. S., Milan, M. T., Oliveira, M. F., and Spinelli, D., (2010). Evaluation of Dynamic Defect Detection in FSSW Welded Joints Under Fatigue Tests, *Procedia Engineering*, 2 (2010) 1823-1828.
- [44]. Bilici, M. K., Bakır, B., Bozkurt, Y., ve Çalış, İ., (2016). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Farklı Alüminyum Levhaların Taguchi Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 17-23.
- [45]. Rosendo, T., Mazzaferro, J., Mazzaferro, C., Tier, M., Ramos, F., Reguly, A., Strohaecker, T., dos Santos, J. (2013 and 2026). Friction Spot Processes - FSSW and FSpW, http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/institut_fuer_werkstoffforschung/wmp/poster-apresentacao-gkss2.pdf, visit date: 28 March 2013, 12 February 2025 and 21 February 2026.
- [46]. Smith, C. B., Hinrichs, J. F., and Ruehl, P. C., (2006). Friction Stir and Friction Stir Spot Welding, *Friction Stir Link Inc*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.

- [47].Gerlich, A., Su, P., North, T. H., and Bendzsak, G. J., (2005). Friction Stir Spot Welding of Aluminum and Magnesium Alloys, *Materials Forum*, 29, 290-294.
- [48].Awang, M., Mucino, V. H., Feng, Z., and David, S. A., (2005). Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Use of an Explicit Adaptive Meshing Scheme, *SAE International*, 2005-01-1251.
- [49].Lathabai, S., Painter, M. J., Cantin, G. M. D., and Tyagi, V. K., (2006). Friction Spot Joining of an Extruded Al-Mg-Si Alloy, *Scripta Materialia*, 55, 899-902.