
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ KONULARI

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY

yaz
yayınları

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Konuları

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY

yaz
yayınları

2025

**Elektrik-Elektronik ve Haberleşme
Mühendisliği Konuları**

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5596-36-9

Mart 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

PZT and SPIN-COATING: A Detailed Study of Production and Characterization Processes	1
<i>Melih ÖZDEN, Tevhit KARACALI</i>	
Yapay Aydınlatmanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	20
<i>Süreyya KOCABEY, Zafer Ömer ÖZDEMİR</i>	
Yapay Aydınlatmanın Psikolojik, Çevresel ve Teknolojik Boyutu	41
<i>Süreyya KOCABEY, Zafer Ömer ÖZDEMİR</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

PZT AND SPIN-COATING: A DETAILED STUDY OF PRODUCTION AND CHARACTERIZATION PROCESSES

Melih ÖZDEN¹

Tevhit KARACALI²

1. INTRODUCTION

Piezoelectric materials play a crucial role in various applications by leveraging the nonlinear interaction between mechanical and electrical energy. Due to their high efficiency and precision in energy conversion, these materials have become fundamental to technological advancements. Since the discovery of the piezoelectric phenomenon, significant progress has been made in the development of piezoelectric materials and the expansion of their applications. Among these materials, Lead Zirconate Titanate (PZT) stands out due to its exceptional piezoelectric properties.

PZT is distinguished by its ability to operate over a wide frequency range, high dielectric constant, and excellent mechanical stability. Its high piezoelectric charge constant and electro-mechanical coupling coefficient are among the key characteristics that set it apart from other piezoelectric materials. These properties make PZT a highly preferred material in various high-tech applications, including sensors, actuators, energy

¹ Research Assistant, Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Electrical Electronics Engineering, melih.ozden@erzincan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6383-1464.

² Prof. Dr., Atatürk University, Department of Electrical Electronics Engineering, tevhit@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3647-6372.

harvesting systems, ultrasonic devices, medical imaging technologies, and microelectromechanical systems (MEMS) (Shilpa, Sreelakshmi, & Ananthaprasad, 2016). The extensive range of applications for PZT further underscores the significance of the techniques employed in its fabrication and processing.

The methods used in piezoelectric thin film production are critical processes that directly affect the performance and application area of the material. There are studies in the literature using methods such as MBE, CVD, sputter, and spin-coating (Anderson et al., 2007; Guo et al., 2024; Kim, Lee, & Kim, 1996; Ma, Song, Wang, Liu, & Zhou, 2021). Among these methods, the spin-coating method has an important place in the deposition of PZT films. The spin-coating method attracts attention due to its low cost, easy applicability, and controlled homogeneous thin film production. This method allows the solution to be spun at high speeds to form a thin layer on the surface, thus achieving precise thickness control and uniform film structure.

PZT thin films deposited via the spin-coating method undergo various processing steps, including annealing, film thickness control, and crystal structure modification, to optimize their piezoelectric performance. These processes are crucial for enhancing the piezoelectric and dielectric properties of PZT films. Moreover, the spin-coating method offers a suitable platform for the fabrication of multilayer structures, enabling the development of more complex architectures with advanced functional properties (Lin & Tsai, 2007).

The second part of this book chapter aims to provide a comprehensive understanding of the physical and chemical properties of PZT, along with the fundamental principles and application details of the spin-coating method. The third part presents a detailed explanation of the steps involved in PZT film deposition using the spin-coating technique. Additionally, this

section discusses the rationale for employing SEM, EDX, and XRD methods for the structural and surface characterization of the deposited PZT films, as well as the interpretation of the results obtained. The chapter concludes with the fourth section.

The obtained results are expected to provide valuable insights into the design and fabrication processes for the development of PZT-based piezoelectric devices. Additionally, this chapter aims to equip readers with a comprehensive understanding of the spin-coating method, the properties of PZT material, and the characterization techniques employed in its analysis.

2. MATERIAL METHOD

2.1. PZT

PZT, with the chemical formula $\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$), is a crucial material known for its piezoelectric, pyroelectric, and ferroelectric properties (P. K. Panda & Sahoo, 2015). It is widely utilized across various applications due to its high dielectric constant and exceptional mechanical strength. While its piezoelectric properties enable an electrical response to mechanical stress, its ferroelectric characteristics determine its sensitivity to electric fields. The piezoelectric properties of PZT are particularly significant for its application areas, as its ability to convert electrical signals into mechanical motion makes it indispensable for systems such as sensors and actuators. This unique capability allows PZT to be employed in diverse industrial applications, including ultrasonic imaging, biomedical sensors, and energy harvesting systems (S. Panda et al., 2022).

PZT is a ferroelectric material that also exhibits pyroelectric properties, meaning that temperature variations cause a redistribution of electric charges within the material, leading to the generation of an electric potential on its surface

(Zhang et al., 2017). This characteristic is particularly exploited in infrared sensors, thermal detectors, and energy harvesting applications. Applying an external electric field to a ferroelectric material induces spontaneous polarization, which partially remains after the field is removed. Unlike dielectrics, ferroelectrics exhibit a nonlinear polarization-field relationship (Jiang, Pendse, Zhang, & Shi, 2022). As a result, PZT stands out as a high-performance sensor material with exceptional sensitivity to thermal variations (Kuzenko, 2021).

PZT possesses a high dielectric constant, making it well-suited for capacitive applications (Ong, Payne, & Sottos, 2005). This property allows it to be used in capacitors and magnetic field sensors. Furthermore, due to its ceramic structure, PZT is mechanically durable and is often preferred in applications that demand high hardness (Izyumskaya et al., 2007). Additionally, PZT can exhibit changes in optical transmittance and refractive index depending on specific crystal orientations, which can be advantageous for optoelectronic applications (Zhu, Du, Jing, Yoong Tok, & Tong Teo, 2015).

The piezoelectric effect was first discovered by Pierre and Jacques Curie in the 1880s, demonstrating that certain crystal structures generate electrical polarization under mechanical stress (P. K. Panda & Sahoo, 2015). Early studies focused on natural materials such as quartz and tourmaline, but the development of synthetic piezoelectric materials in the mid-20th century significantly expanded the potential applications of this technology. PZT, developed in the 1950s, has become a prominent material among synthetic piezoelectric substances. The work of Jaffe et al. (1954) is considered one of the first systematic investigations into the piezoelectric properties of PZT, providing valuable insights into its crystal structure, piezoelectric responses, and underlying mechanisms (B. Jaffe, Roth, & Marzullo, 1954). In his 1971 book *Piezoelectric Ceramics*, the

piezoelectric properties of PZT were systematically examined for the first time, marking a key milestone in understanding the material's full potential (Bernard Jaffe, Cook, & Jaffe, 1971). Over the years, PZT has been widely used in electronic devices and continues to be a highly relevant material in contemporary research and applications.

The figure shows the atomic arrangement of the perovskite structure of PZT. At the corners of the structure, there are Pb^{2+} (lead) atoms, shown in green, and oxygen atoms (O^{2-}) form the bond structure in different axes, represented in blue. At the center of the structure, there are Ti^{4+} and Zr^{4+} (titanium and zirconium) atoms, represented in red. These atoms form the symmetrical and regular geometric structure of the perovskite structure.

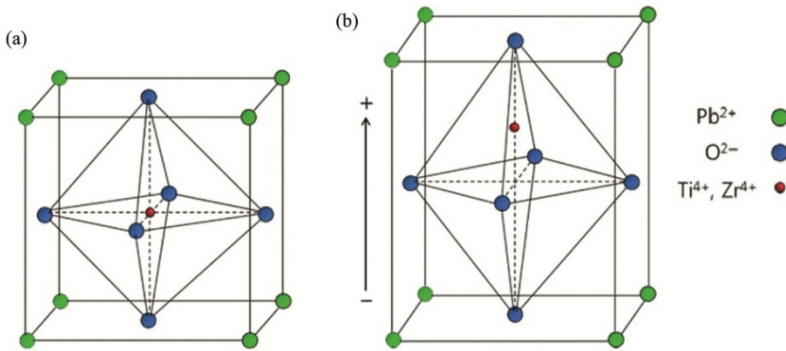


Figure 1. Perovskite PZT unit cell: (a) Symmetric cubic structure of PZT at temperatures above the Curie point. (b) Tetragonally distorted PZT unit cell below the Curie temperature (Priya et al., 2019).

The chemical structure of PZT plays a crucial role in determining its piezoelectric and ferroelectric properties. The piezoelectric behavior of PZT arises from the orientation of dipole moments within its crystal structure (Helke & Lubitz, 2008). The ratio of zirconium to titanium in PZT, represented by the formula $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, directly influences the crystal structure and ferroelectric properties of the material (Kim et al.,

1996). As the zirconium content increases, the tetragonal structure of PZT becomes more pronounced, enhancing its piezoelectric properties (Khaenamkaew, Muensit, Bdikin, & Kholkin, 2007). Conversely, PZT with a higher titanium rate exhibits more stable ferroelectric properties, making it suitable for use in memory devices (Niwa et al., 2000).

As a result, PZT stands out as a critical material in numerous industrial, biomedical, and electronic applications due to its combination of piezoelectric, ferroelectric, and environmental durability properties. Optimizing these properties increases both piezoelectric performance and environmental durability, further strengthening the effectiveness of PZT in technological applications.

2.2. Spin-Coating

The spin-coating method was first introduced by Ebelmen in 1846 (Pope, 1998), and in 1939, Geffcken demonstrated its applicability for depositing films on SiO₂ substrates (Floch & Belleville, 1994). Extensive studies on this technique began in the 1950s, particularly by Schott Glass, and it remains widely used today due to its low cost and simplicity. This method enables the deposition of thin films with thicknesses ranging from nanometers to micrometers (De, Kim, Adhikari, Patel, & Kundu, 2024).

The spin-coating method allows the formation of film layers by applying a liquid solution to a rotating surface at a certain speed. This method allows the liquid to spread over the surface and the film layer to form thanks to the centrifugal force. Film thickness is determined by parameters such as rotation speed, viscosity of the solution, and drying conditions. While high-speed rotation creates thin and uniform films, the viscosity of the solution affects the thickness.

The spin-coating process begins with substrate cleaning to ensure a contaminant-free surface, which is crucial for achieving a smooth and uniform film. Next, a solution containing the desired film materials is prepared, where viscosity affects film thickness and homogeneity, and the solvent choice determines the final properties. The third step involves applying the solution to the substrate, where spinning expels excess solvent and forms the film. Finally, the drying stage allows solvent evaporation, with environmental factors such as spin speed, temperature, and humidity playing a critical role in film quality.

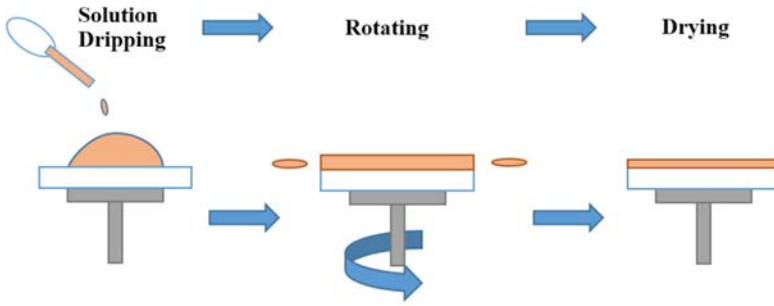


Figure 2. Schematic of the spin-coating process (Özden & Duman, 2022).

Film thickness and surface properties are primarily influenced by rotation speed, solution viscosity, and drying conditions. Higher rotation speeds produce thinner and smoother films, while lower speeds result in thicker and rougher surfaces. Solution viscosity also plays a crucial role—high-viscosity solutions yield thicker layers, whereas low-viscosity solutions form thinner films (Szołdra, Frąc, Adamczyk, Kot, & Pichór, 2024).

Surface smoothness is crucial for ensuring accurate material properties. High-speed rotation accelerates solvent evaporation and liquid film spreading, leading to smoother surfaces. In contrast, surface roughness can negatively impact

film performance, especially in large PZT sheets (Sharma, Khangarot, Kumar, Chattopadhyay, & Misra, 2021). Therefore, precise control of surface smoothness is essential to achieve the desired film properties.

The drying process is a key factor influencing film surface structure, playing a crucial role in enhancing film homogeneity and quality. Its primary goal is to eliminate unwanted residues and irregularities by evaporating solvents. Typically performed at low temperatures, controlled drying prevents cracking and uneven shrinkage. Additionally, it improves material adhesion to the substrate and facilitates a smoother crystallization process during the subsequent annealing stage.

The second, third, and fourth steps are called a spin cycle. The cycles are repeated until the desired film thickness is achieved. Finally, thin films are deposited on the selected substrate.

Independently of the spin-coating method, films can be annealed to obtain better crystal structures.

3. THIN FILM CHARACTERIZATION METHODS AND EXPERIMENTAL STUDIES

This section provides a detailed explanation of the experimental processes involved in the spin-coating method and PZT deposition. Additionally, XRD, SEM, and EDX measurements from two different films will be presented, along with their significance in characterization.

The spin-coating process starts with preparing three solutions. SOL-X (lead source) is made by dissolving 3.794 g of Lead Acetate Trihydrate in 5 ml of acetic acid at 50°C for 1 hour, then cooling for 10 minutes. SOL-Y (zirconium and titanium

sources) is prepared by mixing 1.8 ml of zirconium propoxide and 1.4 ml of titanium isopropoxide at room temperature for 30 minutes. These are combined and stirred for 15 minutes. SOL-Z (viscosity adjuster) is made by mixing 1 ml of deionized water and 0.8 ml of methanol for 1 minute, then added to the SOL-X and SOL-Y mixture and stirred for 10 minutes. The final yellowish solution is spin-coated onto glass substrates at 3000 rpm for 30 seconds, then dried at 350°C for 10 minutes to remove solvents. (Monga, Sharma, Mehan, Mishra, & Singh, 2022). This process is repeated 4 to 6 times. Finally, the samples are annealed at 550°C for 2 hours and left to cool to room temperature.

There are analysis methods used to gather information about the structure and surface of the obtained films. In this section, the three primary methods will be briefly introduced, followed by the presentation of experimental results and subsequent analysis.

XRD (X-ray Diffraction) analysis is used for phase identification of crystalline materials, determination of crystal structure, and calculation of lattice parameters. It provides valuable information about properties such as crystal size, orientation, and internal stress by examining the material's structure. XRD is widely used, particularly in the characterization of thin films, ceramics, and semiconductor materials.

SEM (Scanning Electron Microscopy) analysis is used to examine the surface morphology, topography, and microstructure of materials at high resolution. It provides detailed information about properties such as grain structure, cracks, and surface roughness by scanning the surface with an electron beam. SEM is widely used, particularly in materials science, semiconductors, and biomedical research.

EDX (Energy Dispersive X-ray) analysis is used to determine the elemental composition of materials. It detects the

type and proportions of elements on the surface or in certain areas of the sample by working with SEM or TEM. It is widely used especially in materials science, metallurgy, and thin film analysis.

Figure 3 shows the XRD measurements of the PZT thin film obtained as a result of 4 spin cycles.

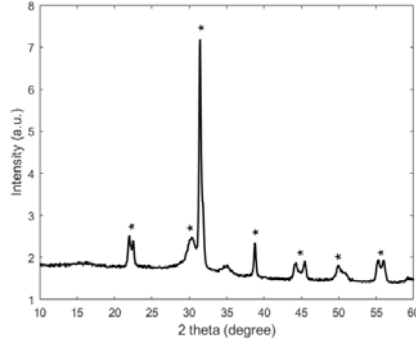


Figure 3. XRD measurements of PZT thin film deposited with 4 spin cycles

In Figure 3, all peaks marked with * correspond to PZT, confirming that the deposited film is PZT. For further validation, JCPDS card matching can be performed.

Figure 4 and Figure 5 show SEM images of the PZT thin film obtained after 4 spin-coating cycles at 1000x and 30000x magnifications, respectively.

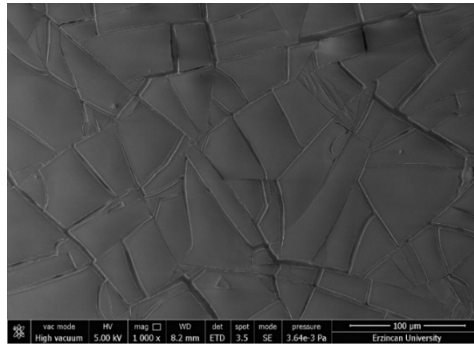


Figure 4. PZT thin film SEM image after 4 spin cycles at 1.000× magnification

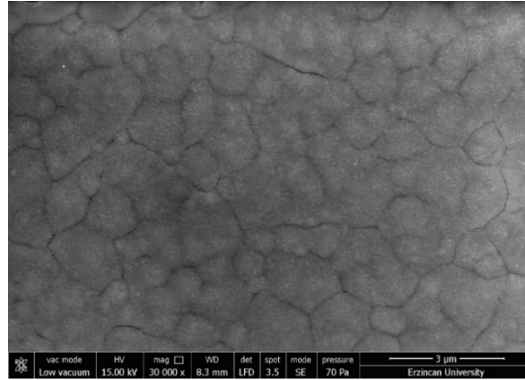


Figure 5. PZT thin film SEM image after 4 spin cycles at 30.000× magnification

The SEM results reveal both the cracked surface structure and the homogeneous coating of the film. Additionally, the EDX measurement results of the same film are presented in Figure 6.

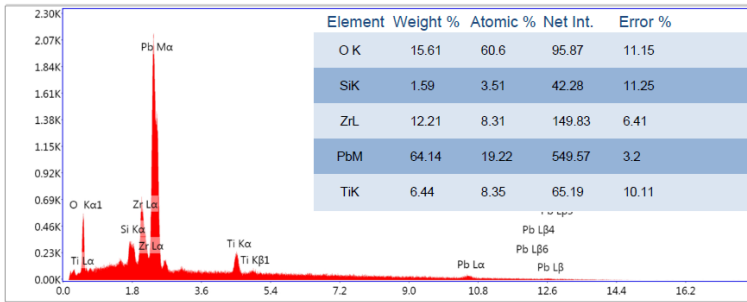


Figure 6. EDX spectrum of PZT thin film after 4 spin cycles

The EDX measurement results indicate that the $\text{Pb}_{1.1}[\text{Zr}_{0.42}\text{Ti}_{0.58}]\text{O}_3$ ratio in the material closely matches the expected composition.

The XRD measurement data of the PZT film obtained after 6 cycles are presented in the corresponding Figure 7.

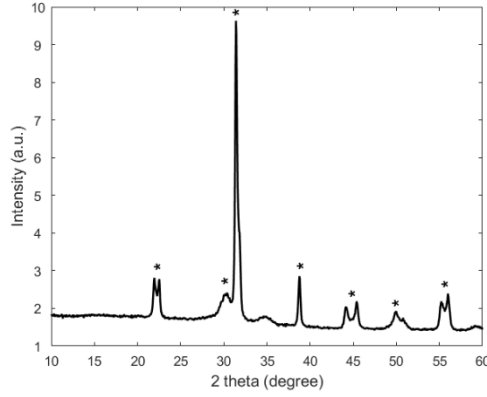


Figure 7. XRD measurements of PZT thin film deposited with 6 spin cycles

When the XRD measurement results are examined, the peaks corresponding to PZT, similar to those observed in the film deposited after 4 spin cycles, are marked with *.

SEM images of the PZT film deposited after 6 spin cycles at 1000x and 30000x magnifications are shown in Figure 8 and Figure 9, respectively.

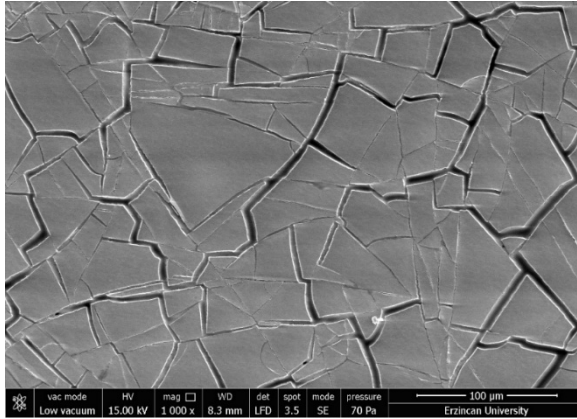


Figure 8. PZT thin film SEM image after 6 spin cycles at 1.000× magnification

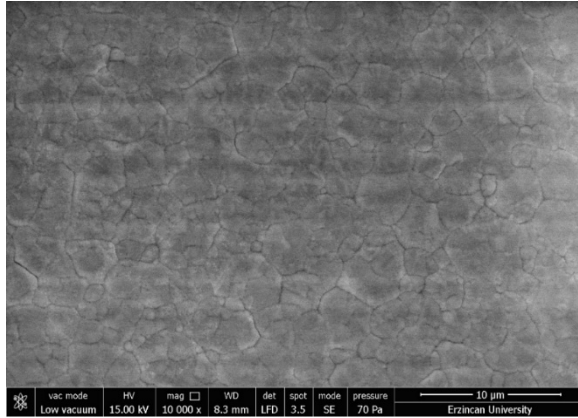


Figure 9. PZT thin film SEM image after 6 spin cycles at 30.000× magnification

When the SEM results are examined, the surface appears to have a cracked structure while maintaining a homogeneous coating, similar to the film deposited after 4 spin cycles.

Additionally, the EDX measurement results of the same film are presented in Figure 10.

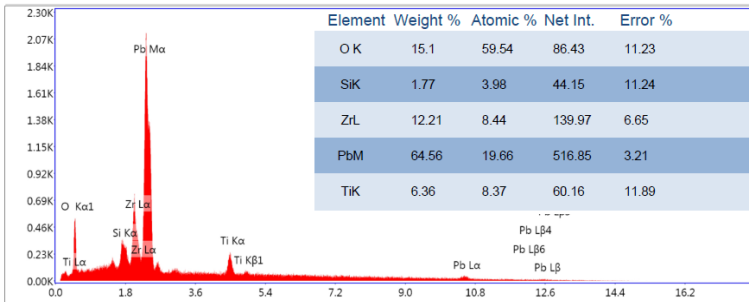


Figure 10. EDX spectrum of PZT thin film after 6 spin cycles

The EDX measurement results indicate that, similar to the other film, the elemental ratio of $\text{Pb}_{1.1}[\text{Zr}_{0.42}\text{Ti}_{0.58}]\text{O}_3$ in the material closely matches the expected composition.

4. CONCLUSION

In conclusion, this book section offers valuable information about PZT material, highlighting its significance through key studies from the past. It also introduces spin-coating, a cost-effective and accessible thin film deposition method. The process of preparing films using the spin-coating method is presented to facilitate a deeper understanding of both the technique and the material. Additionally, it is demonstrated that PZT films can be successfully deposited using spin-coating. XRD, SEM, and EDX measurements of the films provide clear examples of how information about the produced films can be gathered and interpreted.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by the Atatürk University BAP Program (Project No: FDK-2021-9942).

REFERENCES

- Anderson, P. S., Guerin, S., Hayden, B. E., Khan, M. A., Bell, A. J., Han, Y., ... Reaney, I. M. (2007). Synthesis of the ferroelectric solid solution, $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ on a single substrate using a modified molecular beam epitaxy technique. *Applied Physics Letters*, 90(20), 202907. <https://doi.org/10.1063/1.2738191>
- De, A., Kim, M. S., Adhikari, A., Patel, R., & Kundu, S. (2024). Sol-gel-derived nanostructured electrocatalysts for oxygen evolution reaction: A review. *Journal of Materials Chemistry A*, 12(31), 19720–19756. <https://doi.org/10.1039/D4TA01442A>
- Floch, H. G., & Belleville, P. F. (1994, November 4). *Optical thin films from the sol-gel process* (F. Abeles, Ed.). Grenoble, France. <https://doi.org/10.1117/12.192153>
- Guo, D., Wu, Z., Shu, X., Wu, W., Zhu, G., Peng, B., & Jia, Y. (2024). Strongly piezocatalytic dye decomposition of sol-gel synthesized PZT film. *Ceramics International*, 50(1), 2514–2520. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.10.350>
- Helke, G., & Lubitz, K. (2008). Piezoelectric PZT Ceramics. In R. Hull, R. M. Osgood, J. Parisi, & H. Warlimont (Series Eds.), *Piezoelectricity* (pp. 89–130; By W. Heywang, K. Lubitz, & W. Wersing). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68683-5_4
- Izyumskaya, N., Alivov, Y.-I., Cho, S.-J., Morkoç, H., Lee, H., & Kang, Y.-S. (2007). Processing, Structure, Properties, and Applications of PZT Thin Films. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 32(3–4), 111–202. <https://doi.org/10.1080/10408430701707347>

- Jaffe, B., Roth, R. S., & Marzullo, S. (1954). Piezoelectric Properties of Lead Zirconate-Lead Titanate Solid-Solution Ceramics. *Journal of Applied Physics*, 25(6), 809–810. <https://doi.org/10.1063/1.1721741>
- Jaffe, Bernard, Cook, W. R., & Jaffe, H. L. (1971). *Piezoelectric ceramics*. London New York: Academic Press.
- Jiang, J., Pendse, S., Zhang, L., & Shi, J. (2022). Strain related new sciences and devices in low-dimensional binary oxides. *Nano Energy*, 104, 107917. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107917>
- Khaenamkaew, P., Muensit, S., Bdikin, I. K., & Kholkin, A. L. (2007). Effect of Zr/Ti ratio on the microstructure and ferroelectric properties of lead zirconate titanate thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 102(2–3), 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2006.11.019>
- Kim, Y.-M., Lee, W.-J., & Kim, H.-G. (1996). Deposition of PZT films by MOCVD at low temperature and their change in properties with annealing temperature and Zr/Ti ratio. *Thin Solid Films*, 279(1–2), 140–144. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(95\)08171-2](https://doi.org/10.1016/0040-6090(95)08171-2)
- Kuzenko, D. V. (2021). Critical temperature below the Curie temperature of ferroelectric ceramics PZT. *Journal of Advanced Dielectrics*, 11(01), 2150006. <https://doi.org/10.1142/S2010135X21500065>
- Lin, K., & Tsai, P. (2007). Growth mechanism and characterization of ZnO: Al multi-layered thin films by sol-gel technique. *Thin Solid Films*, 515(24), 8601–8604. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2007.04.012>
- Ma, Y., Song, J., Wang, X., Liu, Y., & Zhou, J. (2021). Synthesis, Microstructure and Properties of Magnetron Sputtered Lead Zirconate Titanate (PZT) Thin Film Coatings.

- Coatings*, 11(8), 944.
<https://doi.org/10.3390/coatings11080944>
- Monga, S., Sharma, N., Mehan, N., Mishra, Y. K., & Singh, A. (2022). Qualitative analysis of PZT (52/48) MPB using different synthesis methods. *Ceramics International*, 48(21), 31111–31120.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.05.039>
- Niwa, K., Kotaka, Y., Tomotani, M., Ashida, H., Goto, Y., & Otani, S. (2000). Interface between electrode and PZT memory device. *Acta Materialia*, 48(18–19), 4755–4762.
[https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(00\)00268-8](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(00)00268-8)
- Ong, R. J., Payne, D. A., & Sottos, N. R. (2005). Processing Effects for Integrated PZT: Residual Stress, Thickness, and Dielectric Properties. *Journal of the American Ceramic Society*, 88(10), 2839–2847.
<https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2005.00641.x>
- Özden, M., & Duman, Ç. (2022). Structural, Surface and Optical Characterization of ZnO Thin Films Deposited by SILAR and Spin-Coating Methods. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 931–941.
<https://doi.org/10.18185/erzifbed.1101771>
- Panda, P. K., & Sahoo, B. (2015). PZT to Lead Free Piezo Ceramics: A Review. *Ferroelectrics*, 474(1), 128–143.
<https://doi.org/10.1080/00150193.2015.997146>
- Panda, S., Hajra, S., Mistewicz, K., In-na, P., Sahu, M., Rajaittha, P. M., & Kim, H. J. (2022). Piezoelectric energy harvesting systems for biomedical applications. *Nano Energy*, 100, 107514.
<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107514>
- Pope, E. J. A. (1998). Emerging Applications of Sol-Gel Technology. *Key Engineering Materials*, 150, 141–152.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.150.141>

- Priya, S., Song, H.-C., Zhou, Y., Varghese, R., Chopra, A., Kim, S.-G., ... Polcawich, R. G. (2019). A Review on Piezoelectric Energy Harvesting: Materials, Methods, and Circuits. *Energy Harvesting and Systems*, 4(1), 3–39. <https://doi.org/10.1515/ehs-2016-0028>
- Sharma, A., Khangarot, R. K., Kumar, N., Chattopadhyay, S., & Misra, K. P. (2021). Rise in UV and blue emission and reduction of surface roughness due to the presence of Ag and Al in monocrystalline ZnO films grown by sol-gel spin coating. *Materials Technology*, 36(9), 541–551. <https://doi.org/10.1080/10667857.2020.1776029>
- Shilpa, G. D., Sreelakshmi, K., & Ananthaprasad, M. G. (2016). PZT thin film deposition techniques, properties and its application in ultrasonic MEMS sensors: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012190. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012190>
- Szołdra, P., Frąc, M., Adamczyk, A., Kot, M., & Pichór, W. (2024). Characterization and photocatalytic activity of TiO₂ thin films prepared by sol-gel method for NO_x degradation. *Materials Science and Engineering: B*, 301, 117189. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2024.117189>
- Zhang, Y., Xie, M., Roscow, J., Bao, Y., Zhou, K., Zhang, D., & Bowen, C. R. (2017). Enhanced pyroelectric and piezoelectric properties of PZT with aligned porosity for energy harvesting applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(14), 6569–6580. <https://doi.org/10.1039/C7TA00967D>

Zhu, M., Du, Z., Jing, L., Yoong Tok, A. I., & Tong Teo, E. H. (2015). Optical and electro-optic anisotropy of epitaxial PZT thin films. *Applied Physics Letters*, 107(3), 031907. <https://doi.org/10.1063/1.4927404>

YAPAY AYDINLATMANIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Süreyya KOCABEY¹

Zafer Ömer ÖZDEMİR²

1. GİRİŞ

Aydınlatma, insan hayatında vazgeçilmez bir unsurdur ve tarih boyunca büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Doğal ışık, biyolojik ritimlerimizi düzenlerken, yapay ışık teknolojilerinin gelişmesi ile günlük yaşam daha konforlu hale gelmiştir. Ancak, modern aydınlatma sistemleri sadece avantajlar sunmakla kalmaz, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde birtakım olumsuz etkiler de oluşturabilir. Özellikle LED ve floresan gibi yüksek yoğunluklu yapay ışık kaynaklarının yaygınlaşması, uyku düzeninden hormon seviyelerine, göz sağlığından psikolojik duruma kadar çeşitli alanlarda önemli sonuçlara yol açmaktadır. Yapay aydınlatmanın biyolojik saat üzerindeki etkileri, mavi ışığın melatonin üretimini baskılaması ve sirkadiyen ritimleri bozmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma, yapay ışığın insan sağlığı üzerindeki etkilerini, fizyolojik mekanizmaları ve potansiyel sağlık risklerini ele alarak, daha sağlıklı aydınlatma çözümlerine yönelik bilimsel bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, sureyyakocabey@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2300-0789.

² Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Eczacılık Fakültesi, ozdemirz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8362-3136.

1.1. Yapay Aydınlatmanın Tarihçesi

Aydınlatma teknolojisi, insanlığın toplumsal gelişimiyle yakından ilişkilidir. Tarihsel olarak insanlar, gündüz güneş ışığından faydalanarak yaşamlarını sürdürmüş, ancak gece saatlerinde etkinliklerini sürdürebilmek için yapay aydınlatma kaynakları geliştirmiştir. Tarihte ilk yapay aydınlatma araçları, ateş ve meşaleler olmuştur. Zamanla hayvansal ve bitkisel yağlarla beslenen lambalar, mumlar ve gaz lambaları gibi daha verimli sistemler ortaya çıkmıştır (Annaniah, Saheed, & Jose, 2023; Blatchford, 2023).

19. yüzyılın sonlarında elektriğin keşfi ve kullanımının yaygınlaşması, yapay aydınlatma konusunda devrim yaratmıştır. Thomas Edison'un 1879'da icat ettiği akkor flamanlı ampul, bu devrimin en önemli simgelerinden biri olmuştur (Brusso, 2021). 20. yüzyılda floresan lambalar ve 21. yüzyılda LED teknolojileri ile daha enerji verimli ve çevre dostu çözümler geliştirilmiştir (Kayode Olajiga, Chigozie Ani, Queen Sikhakane, Michael Olatunde, & Author, 2024). Bu teknolojik gelişmelere rağmen, yapay aydınlatmanın insan sağlığı ve biyolojisi üzerindeki etkileri giderek daha fazla tartışılmaya başlanmıştır.

1.2. Doğal ve Yapay Işık Arasındaki Farklar

Doğal güneş ışığı, insan biyolojisi üzerinde düzenleyici bir etkiye sahiptir. Güneş ışığı, vücudun sirkadiyen ritmini düzenleyen melatonin salınımını etkiler (Brainard et al., 2001). Gündüz saatlerinde mavi dalga boyuna sahip güneş ışığı, uyanıklığı ve bilişsel performansı artırır. Gece ise insan biyolojisi melatonin salınımını artırarak uykuya hazırlık yapar (Foster & Kreitzman, 2014).

Ancak yapay aydınlatma genellikle sabit spektral özelliklere sahip olduğu için bu biyolojik mekanizmaları bozabilir. LED ve floresan lambalar, yoğun mavi ışık yayarak melatonin salınımını baskılar ve uyku bozukluklarına yol açabilir

(A. M. Chang, Aeschbach, Duffy, & Czeisler, 2015). Aşırı yapay ışık maruziyeti, sirkadiyen ritmin bozulmasına, metabolik bozukluklara ve görsel rahatsızlıklara neden olabilir (Cajochen et al., 2011).

1.3. Günlük Yaşamda Yapay Işığın Kullanımı

Modern toplumlarda yapay aydınlatma, evlerden hastanelere, okullardan ofislere kadar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak teknolojik ilerlemeler, bu kullanımın insan sağlığına etkilerini daha fazla sorgulamaya neden olmuştur (M. P. Walker, 2017). Bu noktada, akıllı aydınlatma sistemleri, güneş ışığının doğal dinamiklerini taklit ederek bu sorunları azaltmayı amaçlamaktadır (Schlangen & Price, 2021). Bununla birlikte, floresan ve LED aydınlatmaların insan sağlığına uzun vadeli etkileri hala tartışmaya açıktır. Son araştırmalar, küçük yaşta ve uzun süre mavi ışığa maruz kalan bireylerde miyopi riskinin arttığını göstermektedir (Q. Zhao et al., 2023).

Bu nedenle, günlük yaşamda yapay aydınlatmanın bilinçli kullanılması, biyo-ritimleri koruyacak şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır.

2. IŞIK VE İNSAN BİYOLOJİSİ

2.1. Gözün Işığı Algılama Mekanizması

İnsan gözü, ışığı algılama ve görme işlevlerini gerçekleştirmek için özel olarak yapılandırılmış karmaşık bir organdır. Görme sürecinin temelinde, retinada bulunan fotoreseptör hücreler yer alır. Bu hücreler ışığı elektriksel sinyallere dönüştürerek beynin görme merkezine iletir (Augustine et al., 2024). Retinada iki temel fotoreseptör hücre türü bulunmaktadır: çubuk hücreleri (rodlar) ve koni hücreleri (konlar) (Kolb & Whishaw, 2009).

Çubuk hücreleri, tek bir foton düzeyinde bile ışığa duyarlı olup gece görüşünü sağlar. Ancak renkleri ayırt edemezler ve görme keskinlikleri düşüktür. Koni hücreleri ise kırmızı, yeşil ve mavi dalga boylarına duyarlı üç farklı alt tipe sahiptir ve renkleri ayırt etmemizi sağlar (Dacey, 2000). Bu fotoreseptörlerin her biri, opsin adı verilen ışığa duyarlı proteinler içerir. Opsinler, ışığın belirli dalga boylarını emerek fototransdüksiyon sürecini başlatır. Bu süreç, ışık enerjisinin kimyasal sinyale dönüştürülmesi ve ardından sinir sinyali olarak beyine iletilmesini içerir (Yau & Hardie, 2009).

Retinada bulunan bir diğer önemli hücre grubu ise intrinsik fotosensitif ganglion hücreleri (ipRGC'ler) olarak adlandırılır. Bu hücreler melanopsin adı verilen bir fotopigment içerir ve özellikle mavi ışığa duyarlıdır. ipRGC'ler, görme işlevine doğrudan katkıda bulunmamakla birlikte, sirkadiyen ritimlerin düzenlenmesi, pupilla refleksi ve ışıkla ilişkili diğer fizyolojik süreçlerde önemli rol oynar (Berson, Dunn, & Takao, 2002). Bu hücreler suprakiazmatik nükleusa (SCN) doğrudan sinyal göndererek biyolojik saatin ışık ile senkronize edilmesini sağlar. Bu sayede vücut, günün farklı zaman dilimlerine uyum sağlayarak fizyolojik süreçlerini düzenler (Gooley et al., 2011).

Özetle, gözün ışığı algılama mekanizması, yalnızca görsel algılamayı değil, aynı zamanda biyolojik süreçlerin ışıkla senkronize edilmesini de içerir. Fotoreseptör hücreler, ışığı sinirsel sinyallere dönüştürerek görmeyi sağlarken, melanopsin içeren ganglion hücreleri biyolojik ritimleri düzenler. Bu durum, ışığın yalnızca görme açısından değil, aynı zamanda fizyolojik ve nörolojik süreçler üzerinde de belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

2.2. Sirkadiyen Ritim (Biyolojik Saat) ve Işığın Rolü

Sirkadiyen ritimler, organizmaların yaklaşık 24 saatlik döngüler halinde düzenlenen biyolojik süreçlerini ifade eder. Bu

ritimler, uyku-uyanıklık döngüsü, vücut sıcaklığı, metabolizma ve hormon salınımı gibi birçok fizyolojik süreci düzenler (Moore & Eichler, 1972). İnsan vücudunun ana biyolojik saati, beyin hipotalamus bölgesinde bulunan suprakiazmatik nükleus (SCN) tarafından kontrol edilir. SCN, retinadan gelen ışık sinyalleriyle senkronize olur ve vücudun çevresel ışık koşullarına uyum sağlamasını sağlar (Reppert & Weaver, 2002).

SCN, retina tarafından algılanan ışık bilgilerini alarak epifiz bezi gibi diğer beyin yapılarıyla iletişim kurar. Bu süreç, uyku düzenini ve hormon seviyelerini belirleyerek vücudun gece ve gündüze uyum sağlamasına yardımcı olur. Gündüz saatlerinde ışık maruziyeti, kortizol gibi uyanıklık sağlayan hormonların salgılanmasını teşvik ederken, melatonin gibi uyku ile ilişkili hormonların salgılanmasını baskılar (Lockley, 1998).

Sirkadiyen ritimler üzerindeki en güçlü çevresel etkenlerden biri ışık olup özellikle kısa dalga boylu (mavi) ışık bu süreçte kritik bir rol oynar. Modern yaşamda yaygın olarak kullanılan LED ekranlar, floresan ışıklar ve diğer yapay ışık kaynakları, gece saatlerinde SCN'yi uyarak biyolojik saati bozabilir. Gece ışık maruziyeti, melatonin salgılanmasını geciktirerek uykuya dalma süresini uzatabilir ve uyku kalitesini düşürebilir (A. M. Chang et al., 2015).

Sirkadiyen ritmin bozulması, yalnızca uyku düzensizliklerine değil, aynı zamanda metabolik hastalıklar, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve ruh sağlığı sorunları gibi geniş kapsamlı sağlık etkilerine yol açabilir. Kronik olarak düzensiz ışık maruziyetine maruz kalan bireylerde obezite, diyabet ve depresyon riskinin arttığı gösterilmiştir (W. H. Walker, Walton, DeVries, & Nelson, 2020).

3. YAPAY AYDINLATMANIN FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Yapay aydınlatma, modern yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olup evlerden iş yerlerine, sokaklardan dijital ekranlara kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, insan biyolojisi doğal ışık döngülerine göre evrimleştiğinden, yapay ışığa aşırı maruz kalmak biyolojik saatimizi ve genel sağlığımızı olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle gece saatlerinde yapay ışığa maruz kalmak, uyku düzensizliklerine ve hormonal dengesizliklere yol açabilir (Cajochen et al., 2005).

Bu bölümde, yapay aydınlatmanın uyku düzeni, melatonin salgılanması, göz sağlığı ve hormon dengesi üzerindeki etkileri ele alınacak, ayrıca sağlıklı bir uyku ortamı oluşturmak için öneriler sunulacaktır.

3.1. Uyku Bozuklukları ve Uykusuzluk (İnsomnia)

Uyku, vücudun onarıcı ve düzenleyici süreçleri gerçekleştirdiği kritik bir fizyolojik süreçtir. Ancak, yapay ışık kaynaklarına, özellikle de mavi ışık yayan cihazlara (ör. akıllı telefonlar, tabletler, bilgisayarlar) gece saatlerinde maruz kalmak, uyku düzenini önemli ölçüde bozabilir. Bunun en büyük nedeni, bu tür ışıkların melatonin salgılanmasını baskılamasıdır (Van der Maren et al., 2018).

Melatonin, epifiz bezi tarafından üretilen ve uykuya dalmayı kolaylaştıran bir hormondur. Normal koşullarda, akşam saatlerinde melatonin seviyeleri yükselir ve vücut uykuya hazırlanır. Ancak, gece saatlerinde mavi ışık maruziyeti suprakiazmatik nükleusu (SCN) etkileyerek melatonin üretimini geciktirir ve uykuya dalma süresini uzatır (Choi et al., 2022). Bunun sonucunda, sık uyanma, yetersiz derin uyku evresi ve genel uyku kalitesinde azalma gibi sorunlar ortaya çıkabilir (Shanahan & Czeisler, 2000).

Özellikle gece vardiyasında çalışan bireylerde bu etki daha belirgindir. Gece boyunca yapay aydınlatmaya maruz kalan bireylerde sirkadiyen ritim bozulur ve kronik uykusuzluk gelişebilir. Uzun vadede bu durum bağışıklık sisteminin zayıflaması, metabolik bozukluklar, depresyon ve kardiyovasküler hastalıklar gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (W. H. Walker et al., 2020).

Melatonin salgılanması, ışık seviyelerine oldukça duyarlıdır. Özellikle 460-480 nm dalga boyundaki mavi ışık, melatonin üretimini güçlü bir şekilde baskılar (Brainard & Hanifin, 2002). Bu nedenle, gece saatlerinde televizyon, telefon ve bilgisayar ekranlarına maruz kalmak, uykuya dalma süresini geciktirerek uyku düzenini bozabilir. Araştırmalar, yatmadan önce elektronik cihaz kullanımının uyku kalitesini düşürdüğünü ve sabahları daha yorgun hissetmeye neden olduğunu göstermektedir (A. M. Chang et al., 2015).

Uyku düzenini korumak için akşam saatlerinde yapay ışığa maruziyeti azaltmak, özellikle mavi ışık filtreleri veya sarı tonlu aydınlatmalar kullanmak faydalı olabilir. Ayrıca, düzenli uyku saatleri belirlemek ve yatmadan önce gevşeme teknikleri uygulamak melatonin salgılanmasını destekleyerek daha kaliteli bir uyku sağlayabilir (Alwalidi & Hoffmann, 2022).

3.2. Göz Yorgunluğu ve Görme Problemleri

Yapay ışığa uzun süre maruz kalmak, göz sağlığını da olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle düşük kaliteli veya yanlış yönlendirilmiş aydınlatmalar göz kaslarının aşırı çalışmasına neden olabilir. Bunun sonucunda şu belirtiler ortaya çıkabilir:

- Göz kuruluğu ve yanma hissi
- Baş ağrısı ve odaklanma güçlüğü
- Parlama nedeniyle görme kalitesinin düşmesi
- Uzun süreli ekran kullanımı sonrası bulanık görme

Bilgisayar ve telefon ekranlarından yayılan mavi ışık, göz lensi ve retina üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilir. Yapılan çalışmalar, uzun vadeli mavi ışık maruziyetinin retina hücrelerinde oksidatif strese yol açarak yaşa bağlı makula dejenerasyonu (sarı nokta hastalığı) riskini artırabileceğini göstermektedir (Chakravarthy, Georgyev, Wagen, Hosseini, & Matsubara, 2024).

Bu tür olumsuz etkileri en aza indirmek için, göz dinlendirme teknikleri (örneğin 20-20-20 kuralı: her 20 dakikada bir, 20 saniye boyunca, 20 feet (6 metre) uzaklığa bakma), ekran parlaklığının ayarlanması ve mavi ışık filtreleri kullanılması önerilmektedir (Talens-Estarells et al., 2023).

3.3. Hormon Dengesine Etkileri

Işık, insan vücudundaki birçok hormonun salınımını düzenleyen kritik bir çevresel faktördür. Özellikle kortizol ve melatonin gibi hormonlar, ışık döngüleriyle doğrudan ilişkilidir.

3.3.1. Melatonin ve Kortizol Dengesi

Melatonin: Akşam saatlerinde salgılanan bu hormon, uykuya dalmayı kolaylaştırır ve vücudun biyolojik saatine uyum sağlamasına yardımcı olur. Ancak, gece saatlerinde yapay ışık melatonin üretimini baskılar ve uykusuzluk riskini artırır (Tan, Reiter, Zimmerman, & Hardeland, 2023).

Kortizol: Sabah saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşan kortizol, gün içinde enerji seviyelerini artırırken, gece saatlerinde düşük seviyelere inmesi gerekir. Ancak düzensiz ışık maruziyeti kortizol ritmini bozarak stres seviyelerinin artmasına ve uyku bozukluklarına neden olabilir (Sopp et al., 2024).

3.3.2. Uzun Vadeli Sağlık Etkileri

Sirkadiyen ritmin yapay ışıkla bozulması, uzun vadede metabolik hastalıkların gelişmesine de neden olabilir. Araştırmalar, gece saatlerinde ışık maruziyetinin insülin

duyarlılığını azalttığını ve tip 2 diyabet ve kalp krizi riskini artırdığını göstermektedir (Machado & Koike, 2014). Aynı zamanda, melatonin eksikliğinin bağışıklık sisteminin zayıflaması ve hücrel yaşlanma süreçlerinin hızlanmasıyla ilişkili olduğu bilinmektedir (Joseph, Schuch, Hossack, Chakraborty, & Johnson, 2024).

3.4. Uyku Hijyenini Korumak İçin Öneriler

Yapay ışığın olumsuz etkilerinden korunmak için aşağıdaki uyku hijyeni önerileri (Baranwal, Yu, & Siegel, 2023) dikkate alınmalıdır:

Mavi ışık maruziyetini azaltılmalı: Yatmadan en az 2 saat önce telefon, tablet ve bilgisayar kullanımını sınırlayın veya mavi ışık filtreleri kullanın.

Akşam saatlerinde loş ışık tercih edilmeli: Sarı veya kırmızı tonlu ışıklar, melatonin üretimini daha az baskılar.

Düzenli bir uyku programı oluşturulmalı: Her gün aynı saatte uyuyup uyanmaya çalışarak biyolojik saatinizi düzenleyin.

Doğal güneş ışığından faydalanılmalı: Sabah saatlerinde gün ışığına maruz kalmak sirkadiyen ritmi düzenler ve kortizol seviyelerini dengeler.

Yatak odası karanlık tutulmalı: Uyku sırasında tam karanlık sağlayan perdeler veya uyku maskeleri kullanın.

Elektronik cihazlar yatak odasından uzak tutulmalı: Yatak odasında TV, telefon veya bilgisayar bulundurmamak uyku kalitesini artırabilir.

Melatonin destekleri kullanmadan önce uzman doktora danışılmalı: Uyku sorunları yaşayan bireyler, melatonin takviyeleri kullanmadan önce uzman görüşü almalıdır.

4. SAĞLIKLI AYDINLATMA İÇİN ÖNERİLER

Günlük yaşamda doğru aydınlatma kullanımı, göz sağlığından uyku düzenine kadar birçok biyolojik süreci etkileyebilir. Yanlış seçilen aydınlatma kaynakları, göz yorgunluğu, uykusuzluk ve sirkadiyen ritim bozuklukları gibi sorunlara yol açabilir (Meléndez-Fernández, Liu, & Nelson, 2023). Bu bölümde, sağlıklı bir aydınlatma ortamı oluşturmak için dikkat edilmesi gereken temel faktörler ele alınacaktır.

4.1. Doğru Aydınlatma Tasarımı (Renk Sıcaklığı ve Aydınlık düzeyi)

Aydınlatma tasarımı yapılırken aydınlatmanın kullanım amacına uygun renk sıcaklığı ve aydınlık düzeyi seçimi en kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle ortamın aydınlık düzeyi kullanım amacına göre standartlarda verilen değerler kullanılarak tespit edilmelidir. Gereğinden az aydınlık düzeyi görme zorluklarına yol açarken, gereğinden çok fazlası da parıltıya yol açara görme performansını engeller. Örnek aydınlık düzeyleri aşağıda verilmiştir.

- Ev ortamlarında 300-500 lüks
- Ofis çalışma alanlarında 500-1000 lüks
- Okuma ve detaylı işler için 750-1500 lüks

Soğuk renkli ışık kullanılması daha fazla uyarı sağlayarak dikkat ve odaklanmayı artırırken, daha sıcak renkli ışıklar rahatlık hissi verir. Bu sebeple sınıf ortamı gibi dikkat gerektiren ortamlarda soğuk renkli ışık kaynakları önerilirken, dekoratif ve konfor gerektiren ortamlarda sıcak renkli ışık kaynakları daha doğru bir tercihtir. Işık kaynaklarının renk sıcaklıkları aşağıdaki tanımlanır.

Sıcak beyaz (2700K-3500K): Rahatlatıcı bir atmosfer oluşturarak ev ve dinlenme alanları için uygundur.

Doğal beyaz (3500K-5000K): Dengeli bir aydınlatma sağlayarak ofis ve çalışma alanlarında kullanılabilir.

Soğuk beyaz (5000K-6500K): Dikkat ve odaklanmayı artırdığı için hastane ve laboratuvar gibi alanlar için uygundur (Pelit, 2022).

Yanlış seçilen renk sıcaklığı ve yetersiz aydınlık seviyesi, göz sağlığı ve verimlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.

4.2. Evde ve İş Yerinde İdeal Işık Kullanımı

Ev ve çalışma ortamlarında uygun aydınlatmanın kullanılması, genel sağlık ve konfor açısından kritik öneme sahiptir.

4.2.1. Ev Ortamında Işık Kullanımı

Yatak odasında sıcak beyaz ışıklar tercih edilerek melatonin salınımı desteklenebilir.

Salon ve oturma odasında dim edilebilir ışıklar kullanarak farklı saatlere göre uyarlanabilir bir ortam yaratılabilir.

Mutfak ve çalışma alanlarında doğal beyaz ışık kullanılarak yeterli aydınlatma sağlanabilir.

4.2.2. İş Yerinde Işık Kullanımı

Ofislerde 500-1000 lüks seviyesinde homojen bir aydınlatma kullanılmalıdır.

Toplantı odalarında dış ortama uygun doğal beyaz ışıklar tercih edilmelidir.

Bilgisayar ekranlarının etrafında parlamayı önleyen, yansıma yapmayan dolaylı ışık kaynakları tercih edilmelidir (Pelit, 2022).

4.3. Günlük Işık Maruziyetinin Kontrolü İçin Teknolojik Çözümler

Modern teknolojiler, yapay aydınlatmanın olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli çözümler sunmaktadır.

4.3.1. Akıllı Aydınlatma Sistemleri

Renk sıcaklığı ve parlaklığı otomatik olarak ayarlayan akıllı lambalar, biyolojik ritme uyum sağlar.

4.3.2. Mavi Işık Filtreleri

Bilgisayar, tablet ve telefon ekranlarında yer alan gece modları kullanılarak mavi ışık maruziyeti azaltılabilir.

4.3.3. Dim Edilebilir LED Aydınlatmalar

İş yerlerinde ve evlerde ışık seviyesini ihtiyaçlara göre ayarlamak için kullanılabilir.

Bu teknolojik çözümler, günlük yaşamda daha sağlıklı bir aydınlatma düzeni oluşturulmasına yardımcı olur (Meléndez-Fernández et al., 2023).

5. SONUÇ

Yapay aydınlatma, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası olsa da, bilinçsiz kullanımı insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir. Özellikle gece saatlerinde mavi ışık maruziyeti, melatonin salgılanmasını baskılayarak uyku düzenini bozmakta ve uzun vadede metabolik hastalıklar ile psikolojik rahatsızlıklara zemin hazırlamaktadır. Göz sağlığı açısından da yapay ışığın aşırı kullanımı, miyopi ve retinal hasar gibi problemlere yol açabilir. Bununla birlikte, uygun aydınlatma tasarımı, akıllı ışık sistemleri ve mavi ışık filtreleri gibi teknolojiler, bu olumsuzlukları minimize etme potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla, yapay aydınlatmanın insan biyolojisi

üzerindeki etkilerini anlamak ve bilinçli bir kullanım benimsemek, sağlıklı bir yaşam için kritik öneme sahiptir. Gelecekte yapılacak araştırmalar, ışık ve insan sağlığı arasındaki ilişkiyi daha derinlemesine anlamamıza katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Alwalidi, M., & Hoffmann, S. (2022). Alerting Effect of Light: A Review of Daytime Studies. *Journal of Daylighting*. Retrieved from <https://doi.org/10.15627/jd.2022.12>
- Annaniah, L., Saheed, M. S. M., & Jose, R. (2023). A Brief History of Artificial Light and LED Packaging. In *LED Packaging Technologies*. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9783527831678.ch1>
- Augustine, G. J. ., Groh, J. M. ., Huettel, S. A. ., LaMantia, A.-Samuel., White, L. E. ., & Purves, Dale. (2024). Neuroscience. Retrieved 11 March 2025 from
- Baranwal, N., Yu, P. K., & Siegel, N. S. (2023). Sleep physiology, pathophysiology, and sleep hygiene. *Progress in Cardiovascular Diseases*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2023.02.005>
- Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science (New York, N.Y.)*, 295(5557), 1070–1073. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1067262>
- Blatchford, B. (2023). Jeremy Zallen, American Lucifers: The Dark History of Artificial Light, 1750-1865 . *Environment and History*, 29(1). Retrieved from <https://doi.org/10.3197/096734023x16702350656906>
- Brainard, G. C., & Hanifin, J. P. (2002). Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor in the Human Eye. In *Biologic Effects of Light 2001*. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0937-0_45
- Brainard, G. C., Hanifin, J. R., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action

- spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16). Retrieved from <https://doi.org/10.1523/jneurosci.21-16-06405.2001>
- Brusso, B. C. (2021). The End of Coal-Fired Power Generation in Chicago [History]. *IEEE Industry Applications Magazine*, 27(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/MIAS.2021.3056156>
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.smr.2007.07.009>
- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A., ... Stefani, O. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*, 110(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00165.2011>
- Cajochen, C., Münch, M., Kriebel, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ... Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>
- Carrillo-Vico, A., Lardone, P. J., Álvarez-Sánchez, N., Rodríguez-Rodríguez, A., & Guerrero, J. M. (2013). Melatonin: Buffering the immune system. *International Journal of Molecular Sciences*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijms14048638>
- Chakravarthy, H., Georgyev, V., Wagen, C., Hosseini, A., & Matsubara, J. (2024). Blue light-induced phototoxicity in retinal cells: implications in age-related macular

- degeneration. *Frontiers in Aging Neuroscience*. Frontiers Media SA. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fnagi.2024.1509434>
- Chang, A., Aeschbach, D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2012). Impact of evening use of light-emitting electronic readers on circadian timing and sleep latency. *Sleep*, 35.
- Chang, A. M., Aeschbach, D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>
- Chinoy, E. D., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2018). Unrestricted evening use of light-emitting tablet computers delays self-selected bedtime and disrupts circadian timing and alertness. *Physiological Reports*, 6(10). Retrieved from <https://doi.org/10.14814/phy2.13692>
- Choi, Y., Nakamura, Y., Akazawa, N., Park, I., Kwak, H. B., Tokuyama, K., & Maeda, S. (2022). Effects of nocturnal light exposure on circadian rhythm and energy metabolism in healthy adults: A randomized crossover trial. *Chronobiology International*, 39(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.2014517>
- Clark, J. G., & Platt, H. L. (1992). The Electric City: Energy and the Growth of the Chicago Area, 1880-1930. *Technology and Culture*, 33(3). Retrieved from <https://doi.org/10.2307/3106648>
- Czeisler, C. A., Allan, J. S., Strogatz, S. H., Ronda, J. M., Sánchez, R., David Ríos, C., ... Kronauer, R. E. (1986). Bright light resets the human circadian pacemaker independent of the timing of the sleep-wake cycle.

- Science* (New York, N.Y.), 233(4764), 667–671. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.3726555>
- Dacey, D. M. (2000). Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 743–775. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.NEURO.23.1.743>
- Foster, R. G., & Kreitzman, L. (2014). The rhythms of life: What your body clock means to you! *Experimental Physiology*, 99(4), 599–606. Retrieved from <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2012.071118>
- Gooley, J. J., Chamberlain, K., Smith, K. A., Khalsa, S. B. S., Rajaratnam, S. M. W., Van Reen, E., ... Lockley, S. W. (2011). Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 96(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1210/jc.2010-2098>
- Joseph, T. T., Schuch, V., Hossack, D. J., Chakraborty, R., & Johnson, E. L. (2024). Melatonin: the placental antioxidant and anti-inflammatory. *Frontiers in Immunology*. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1339304>
- Kayode Olajiga, O., Chigozie Ani, E., Queen Sikhakane, Z., Michael Olatunde, T., & Author, C. (2024). A COMPREHENSIVE REVIEW OF ENERGY-EFFICIENT LIGHTING TECHNOLOGIES AND TRENDS. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 1097–1111. Retrieved from <https://doi.org/10.51594/estj/v5i3.973>

- Kolb, B., & Wishaw, I. Q. (2009). *Fundamentals of human neuropsychology, 6th ed. Fundamentals of human neuropsychology, 6th ed.*
- Kumar, S., & Hari Kumar, K. V. S. (2016). Sleep hygiene and diabetes. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 66(12).
- Leproult, R., Copinschi, G., Buxton, O., & Van Cauter, E. (1997). Sleep loss results in an elevation of cortisol levels the next evening. *Sleep*, 20(10). Retrieved from <https://doi.org/10.1093/sleep/20.10.865>
- Lockley, S. W. (1998). Extraocular Light Exposure Does Not Suppress Plasma Melatonin in Humans. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(9). Retrieved from <https://doi.org/10.1210/jc.83.9.3369>
- Machado, R. M., & Koike, M. K. (2014). Circadian rhythm, sleep pattern, and metabolic consequences: An overview on cardiovascular risk factors. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*, 18(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1515/hmbci-2013-0057>
- Meléndez-Fernández, O. H., Liu, J. A., & Nelson, R. J. (2023). Circadian Rhythms Disrupted by Light at Night and Mistimed Food Intake Alter Hormonal Rhythms and Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijms24043392>
- Moore, R. Y., & Eichler, V. B. (1972). Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain Research*, 42(1). Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(72\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(72)90054-6)

- Pelit, A. (2022). Mavi Işık Tehlikeli midir? *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 31(3), 231–236. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.17827/AKTD.1119190>
- Reiter, R. J. (1991). Melatonin: The chemical expression of darkness. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 79(1–3). Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0303-7207\(91\)90087-9](https://doi.org/10.1016/0303-7207(91)90087-9)
- Reppert, S. M., & Weaver, D. R. (2002). Coordination of circadian timing in mammals. *Nature* 2002 418:6901, 418(6901), 935–941. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.1038/nature00965>
- Richdale, A. L., & Schreck, K. A. (2019). Examining sleep hygiene factors and sleep in young children with and without autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 57. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2018.10.008>
- Scheer, F. A. J. L., Hilton, M. F., Mantzoros, C. S., & Shea, S. A. (2009). Adverse metabolic and cardiovascular consequences of circadian misalignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(11). Retrieved from <https://doi.org/10.1073/pnas.0808180106>
- Schlangen, L. J. M., & Price, L. L. A. (2021). The Lighting Environment, Its Metrology, and Non-visual Responses. *Frontiers in Neurology*, 12. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624861>
- Shanahan, T. L., & Czeisler, C. A. (2000). *Physiological Effects of Light on the Human Circadian Pacemaker*.
- Sopp, M. R., Schäfer, S. K., Michael, T., Equit, M., Ferreira de Sá, D. S., & Lass-Hennemann, J. (2024). Endogenous Cortisol Levels, Sleep or Vigilance: Which Factors

- Contribute to Better Exposure Therapy Outcomes in the Morning? *Cognitive Therapy and Research*, 48(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10608-023-10463-9>
- Talens-Estarells, C., Cerviño, A., García-Lázaro, S., Fogelton, A., Sheppard, A., & Wolffsohn, J. S. (2023). The effects of breaks on digital eye strain, dry eye and binocular vision: Testing the 20-20-20 rule. *Contact Lens and Anterior Eye*, 46(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clae.2022.101744>
- Tan, D. X., Reiter, R. J., Zimmerman, S., & Hardeland, R. (2023). Melatonin: Both a Messenger of Darkness and a Participant in the Cellular Actions of Non-Visible Solar Radiation of Near Infrared Light. *Biology*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/biology12010089>
- Van der Maren, S., Moderie, C., Duclos, C., Paquet, J., Daneault, V., & Dumont, M. (2018). Daily Profiles of Light Exposure and Evening Use of Light-emitting Devices in Young Adults Complaining of a Delayed Sleep Schedule. *Journal of Biological Rhythms*, 33(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0748730418757007>
- Walker, M. P. (2017). Why we sleep : unlocking the power of sleep and dreams / Matthew Walker, PhD. *Why We Sleep : Unlocking the Power of Sleep and Dreams*.
- Walker, W. H., Walton, J. C., DeVries, A. C., & Nelson, R. J. (2020). Circadian rhythm disruption and mental health. *Translational Psychiatry* 2020 10:1, 10(1), 1–13. Retrieved 11 March 2025 from <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0694-0>
- Xu, Q., & Lang, C. P. (2018). Revisiting the alerting effect of light: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*.

- Retrieved from
<https://doi.org/10.1016/j.smr.2017.12.001>
- Yau, K. W., & Hardie, R. C. (2009). Phototransduction Motifs and Variations. *Cell*, 139(2), 246–264. Retrieved 11 March 2025 from
<https://doi.org/10.1016/J.CELL.2009.09.029>
- Zhang, Y., Tian, S., Zou, D., Zhang, H., & Pan, C. W. (2022). Screen time and health issues in Chinese school-aged children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 22(1). Retrieved from
<https://doi.org/10.1186/s12889-022-13155-3>
- Zhao, Q., Shi, J., Feng, X., Guo, L., Jia, T., & Zhang, C. (2023). A summary of the best evidence on environmental factors to prevent and manage myopia in children and adolescents. *Chinese Journal of Practical Nursing*, 39(28). Retrieved from
<https://doi.org/10.3760/cma.j.cn211501-20230113-00108>
- Zhao, Z. C., Zhou, Y., Tan, G., & Li, J. (2018). Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. *International Journal of Ophthalmology*, 11(12), 1999–2003. Retrieved 11 March 2025 from
<https://doi.org/10.18240/IJO.2018.12.20>

YAPAY AYDINLATMANIN PSİKOLOJİK, ÇEVRESEL VE TEKNOLOJİK BOYUTU

Süreyya KOCABEY¹

Zafer Ömer ÖZDEMİR²

1. GİRİŞ

Günümüz toplumlarında yapay aydınlatma, günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak, bu teknolojinin yaygınlaşması, insan psikolojisi, çevresel süreçler ve teknolojik gelişmeler açısından önemli etkilere sahiptir.

Bu bölümde, yapay aydınlatmanın insan psikolojisi üzerindeki etkileri, çevresel boyutları ve teknolojik yenilikler çerçevesinde ele alınacaktır. Gelişen teknolojilerle birlikte, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımların aydınlatma sistemlerine entegrasyonu da değerlendirilerek, gelecekteki trendler incelenecektir.

2. YAPAY AYDINLATMANIN PSİKOLOJİK ETKİLERİ

Yapay aydınlatma, yalnızca fizyolojik süreçleri değil, aynı zamanda insan psikolojisini ve bilişsel işlevlerini de doğrudan etkileyen bir faktördür. Günümüzde bireyler, büyük ölçüde yapay ışık kaynaklarıyla çevrenmiş bir yaşam

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, sureyyakocabey@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2300-0789.

² Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Eczacılık Fakültesi, ozdemirz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8362-3136.

sürdürmektedir. Işığın rengi, aydınlatmanın şiddeti ve maruziyet süresi, ruh hali, stres seviyeleri, bilişsel performans ve psikolojik sağlık üzerinde belirleyici bir rol oynar (Blume, Garbaza, & Spitschan, 2019).

Bu bölümde, yapay aydınlatmanın ruh hali, stres, anksiyete, bilişsel performans ve mevsimsel duygudurum bozukluğu (SAD) üzerindeki etkileri ele alınacaktır.

2.1. Ruh Hali ve Duygusal Durum

2.1.1. Renk Sıcaklığı

Işık kaynaklarının renk sıcaklığı, insanların duygusal durumlarını ve ruh hallerini önemli ölçüde etkileyebilir. Sıcak renk tonlarına sahip aydınlatma (2700K-3000K), rahatlama ve huzur hissi uyandırırken, soğuk renk tonları (5000K ve üzeri) uyanıklığı ve dikkat seviyesini artırır. Bu nedenle konfor önceliği olan yaşam alanlarında sıcak renkli ışık kaynakları tercih edilmeliyken, genel çalışma ortamlarında daha soğuk renkli ışık kaynakları kullanılmalıdır (Shahidi, Golmohammadi, Babamiri, Faradmal, & Aliabadi, 2021).

2.1.2. Aydınlanlık Düzeyi

Aydınlatmanın şiddeti, bireylerin duygusal durumlarını etkiler. Çeşitli araştırmalar, düşük ışık seviyelerinin bireylerde depresif ruh hali oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle, loş ışıklı ortamlarda uzun süre vakit geçirmek, serotonin seviyelerini düşürebilir ve depresyon semptomlarını artırabilir (Wei, Zhang, Wang, & Liu, 2023). Aydınlatmanın yetersiz olduğu ortamlarda çalışan veya yaşayan bireylerde, yorgunluk hissi, düşük motivasyon ve duygu durum bozuklukları daha sık görülmektedir. Gereğinden fazla aydınlatılmış ortamlarda görme konforunu bozan parıltılardan dolayı ortaya çıkan kamaşma kişilerin işe olan konsantrasyonlarını olumsuz etkiler (Brodner et al., 2020).

2.1.3. Güneş ışığı

Ayrıca, gün ışığından yoksun kalmanın, bireylerde sosyal izolasyonu ve mutsuzluğu artırabileceği belirtilmiştir. Doğal ışık kaynaklarına erişimin sınırlı olduğu bölgelerde veya kapalı mekanlarda uzun süre vakit geçiren bireylerde ruhsal bozuklukların daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir (Morales-Bravo & Navarrete-Hernandez, 2022).

Bu nedenle, yaşam alanlarında doğru aydınlatma tasarımlarının uygulanması psikolojik iyilik hali açısından büyük önem taşır. Gün ışığına benzer spektrumda ışık kaynaklarının kullanılması, bireylerin ruh halini ve genel psikolojik sağlığını olumlu yönde etkileyebilir (Boyce, 2014).

2.1.4. Renk ve Mekan Algısı

Yapay aydınlatma, mekândaki renklerin algılanışını da etkiler. Yanlış aydınlatma seçimleri, renklerin olduğundan farklı görünmesine neden olarak bireylerin psikolojik tepkilerini değiştirebilir. Özellikle çalışma ve yaşam alanlarında doğru renk algısı, psikolojik rahatlık için önemlidir (Elliot, 2015).

Işığın mekân içindeki dağılımı ve yönlendirilmesi, mekânın algılanışını ve bireylerin psikolojik tepkilerini etkiler. Doğru yönlendirilmiş aydınlatma, mekânın daha geniş veya dar, yüksek veya alçak algılanmasına neden olabilir. Bu da bireylerin mekânda hissettikleri rahatlık düzeyini etkiler (Veitch & Newsham, 1998).

2.2. Stres ve Anksiyete

Yapay aydınlatmanın stres ve anksiyete üzerindeki etkileri hem ışığın rengi hem de maruziyet süresiyle ilişkilidir. Yapılan çalışmalar, aşırı parlak veya titreyen ışıkların bireylerde stres seviyelerini artırabileceğini göstermektedir (Knez, 2001).

Özellikle floresan lambalar gibi titreyen ışık kaynaklarının, göz yorgunluğu ve baş ağrısına neden olarak stres

seviyelerini yükselttiği bilinmektedir. Bu tür yapay aydınlatma kaynaklarına uzun süre maruz kalan bireylerde huzursuzluk, sinirlilik ve konsantrasyon bozuklukları gibi belirtiler gözlemlenmiştir (Knez & Enmarker, 1998).

Ayrıca, sürekli yapay ışığa maruz kalmak, vücudun doğal ritimlerini bozarak kortizol seviyelerini artırabilir. Kortizol, stres tepkisini düzenleyen temel bir hormondur ve kronik olarak yüksek seviyelerde olması anksiyete, uyku bozuklukları ve bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi sorunlara yol açabilir (Ru, Kompier, Chen, Zhou, & Smolders, 2023).

Stres ve anksiyeteyi azaltmak için doğal ışık kaynaklarından maksimum düzeyde faydalanmak ve yapay aydınlatmayı dengeli bir şekilde kullanmak önerilmektedir. Özellikle akşam saatlerinde düşük yoğunluklu ve sıcak tonlu aydınlatmaların tercih edilmesi, bireylerin rahatlamasına ve stres seviyelerinin düşmesine yardımcı olabilir (Mahoney & Schmidt, 2024).

2.3. Bilişsel Performans ve Konsantrasyon

Aydınlatma, bireylerin bilişsel işlevleri, odaklanma kapasiteleri ve genel performansları üzerinde belirleyici bir rol oynar. Doğru aydınlatma koşulları, dikkat ve odaklanmayı artırırken, yetersiz veya aşırı aydınlatma bilişsel performansı olumsuz etkileyebilir (Golmohammadi, Yousefi, Khotbesara, Nasrolahi, & Kurd, 2021).

Özellikle eğitim ve çalışma ortamlarında uygun aydınlatma tasarımlarının uygulanması, öğrenme kapasitesini ve verimliliği artırabilir. Yapılan çalışmalar, doğal gün ışığı alan sınıflarda eğitim gören öğrencilerin, yapay ışıkla aydınlatılan sınıflardaki öğrencilere kıyasla daha iyi akademik performans sergilediğini ortaya koymuştur (Barrett, Davies, Zhang, & Barrett, 2015).

Bilişsel performans açısından en uygun ışık türü, doğal gün ışığına en yakın olan tam spektrumlu aydınlatmalardır. Bu tür aydınlatmalar, bireylerin daha uzun süre dikkatlerini koruyabilmesine ve bilgiyi daha verimli şekilde işlemesine yardımcı olabilir (Boyce, 2014).

Öte yandan, aşırı parlak veya mavi ışık ağırlıklı aydınlatmalar, zamanla göz yorgunluğuna ve zihinsel tükenmeye yol açabilir. Bu nedenle, çalışma ortamlarında dengeli bir ışık dağılımı sağlanmalı ve gözleri korumak için düzenli aralıklarla dinlenme molaları verilmelidir (Blume et al., 2019).

2.4. Mevsimsel Duygudurum Bozukluğu (SAD)

Mevsimsel Duygudurum Bozukluğu (Seasonal Affective Disorder, SAD), özellikle kış aylarında gün ışığının azalmasıyla ortaya çıkan depresif bir durumdur. Yapay aydınlatma, bu tür psikolojik rahatsızlıkların yönetiminde önemli bir rol oynar.

SAD, genellikle gün ışığının azalmasıyla birlikte melatonin seviyelerinin artması ve serotonin seviyelerinin düşmesi sonucunda ortaya çıkar (Rosenthal et al., 1984). Serotonin, mutluluk ve iyi hissetme duygularıyla ilişkili bir nörotransmitterdir. Güneş ışığına yeterince maruz kalmamak, serotonin üretimini baskılayarak depresyon semptomlarını tetikleyebilir (de Vries, van de Weijer, & Bartels, 2022).

Bu tür psikolojik rahatsızlıkların tedavisinde ışık terapisi (fototerapi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Sabah saatlerinde yüksek yoğunluklu beyaz ışığa maruz kalmak, serotonin seviyelerini artırarak depresyon semptomlarını hafifletebilir (Terman, Terman, & Ross, 1998). Özellikle tam spektrumlu ışık kaynaklarının kullanımı, SAD hastalarında belirgin iyileşmelere yol açmaktadır (Wirz-Justice & Van Den Hoofdakker, 1999).

Mevsimsel depresyon riskini azaltmak için, kış aylarında gün ışığından mümkün olduğunca faydalanmak ve gün ışığına

yakın özellikte yapay aydınlatmalar kullanmak önerilmektedir (Cajochen et al., 2005).

3. YAPAY AYDINLATMANIN SOSYAL ETKİLERİ

Çağdaş toplumlarda yapay aydınlatma, sosyal yaşamın temel bileşenlerinden biri haline gelmiş ve çeşitli alanlarda önemli etkiler doğurmuştur. Bu bölümde, yapay aydınlatmanın sosyal hayata olan etkileri, kent yaşamı, güvenlik algısı ve toplumsal davranışlar bağlamında ele alınacaktır.

3.1. Kent Yaşamında Yapay Aydınlatmanın Rolü

Kentlerde yapay aydınlatma, gece yaşamının canlanmasına, ekonomik faaliyetlerin sürdürülmesine ve sosyal etkileşimlerin artmasına katkı sağlar. Doğru ve uygun aydınlatma düzenlemeleri, çevrenin algılanmasını kolaylaştırır ve iyi görme koşulları sağlayarak kentlerin gece görünümünü daha ilgi çekici hale getirir. Bu durum, kent sakinlerinin ve ziyaretçilerin gece saatlerinde de kenti deneyimlemelerine olanak tanır (Boyce, 2014).

3.2. Güvenlik ve Emniyet Algısı

Yeterli ve doğru aydınlatma, bireylerin kendilerini daha güvende hissetmelerine yardımcı olur. İyi aydınlatılmış sokaklar, parklar ve kamusal alanlar, suç oranlarının azalmasına ve toplumsal güvenliğin artmasına katkıda bulunur. Aydınlatmanın yetersiz olduğu bölgelerde ise güvenlik endişeleri artar ve bu alanlar sosyal etkileşimlerden yoksun kalabilir (Welsh & Farrington, 2005).

3.3. Toplumsal Davranışlar ve Sosyal Etkileşimler

Yapay aydınlatma, sosyal etkileşimlerin yoğunluğunu ve kalitesini etkiler. İyi tasarlanmış aydınlatma, kamusal alanlarda

insanların bir araya gelmesini teşvik eder, sosyal bağları güçlendirir ve toplumsal uyumu artırır. Öte yandan, aşırı veya yanlış aydınlatma, ışık kirliliğine neden olarak insanların gece gökyüzünü gözlemleme gibi kültürel ve sosyal deneyimlerini kısıtlayabilir (Gaston, Visser, & Hölker, 2015).

3.4. Kültürel ve Estetik Değerler

Yapay aydınlatma, kentlerin kültürel ve estetik değerlerini vurgulamada önemli bir araçtır. Tarihi yapıların, anıtların ve diğer önemli mekânların aydınlatılması, kentin kimliğini güçlendirir ve kültürel mirasın korunmasına katkı sağlar. Ayrıca, festivaller, etkinlikler ve diğer sosyal aktivitelerde kullanılan yaratıcı aydınlatma tasarımları, toplumsal katılımı artırır ve kültürel zenginliği destekler (Vega, Zielinska-Dabkowska, & Hölker, 2021).

4. YAPAY AYDINLATMANIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yapay aydınlatma, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş olsa da, çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler arasında ışık kirliliği ve ekosistemler üzerindeki bozulmalar önemli yer tutmaktadır. İnsanoğlu kendi hayatını kolaylaştırmak için kullandığı yapay aydınlatma ile bitkilerden hayvanlara kadar birçok canlı türünün doğal davranışlarını ve biyolojik süreçlerini bozarak ekolojik dengeyi tehdit etmektedir.

4.1. Işık Kirliliği Etkisi

Işık kirliliği, yapay aydınlatmanın yanlış ya da gereğinden fazla kullanımı sonucu gökyüzünün doğal karanlığının bozulmasıdır. Bu durum, astronomik gözlemleri engellemenin yanı sıra ekosistemler üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Örneğin, şehir merkezlerinde aşırı aydınlatma nedeniyle

yıldızların görünürlüğü azalmakta, kırsal bölgelerde fazlaca yıldız gözlemlenebilirken, şehir merkezlerinde bu sayı oldukça azalmaktadır (Kaushik, Nair, & Ahamad, 2022). Işık kirliliğini azaltmak için sadece gerekli alanlarda ve belirli saatlerde aydınlatma kullanılmalı, ışığın gereksiz yere gökyüzünü aydınlatmasını önleyen tasarımlar tercih edilmelidir.

4.2. Hayvan Davranışları Üzerindeki Etkiler

Birçok hayvan türü, yaşam döngülerini ve davranışlarını doğal ışık döngülerine göre ayarlar. Yapay ışık kaynakları, bu döngülerini bozarak hayvanların yön bulma, üreme ve beslenme gibi temel davranışlarını olumsuz etkiler. Özellikle gece aktif olan türler, yapay ışık nedeniyle yönlerini şaşırabilir veya doğal yaşam alanlarından uzaklaşabilir. Deniz kaplumbağalarının yavruları, doğal olarak denizin parıltısına doğru hareket ederken, sahil bölgelerindeki yapay ışıklar onları yanlış yönlere çekerek denize ulaşmalarını engelleyebilir (Attum & Nagy, 2024).

Ayrıca, geceleri göç eden veya avlanan kuşlar, ay ve yıldız ışığını kullanarak yön bulurlar. Yapay ışık kaynakları, kuşların rotalarından sapmalarına ve şehirlerin tehlikeli gece manzaralarına doğru yönelmelerine neden olabilir. Her yıl milyonlarca kuş, gereksiz yere aydınlatılmış bina ve kulelere çarparak hayatını kaybetmektedir (Khanduri & Saxena, 2020).

4.3. Böcek Popülasyonları ve Bitkiler Üzerindeki Etkiler

Böcekler, yapay ışığa çekilme eğilimindedir. Bu durum, onların doğal davranışlarını ve ekolojik rollerini bozar. Özellikle polinatör (tozlayıcı) böcekler, yapay ışık nedeniyle doğal yaşam alanlarından uzaklaşabilir, bu da bitkilerin tozlaşma süreçlerini olumsuz etkiler. Sonuç olarak, bitkilerin üreme döngülerini ve ekosistem içindeki rollerini bozabilir (Knop et al., 2017).

4.4. Ekosistem Dengesinin Bozulması Etkisi

Yapay aydınlatmanın ekosistemler üzerindeki etkileri, sadece tekil türlerle sınırlı kalmaz; besin zincirinin tüm seviyelerini etkileyerek ekosistem dengesini bozar. Yapay ışıklar, bazı yırtıcıların avlarını daha kolay bulmalarına neden olabilir, bu da av popülasyonlarının azalmasına yol açar. Bu tür değişiklikler, ekosistemin genel işleyişini ve biyolojik çeşitliliği tehdit eder (Hölker, Wolter, Perkin, & Tockner, 2010).

5. YAPAY AYDINLATMA VE VERİMLİLİK

Çağdaş iş yerlerinde yaygın olarak kullanılan yapay aydınlatma, çalışanların verimliliği ve iş tatmini üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Doğru aydınlatma tasarımı, çalışanların dikkatini artırırken, yanlış aydınlatma göz yorgunluğuna, baş ağrısına ve iş performansının düşmesine yol açabilir (Králíková, Lumnitzer, Džuňová, & Yehorova, 2021).

Bu bölümde, yapay aydınlatmanın çalışma verimliliği üzerindeki etkileri, ideal aydınlatma koşullarının nasıl sağlanabileceği ve sürdürülebilir aydınlatma uygulamalarına dair öneriler ele alınacaktır.

5.1. Çalışan Performansı ve Aydınlatma İlişkisi

Aydınlatma, çalışanların bilişsel performansı, dikkati ve motivasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Uygun aydınlatma koşulları, görsel konforu artırarak göz yorgunluğunu azaltır ve çalışma süresince dikkat seviyelerinin korunmasını sağlar (Boyce, 2014).

Özellikle düşük ışık seviyeleri, çalışanlarda uyku hali ve dikkat eksikliğine neden olabilirken, aşırı parlak ışıklar da göz yorgunluğuna ve stres seviyelerinin artmasına yol açabilir. Yapılan araştırmalara göre, uygun aydınlatma koşullarının

sağlandığı ofislerde çalışanların üretkenliği artmaktadır (Jung, An, & Hong, 2024).

İdeal bir çalışma ortamında görsel konfor için (Blume et al., 2019):

Ortamın kullanım amacına uygun aydınlık düzeyi sağlanmalıdır. Çalışma ortamında yeterli aydınlık koşulları sağlanmadığı takdirde göz görme işlevini sağlıklı bir şekilde yerine getiremez. Genel ofis alanlarında 300-500 lüks ışık seviyesi önerilir (EN-12464-1 standardı).

Ortam kullanım amacına uygun ışık rengi tercih edilmelidir. Soğuk renkli ışıklar (5000K-6500K) dikkat ve odaklanmayı artırırken, daha sıcak tonlar (2700K-3500K) rahatlama ve dinlenme ortamları için uygundur.

Parıltı kontrol edilmelidir. Doğrudan ışık kaynağından veya yüzeylerden yansıyan parlama, göz yorgunluğunu artırır. Birleşik Parıltı Derecelendirmesi (Unified Glare Rating, UGR) 19'un altında tutulmalıdır.

Ortam içerisinde ışık homojen dağıtılmalıdır. Farklı alanlarda ışık yoğunluğunun değişken olması göz adaptasyonunu zorlaştırır.

Dinamik aydınlatma sağlanmalıdır. Günışığının doğası gereği gün boyunca aydınlık düzeyi ve ışığın rengi sürekli değişim halindedir. Çalışanların biyolojik ritmine uyum sağlayacak şekilde yapay aydınlatmada değişmelidir.

Özetle, çalışma alanlarında dengeli ve ergonomik bir aydınlatma sistemi oluşturulması, çalışanların sağlığı ve verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

5.2. Doğal ve Yapay Işığın Dengeli Kullanımı

Doğal ışık, insan biyolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve çalışanların sirkadiyen ritimlerini destekleyerek uyku

düzenlerini düzenler. Gün ışığına yeterince maruz kalmak, ruh hali ve genel enerji seviyelerini artırırken, melatonin üretiminin dengelenmesine yardımcı olur (Blume et al., 2019; Grubisic et al., 2019).

Ancak, gün ışığının yeterli olmadığı durumlarda yapay aydınlatmanın devreye girmesi gerekmektedir. LED gibi enerji verimli yapay ışık kaynakları, bu noktada en iyi alternatiflerden biridir. LED'ler, doğal gün ışığına en yakın spektrumda ışık sağlayarak göz konforunu korur ve enerji tasarrufu sağlar (Batra, Pandav, & Ahuja, 2019). Çalışma alanlarında ideal ışık kombinasyonunu sağlamak için:

Doğal ışık kaynaklarına öncelik verilmelidir. Pencerelerden gelen ışık yönlendirilerek odanın genel aydınlatması optimize edilmelidir.

Gün ışığı sensörleri ile dinamik aydınlatma sistemleri entegre edilmelidir. Bu sistemler, ortam ışığına göre yapay aydınlatmanın seviyesini otomatik olarak ayarlayabilir.

Sıcak ve soğuk renk sıcaklıkları günün saatine göre değiştirilebilir. Sabah saatlerinde daha soğuk, akşam saatlerinde ise daha sıcak tonlar tercih edilmelidir.

Doğal ve yapay ışığın dengeli kullanımı hem çalışanların konforunu artırır hem de enerji verimliliği açısından büyük avantajlar sağlar.

5.3. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

Aydınlatmada enerji verimliliği, yalnızca maliyetleri düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşır. Günümüzde aydınlatma teknolojilerinde LED ve akıllı sistemler gibi yenilikçi çözümler sayesinde %40-60 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Mardaljevic, n.d.; Mohelnikova, 2008).

Enerji verimli bir aydınlatma sistemi için öneriler:

- Etkinlik faktörü yüksek lambalar kullanılmalıdır.
- Hareket sensörleri ve zamanlayıcılar ile gereksiz enerji tüketimi önlenmelidir.
- Gündüzleri doğal ışıktan maksimum faydalanmak için günışığı sensörleriyle yapay aydınlatma kontrol edilmelidir.
- Genel aydınlatma uygulamalarında açık renkli duvarlar ve yansıtıcı yüzeyler tercih edilmelidir.
- Aydınlatma sistemleri düzenli olarak bakımdan geçirilmeli ve eski lambalar değiştirilmelidir.

5.4. Enerji Tüketimi ve Karbon Ayak İzi

Aydınlatma sistemleri, elektrik tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturur. Özellikle geleneksel aydınlatma teknolojileri, yüksek enerji tüketimi nedeniyle fosil yakıtların kullanımını artırarak karbon emisyonlarına katkıda bulunur. Bu durum, iklim değişikliği ve çevresel bozulmalara yol açmaktadır (Min et al., 2022). Sürdürülebilir aydınlatma uygulamaları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder. Güneş enerjisi ile çalışan dış mekân aydınlatma sistemleri, elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan doğal kaynaklardan yararlanarak karbon salınımını en aza indirir (Jaiswal et al., 2022).

6. YAPAY AYDINLATMANIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Günümüzde yaygın şekilde kullanılan yapay aydınlatma, insan sağlığı üzerinde bazı olumsuz etkiler yaratabilecek potansiyele sahiptir. Bu etkiler, özellikle gece saatlerinde yapay ışığa maruz kalma sonucu biyolojik ritimlerin bozulmasıyla ilişkilidir.

6.1. Sirkadiyen Ritim ve Melatonin Üretimi

İnsan vücudu, 24 saatlik döngüler halinde çalışan biyolojik bir saate sahiptir; bu döngüye sirkadiyen ritim denir. Sirkadiyen ritim, uyku-uyanıklık döngüsü, hormon salınımı ve diğer fizyolojik süreçleri düzenler. Gece saatlerinde yapay ışığa maruz kalmak, melatonin hormonunun üretimini baskılayarak sirkadiyen ritmin bozulmasına yol açabilir. Melatonin, uyku düzenini sağlamanın yanı sıra bağışıklık sistemini destekler ve antioksidan özelliklere sahiptir (Jones, Durrant, Michaelides, & Green, 2015).

6.2. Uyku Bozuklukları ve Diğer Sağlık Sorunları

Gece yapay ışığa maruz kalmanın melatonin üretimini azaltması, uyku bozukluklarına neden olabilir. Bu durum, obezite, depresyon, diyabet ve bazı kanser türleri gibi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir (Chepesiuk, 2009). Özellikle mavi ışık yayan elektronik cihazların (bilgisayarlar, akıllı telefonlar, tabletler) gece kullanımı, bu riskleri artırabilir.

6.3. Göz Sağlığı Üzerindeki Etkiler

Yapay aydınlatmanın yoğun ve yanlış kullanımı, göz sağlığını da olumsuz etkileyebilir. Aşırı parlak ışıklar, gözlerde rahatsızlık ve yorgunluğa neden olabilir. Özellikle floresan lambalar gibi yapay ışık kaynaklarının aşırı kullanımı, çalışanların biyolojik ritmini bozabilir ve gün sonunda halsizlik hissi yaratabilir (Walls, Walls, & Benke, 2011).

6.4. Önleyici Tedbirler

Yapay aydınlatmanın olumsuz etkilerini azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

Doğru Aydınlatma Seçimi: Işığın yeterli yoğunlukta, ancak gözleri yormayacak düzeyde olması gerekir. Beyaz tonlarda doğal ışığa yakın bir aydınlatma tercih edilmelidir. Bu,

çalışanların daha uyanık ve enerjik hissetmelerine yardımcı olur (Preto & Gomes, 2019).

Mavi Işık Maruziyetinin Azaltılması: Gece saatlerinde elektronik cihaz kullanımını sınırlamak ve mavi ışık filtreleri kullanmak, melatonin üretiminin baskılanmasını önleyebilir.

Doğal Işık Kullanımı: Mümkün olduğunca doğal ışık kaynaklarından faydalanmak, sirkadiyen ritmin korunmasına yardımcı olur.

7. AKILLI AYDINLATMA SİSTEMLERİ VE GELECEK TEKNOLOJİLERİ

Yapay aydınlatma teknolojileri, son yıllarda büyük bir dönüşüm geçirerek akıllı sistemlere evrilmiştir. Bu bölümde, akıllı aydınlatma sistemlerinin temel özellikleri, mevcut uygulamaları ve gelecekteki potansiyel teknolojileri ele alınacaktır.

7.1. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Temel Özellikleri

Akıllı aydınlatma sistemleri, sensörler, kontrol üniteleri ve iletişim teknolojileri aracılığıyla aydınlatma düzeyini otomatik olarak ayarlayabilen, enerji tasarrufu sağlayan ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen sistemlerdir. Bu sistemler, hareket, gün ışığı ve varlık sensörleri gibi bileşenler sayesinde ortam koşullarını sürekli izleyerek optimal aydınlatma sağlar (Widarth, Ra, Lee, & Kim, 2024).

7.2. Gelecek Teknolojileri ve Eğilimler

Akıllı aydınlatma sistemlerinin geleceği, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (AI) ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojilerle şekillenecektir. Bu entegrasyonlar sayesinde, aydınlatma sistemleri daha proaktif ve kullanıcı odaklı hale gelecektir. Örneğin, yapay zekâ destekli sistemler, kullanıcıların

alışkanlıklarını öğrenerek aydınlatma senaryolarını otomatik olarak optimize edebilir (Paolone et al., 2025).

8. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Yapay aydınlatma, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası olarak psikolojik, çevresel, ekolojik, enerji tüketimi ve sosyal boyutlarda derin etkiler yaratmaktadır. Gelecekte, yapay aydınlatma teknolojilerinin daha akıllı, enerji verimli ve çevre dostu hale gelmesi beklenmektedir (Schäfer, Henninger, Schäfer, & Henninger, 2024). Özellikle akıllı aydınlatma sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon, enerji tüketimini azaltma ve karbon ayak izini minimize etme açısından kritik olacaktır (Pardo-Bosch, Blanco, Sesé, Ezcurra, & Pujadas, 2022).

KAYNAKÇA

- Attum, O., & Nagy, A. (2024). Patterns of light pollution on sea turtle nesting beaches in the Egyptian Red Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 201. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116246>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- Batra, S., Pandav, C. S., & Ahuja, S. (2019). Light Emitting Diode Lighting Flicker, its Impact on Health and the Need to Minimise it. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. Retrieved from <https://doi.org/10.7860/jcdr/2019/41491.12880>
- Blume, C., Garbazza, C., & Spitschan, M. (2019). Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting, third edition*. *Human Factors in Lighting, Third Edition*. Retrieved from <https://doi.org/10.1201/b16707>
- Brodner, D. C., Corsino, P., Harvey, A., Sou  tre, E., Salvati, E., Belugou, J. L., ... NCT04641819. (2020). Effect of blue light from electronic devices on melatonin and sleep/wake rhythms in high school children. *Sleep*, 40(1).
- Cajochen, C., M  nch, M., Kriebel, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ... Wirz-J  tze, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical*

- Endocrinology and Metabolism*, 90(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>
- Chepesiuk, R. (2009). Missing the dark: Health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1289/ehp.117-a20>
- de Vries, L. P., van de Weijer, M. P., & Bartels, M. (2022). The human physiology of well-being: A systematic review on the association between neurotransmitters, hormones, inflammatory markers, the microbiome and well-being. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 139, 104733. Retrieved March 11, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2022.104733>
- Dominoni, D., Quetting, M., & Partecke, J. (2013). Artificial light at night advances avian reproductive physiology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756). Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3017>
- Elliot, A. J. (2015). Color and psychological functioning: A review of theoretical and empirical work. *Frontiers in Psychology*. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00368>
- Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667). Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- Golmohammadi, R., Yousefi, H., Khotbesara, N. S., Nasrolahi, A., & Kurd, N. (2021). Effects of Light on Attention and Reaction Time: A Systematic Review. *Journal of Research in Health Sciences*. Retrieved from <https://doi.org/10.34172/jrhs.2021.66>

- Grubisic, M., Haim, A., Bhusal, P., Dominoni, D. M., Gabriel, K. M. A., Jechow, A., ... Hölker, F. (2019, November 1). Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates. *Sustainability (Switzerland)*. MDPI. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su11226400>
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., & Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., ... Karuppasamy, K. S. K. (2022). Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118. Retrieved March 13, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2022.100118>
- Jones, T. M., Durrant, J., Michaelides, E. B., & Green, M. P. (2015). Melatonin: A possible link between the presence of artificial light at night and reductions in biological fitness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667). Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0122>
- Jung, D., An, J., & Hong, T. (2024). Exploring the relationship between office lighting, cognitive performance, and psychophysiological responses: A multidimensional approach. *Building and Environment*, 263, 111863. Retrieved March 11, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2024.111863>
- Katabaro, J. M., & Yan, Y. (2019). Effects of Lighting Quality on Working Efficiency of Workers in Office Building in Tanzania. *Journal of Environmental and Public Health*,

2019. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2019/3476490>
- Kaushik, K., Nair, S., & Ahamad, A. (2022). Studying light pollution as an emerging environmental concern in India. *Journal of Urban Management*, 11(3), 392–405. Retrieved March 13, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.JUM.2022.05.012>
- Khanduri, M., & Saxena, A. (2020). Ecological light pollution: Consequences for the aquatic ecosystem. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8.
- Knez, I. (2001). Effects of colour of light on nonvisual psychological processes. *Journal of Environmental Psychology*, 21(2). Retrieved from <https://doi.org/10.1006/jevp.2000.0198>
- Knez, I., & Enmarker, I. (1998). Effects of office lighting on mood and cognitive performance and a gender effect in work-related judgment. *Environment and Behavior*, 30(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1177/001391659803000408>
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666). Retrieved from <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Králiková, R., Lumnitzer, E., Džunová, L., & Yehorova, A. (2021). Analysis of the impact of working environment factors on employee's health and wellbeing; workplace lighting design evaluation and improvement. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). Retrieved March 11, 2025 from <https://doi.org/10.3390/SU13168816>
- Leproult, R., Copinschi, G., Buxton, O., & Van Cauter, E. (1997). Sleep loss results in an elevation of cortisol levels the next

- evening. *Sleep*, 20(10). Retrieved from <https://doi.org/10.1093/sleep/20.10.865>
- Mahoney, H. L., & Schmidt, T. M. (2024). The cognitive impact of light: illuminating ipRGC circuit mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00788-5>
- Mardaljevic, J. (n.d.). *Title Daylight metrics and energy savings*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/11c3r1b4>
- Min, J., Yan, G., Abed, A. M., Elattar, S., Amine Khadimallah, M., Jan, A., & Elhosiny Ali, H. (2022). The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency. *Fuel*, 326, 124842. Retrieved March 13, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.124842>
- Mohelnikova, J. (2008). Daylighting and energy savings with tubular light guides. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 4(3).
- Morales-Bravo, J., & Navarrete-Hernandez, P. (2022). Enlightening wellbeing in the home: The impact of natural light design on perceived happiness and sadness in residential spaces. *Building and Environment*, 223, 109317. Retrieved March 11, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109317>
- Paolone, G., Paesani, R., Pilotti, F., Camplone, J., Piazza, A., & Di Felice, P. (2025, February 1). Smart Lighting Systems: State-of-the-Art in the Adoption of the EdgeML Computing Paradigm. *Future Internet*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/fi17020090>
- Pardo-Bosch, F., Blanco, A., Sesé, E., Ezcurra, F., & Pujadas, P. (2022). Sustainable strategy for the implementation of

- energy efficient smart public lighting in urban areas: case study in San Sebastian. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103454. Retrieved March 13, 2025 from <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103454>
- Preto, S., & Gomes, C. C. (2019). Lighting in the workplace: Recommended illuminance (lux) at workplace environs. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 776). Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-94622-1_18
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., Gillin, J. C., Lewy, A. J., Goodwin, F. K., Davenport, Y., ... Wehr, T. A. (1984). Seasonal Affective Disorder: A Description of the Syndrome and Preliminary Findings With Light Therapy. *Archives of General Psychiatry*, 41(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1984.01790120076010>
- Ru, T., Kompier, M. E., Chen, Q., Zhou, G., & Smolders, K. C. H. J. (2023). Temporal tuning of illuminance and spectrum: Effect of a full-day dynamic lighting pattern on well-being, performance and sleep in simulated office environment. *Building and Environment*, 228. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109842>
- Schäfer, M., Henninger, S., Schäfer, M., & Henninger, S. (2024). Perspective Chapter: Innovative Modernisation and Sustainable Transformation Processes as a Municipal Remedy against Light Pollution. *Urban Pollution - Environmental Challenges in Healthy Modern Cities [Working Title]*. Retrieved March 13, 2025 from <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.1007547>
- Shahidi, R., Golmohammadi, R., Babamiri, M., Faradmal, J., & Aliabadi, M. (2021). Effect of warm/cool white lights on visual perception and mood in warm/cool color

- environments. *EXCLI Journal*, 20. Retrieved from <https://doi.org/10.17179/excli2021-3974>
- Souman, J. L., Tinga, A. M., te Pas, S. F., van Ee, R., & Vlaskamp, B. N. S. (2018). Acute alerting effects of light: A systematic literature review. *Behavioural Brain Research*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.09.016>
- Terman, M., Terman, J. S., & Ross, D. C. (1998). A controlled trial of timed bright light and negative air ionization for treatment of winter depression. *Archives of General Psychiatry*, 55(10). Retrieved from <https://doi.org/10.1001/archpsyc.55.10.875>
- Vega, C. P., Zielinska-Dabkowska, K. M., & Hölker, F. (2021). Urban lighting research transdisciplinary framework—a collaborative process with lighting professionals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijerph18020624>
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00994480.1998.10748216>
- Walls, H. L., Walls, K. L., & Benke, G. (2011). Eye disease resulting from increased use of fluorescent lighting as a climate change mitigation strategy. *American Journal of Public Health*, 101(12). Retrieved from <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300246>
- Wei, Y., Zhang, Y., Wang, Y., & Liu, C. (2023). A Study of the Emotional Impact of Interior Lighting Color in Rural Bed

and Breakfast Space Design. *Buildings*, 13(10). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/buildings13102537>

Welsh, B. C., & Farrington, D. P. (2005). Evidence-based crime prevention: Conclusions and directions for a safer society. *Canadian Journal of Criminology and Criminal Justice*, 47(2). Retrieved from <https://doi.org/10.3138/cjccj.47.2.337>

Widarth, V. P., Ra, I., Lee, S. Y., & Kim, C. S. (2024). Advancing Smart Lighting: A Developmental Approach to Energy Efficiency through Brightness Adjustment Strategies. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 14(1). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/jlpea14010006>

Wirz-Justice, A., & Van Den Hoofdakker, R. H. (1999). Sleep deprivation in depression: What do we know, where do we go? *Biological Psychiatry*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00125-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00125-0)

ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE HABERLEŞME
MÜHENDİSLİĞİ KONULARI

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com