

SÜRDÜRÜLEBİLİR

Çevre araştırmaları üzerine 6 ayda bir yayınlanmaktadır.
Published every 6 months on environmental research.



CEVRE



JOURNAL OF SUSTAINABLE ENVIRONMENT

Cilt: 5 Sayı: 1 Yıl: 2025

Vol: 5 Issue: 1 Year: 2025

DERGİSİ



ISSN: 2791 - 7444

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cevder>



Dergi Kurulları

Editör

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

debik@yildiz.edu.tr

Yıldız Teknik Üniversitesi

Editör Yardımcıları

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

koyuncu@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bekir KAYACAN

bekirkayacan@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin PAŞAOĞLU

mpasaoglu@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi

Alan Editörleri

Prof. Dr. Ali ATA

aliata@gtu.edu.tr

Gebze Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Toptaş

alitoptas@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Bahadır TUNABOYLU

bahadir.tunaboyleu@marmara.edu.tr

Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Haldun KARAN

haldun.karan@tubitak.gov.tr

Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Başkanlığı

Doç. Dr. Süleyman KAYA

suleymankaya@ibu.edu.tr

Bolu Abant Baysal Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali UĞUR

mehmetali.ugur@yaloia.edu.tr

Yalova Üniversitesi

Dil Editörü

Prof. Dr. Bekir KAYACAN

bekirkayacan@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi

Sekreter

Seçkin ORAK

seckin.orak@cevrevakfi.org.tr

Çevre Vakfı

Sürdürülebilir Çevre Dergisi

Dergi Sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cevder>

ISSN :2791 - 7444



İçindekiler

- Araştırma Makalesi / Research Paper 01-18
İklim Değişikliği ve Göçün Konyaaltı, Antalya, Türkiye’deki Etkileşimi: Nüfus Artışı, Kentsel Isı Adası ve Sürdürülebilir Kalkınma
Interplay Between Climate Change and Migration-Induced Population Growth in Konyaaltı, Antalya, Türkiye: Population Growth, Urban Heat Island and Sustainable Development
(Muhammed Ernur Akıner, Nurdan Akıner, İlknur Akıner)
- Araştırma Makalesi / Research Paper 19-38
Üniversitelerde Sürdürülebilirlik Uygulamaları: Yeşil Denetim ve GreenMetric Çerçevesinden Bakış
Sustainability Practices in Universities: A View from the Green Audit and Green-Metric Framework
(Dr.Abdullah Demirel)
- Derleme Makalesi / Review Paper 39-55
Yeşil Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Biyogaz Üretiminde Alternatif Enerji Kaynakları
Alternative Energy Sources in Biogas Production from the Perspective of Green Transformation and Sustainability
(Mesut Yaşar ve Burak Güngörmüş)

Interplay Between Climate Change and Migration-Induced Population Growth in Konyaaltı, Antalya, Türkiye: Population Growth, Urban Heat Island and Sustainable Development

Muhammed Ernur Akıner¹ 

ernurakiner@akdeniz.edu.tr

Nurdan Akıner^{2*} 

nurdanakiner@akdeniz.edu.tr

İlknur Akıner³ 

ilknurakiner@akdeniz.edu.tr

¹ Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Environmental Protection Technologies, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-5192-2473>

² Akdeniz University, Faculty of Communication, Department of Radio, Television and Cinema, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0003-0295-9373>

³ Akdeniz University, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-9550-146X>

*Corresponding author: nurdanakiner@akdeniz.edu.tr

Arrival Date:08.11.2024 / Accepted Date: 13.03.2025

Abstract

Throughout the history of civilization, people have always been on the move in search of a better life and often to survive. Growing evidence shows that changing environmental and climatic conditions trigger voluntary or forced displacement. This study explores the complex relationship between climate change and migration-induced population growth in the Konyaaltı district of Antalya, Türkiye. The district's rapidly changing demographic and environmental context makes it a compelling case for examining how migration patterns intersect with regional climate dynamics. The study reveals a significant relationship between rising temperatures and increased population density using statistical analyses, including the Mann-Kendall trend test and correlation analysis. These results underscore the urgent need for integrated policy frameworks that address migration and climate adaptation. These results underscore the urgent need for integrated policy frameworks that address migration and climate adaptation. Such frameworks should prioritize sustainable urban planning measures, such as green infrastructure and resilient resource management, to mitigate environmental stressors while supporting a growing population. This study emphasizes the necessity for interdisciplinary strategies in sustainable development planning by contributing to the evidence linking migration and climate change. The research advocates for a paradigm shift in regional policy-making that integrates migration's impact on local climate variables into long-term sustainability initiatives. It also highlights the importance of longitudinal studies to understand the feedback loops between migration and environmental change, which offer insights critical for anticipating and managing future climate shifts. In sum, this study advances the discourse on migration and climate change in Konyaaltı and suggests that future research focuses on these evolving dynamics to promote resilience in similarly affected regions.

Keywords: Climate Change, Migration, Population Growth, Urban Heat Island, Sustainability, Konyaaltı

*Nurdan Akıner, Akdeniz University, Faculty of Communication, Department of Radio, Television and Cinema, Antalya, Türkiye

İklim Değişikliği ve Göçün Konyaaltı, Antalya, Türkiye'deki Etkileşimi: Nüfus Artışı, Kentsel Isı Adası ve Sürdürülebilir Kalkınma

Muhammed Ernur Akner ¹ 

ernurakiner@akdeniz.edu.tr

Nurdan Akner ^{2*} 

nurdanakiner@akdeniz.edu.tr

İlknur Akner ³ 

ilknurakiner@akdeniz.edu.tr

¹ Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Environmental Protection Technologies, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-5192-2473>

² Akdeniz University, Faculty of Communication, Department of Radio, Television and Cinema, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0003-0295-9373>

³ Akdeniz University, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Antalya, Türkiye <https://orcid.org/0000-0002-9550-146X>

*Corresponding author: nurdanakiner@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi :08.11.2024 / Kabul Tarihi 13.03.2025

Özet

Uygarlık tarihi boyunca, insanlar her zaman daha iyi bir yaşam arayışı içinde ve çoğu zaman sadece hayatta kalmak için hareket halinde olmuştur. Değişen çevre ve iklim koşullarının ister gönüllü ister zorunlu olsun, yerinden edilmeyi tetiklediğine dair kanıtlar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışma, Antalya'nın Konyaaltı ilçesinde iklim değişikliği ve göç kaynaklı nüfus artışı arasındaki karmaşık ilişkiyi araştırmaktadır. Konyaaltı, hızla değişen demografik ve çevresel bağlamda göç örüntülerinin bölgesel iklim dinamikleri ile nasıl kesiştiğini incelemek için ilgi çekici bir örnektir. Çalışma, Mann-Kendall eğilim testi ve korelasyon analizi de dahil olmak üzere istatistiksel analizler kullanarak artan sıcaklıklar ile artan nüfus yoğunluğu arasında önemli bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, bölgeye göçmen akınının, özellikle kentsel ısı adası ve artan baskı yoluyla yerel kaynaklar üzerindeki iklim etkisini yoğunlaştırdığını göstermektedir. Bu sonuçlar, göç ve iklim adaptasyonunu ele alan entegre politika çerçevelerine duyulan acil ihtiyacın altını çizmektedir. Bu tür çerçeveler, artan nüfusu desteklerken çevresel stres faktörlerini azaltmak için yeşil altyapı ve dirençli kaynak yönetimi de dahil olmak üzere sürdürülebilir kentsel planlama önlemlerine öncelik vermelidir. Bu çalışma, göç ve iklim değişikliğini birbirine bağlayan kanıtlara katkıda bulunarak sürdürülebilir kalkınma planlamasında disiplinler arası stratejilerin gerekliliğini vurgulamaktadır. Araştırma, göçün yerel iklim değişkenleri üzerindeki etkisini uzun vadeli sürdürülebilirlik girişimlerine entegre ederek bölgesel politika yapımında bir paradigma değişikliğini savunmaktadır. Ayrıca, göç ve çevresel değişim arasındaki geri bildirim döngülerini anlamak için boylamsal çalışmaların önemini vurgulamakta ve gelecekteki iklim değişikliklerini öngörmek ve yönetmek için kritik bilgiler sunmaktadır. Özetle, bu çalışma Konyaaltı'ndaki göç ve iklim değişikliği söylemini geliştirmekte ve gelecekteki araştırmaların benzer şekilde etkilenen bölgelerde, dayanıklılığı teşvik etmek için bu gelişen dinamiklere odaklanmasını önermektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Göç, Nüfus Artışı, Kentsel Isı Adası, Sürdürülebilirlik, Konyaaltı

1. Introduction

Climate change and population migration are interlinked global phenomena that profoundly impact regional and local environments. As the Earth's climate undergoes accelerated transformations, the repercussions are frequently most intensely manifested at the regional scale. Here, alterations in temperature regimes, precipitation patterns, and the frequency and severity of extreme weather events can significantly disrupt local communities' socio-economic fabric and ecological integrity (Reyes-García et al., 2015; Reyes-García et al., 2019). A pertinent illustration of the intricate nexus between climate change and migration can be observed in the Konyaaltı district in Antalya Province, Türkiye's Mediterranean region.

The relationship between climate change and migration has recently been addressed from an interdisciplinary perspective. While sociological studies examine the social adaptation processes of migrants (De Haas et al., 2019), economic studies analyze the effects of migration on local economies (Kwilinski et al., 2022). Environmental sciences examine the impacts of climate change on natural resources and the pressure of migration on these resources (IPCC, 2023; Han et al., 2024). These studies show that the relationship between climate change and migration is multi-dimensional. Especially in the Mediterranean region, examples such as the Syrian migration reveal how climate change and conflicts trigger migration (Kelley et al., 2015; Selby et al., 2017).

Konyaaltı's geographical positioning and temperate climate have made it desirable for domestic and international migrants. This desirability has led to a substantial population increase in recent years. Such demographic expansion has the potential to amplify the effects of climate change through mechanisms such as increased population density, which can exacerbate the depletion and overutilization of local resources, precipitate alterations in land-use patterns, and intensify urban heat island (UHI) phenomena alongside other en-

vironmental stressors (Xu and Khalili, 2020; Sarzynski, 2012). For example, expanding impervious surfaces to accommodate growing populations can lead to elevated surface temperatures and reduced evapotranspiration, contributing to higher ambient temperatures (Strong et al., 2011). Moreover, the strain on water and energy resources may further exacerbate vulnerabilities to climate variability and extreme weather events.

Understanding the dynamic interplay between population growth and climate change within Konyaaltı is crucial for formulating robust mitigation and adaptation strategies. Such an understanding necessitates a comprehensive analysis of historical climatic data and demographic trends to elucidate how much population dynamics influence regional climate patterns (Zhao et al., 2019). The present study investigates this relationship by meticulously analyzing historical meteorological data alongside population statistics specific to the Konyaaltı district. The research employs advanced statistical methodologies, including the Mann-Kendall trend test and correlation analysis, to discern significant temporal trends and interdependencies between climatic variables and population metrics.

Preliminary findings from these analyses indicate a discernible increase in average temperatures over the study period, a trend that exhibits a positive correlation with population growth (Maldonado-Chaparro et al., 2018; Lee et al., 2013). This correlation suggests that the burgeoning population may contribute to the intensification of climate change effects within the region, particularly regarding rising temperatures. The urban heat island effect, driven by anthropogenic activities and infrastructural developments associated with population growth, is likely a contributing factor to this temperature escalation (Lu et al., 2024). Additionally, increased vehicular emissions, energy consumption, and waste generation associated with a more extensive population base may compound local climate alterations.

Recent scholarly literature corroborates these findings, highlighting that migration-

induced population changes can substantially influence local climatic and environmental conditions (Hauer et al., 2024; Hirsch et al., 2024). Studies have demonstrated that population influx can lead to enhanced greenhouse gas emissions, altered land use and land cover, and increased vulnerability to climate-related hazards (Wang and Azam, 2024). In the context of Konyaaltı, these dynamics underscore the necessity for integrated urban planning and environmental management approaches that account for population trends and climatic projections.

The implications of this study are manifold. By elucidating the relationship between population growth and climate change in Konyaaltı, the research contributes to a more nuanced understanding of how human migration patterns can drive environmental change at the regional level. Furthermore, the insights derived from this study are instrumental in policymakers and urban planners devising sustainable development strategies that mitigate adverse climatic impacts while accommodating population growth. Such strategies may include implementing green infrastructure to alleviate urban heat island effects, promoting energy-efficient buildings, enhancing public transportation systems to reduce emissions, and prudent management of natural resources to ensure resilience against climatic variability.

In conclusion, the interdependence between climate change and population migration in the Konyaaltı district exemplifies human and environmental systems' complex and reciprocal relationships. Addressing the challenges posed by these intertwined phenomena requires a holistic and interdisciplinary approach, integrating climatological data analysis with demographic studies to inform policy and practice. As global migration trends continue to evolve in response to climate pressures, the findings from Konyaaltı offer valuable lessons for other regions grappling with similar issues, emphasizing the critical need for adaptive and forward-thinking strategies to pursue sustainable and resilient communities.

2. Methodology

This study employs a mixed-methods approach to analyze the complex relationship between climate change and migration-induced population growth in Antalya, Türkiye's Konyaaltı district. By integrating quantitative and qualitative methods, the study aims to capture a multi-faceted understanding of the impacts and perceptions surrounding these phenomena within the district. Similar studies have examined climate change in research areas with high population growth rates (Işınkaralar, 2023; Kaygusuz and Toklu, 2023). This methodological design ensures that statistical trends are contextualized within the experiences of individuals and communities, providing a comprehensive foundation for analysis.

2.1.Data Collection

Quantitative data was drawn from multiple authoritative sources to establish a robust dataset for trend analysis:

Meteorological Data: Historical weather records from the Turkish State Meteorological Service were collected, focusing on temperature, humidity, and precipitation patterns spanning the past three decades. This dataset provides insights into long-term climate changes affecting the region.

Population Data: Demographic statistics from the Turkish Statistical Institute were obtained to document changes in population size, density, and distribution within Konyaaltı over recent years. These data support an understanding of how migration has influenced local demographic structures.

Qualitative data was gathered through semi-structured interviews with key informants, including long-term residents, local policymakers, and environmental specialists. The interview questions explored personal experiences, perceptions of climate change, migration impacts, and community responses. This qualitative component enriches the quantitative findings by providing context-sensitive insights into how individuals and the

community perceive and adapt to climate-induced challenges.

This study obtained quantitative data from the Turkish Statistical Institute (TÜİK) and the General Directorate of Meteorology between 1990 and 2020. Qualitative data were collected through face-to-face interviews, and the participants consisted of 40 people: 20 long-term residents and 20 immigrants living in the Konyaaltı region. Interview questions focused on climate change perceptions, migration experiences, and adaptation processes. Mann-Kendall trend test and Pearson correlation analysis were used to analyze quantitative data, and these analyses were performed with Python software.

The research focused on quantitative data to understand the relationship between climate change and migration. Quantitative analyses were conducted on statistical, demographic population, and meteorological data constituting the study's main backbone. However, qualitative data were also collected and analyzed. However, qualitative data played a limited role in this study and were used to obtain a general impression and provide a context that supports quantitative findings. The findings and analysis results obtained from qualitative data will be discussed more comprehensively in future studies, and more in-depth analysis of qualitative data will be targeted in these studies. This approach will provide the opportunity to evaluate the quantitative and qualitative dimensions of the relationship between climate change and migration.

2.2. Data Analysis

Quantitative data was analyzed through rigorous statistical tests to establish trends and relationships:

Mann-Kendall Trend Test: This non-parametric test detected statistically significant trends in temperature and precipitation data, highlighting any regional directional climate changes.

Correlation Analysis: Pearson correlation

coefficients were calculated to examine the relationship between population density and climate variables, such as average temperature, to assess how population growth may influence local climate patterns.

The qualitative data from interviews was systematically analyzed using thematic analysis:

Coding and Theme Identification: Interview transcripts were meticulously coded, with particular attention given to recurring themes and patterns related to climate change impacts, migration-driven demographic shifts, and community-level adaptation strategies.

Synthesis: Identified themes were synthesized to form a coherent narrative of the community's adaptive strategies and challenges, providing a deeper understanding of lived experiences and perceptions.

Quantitative and qualitative findings were integrated to comprehensively understand the interplay between climate change and migration in Konyaaltı. This triangulated approach, combining statistical trends with community perspectives, enhances the validity and depth of the conclusions, presenting a holistic view of how climate and demographic shifts intersect at the local level. The mixed-methods approach thus enables a nuanced perspective that informs sustainable policy recommendations tailored to the region's unique context.

3.Results

Konyaaltı is a district in Antalya province, located in the Mediterranean region of Türkiye. Because of its location, it has recently experienced a high migration rate, and its population has grown significantly. The weather data for Konyaaltı includes various climate metrics (such as solar radiation, humidity, temperature, and rainfall) gathered from the General Directorate of Meteorology (MGM). The population data over the years was obtained from the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT). When viewed holistically, mi-

gration and population growth are thought to contribute to regional climate change. Statistical analyses must be performed to investigate this relationship and interpret the results. The findings were interpreted in light of climate change.

Performing statistical analyses and visualizing the results will explore the relationship between population growth and climate variables. This will help to interpret the findings in the context of climate change by summarizing the population growth and key climate

metrics over the years. The annual data have been aggregated, showing the average climate metrics and the maximum yearly population. This will allow us to analyze trends and explore the relationship between population growth and climate variables. The visualization of population growth and climate metrics in Konyaaltı has been successfully created and displayed in Figure 1 and Figure 2. The charts show trends in population, average temperature, and humidity over the years, which will help analyze potential correlations between these variables.

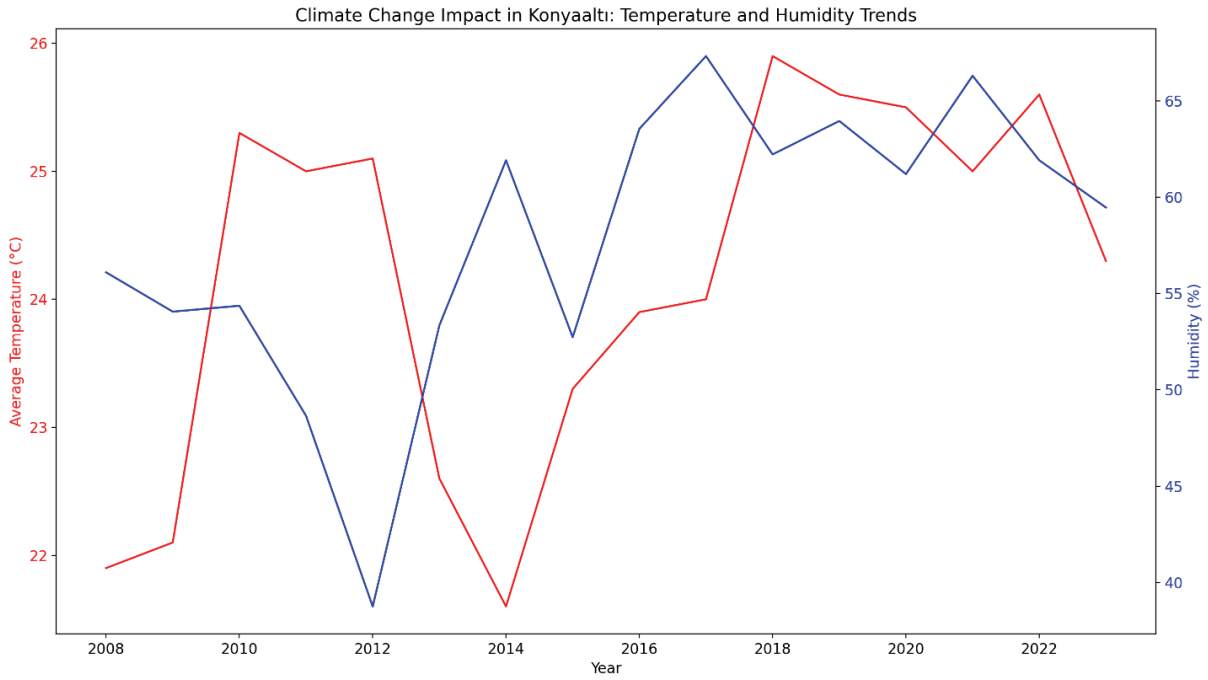


Figure 1. Trends in average temperature and humidity over the years (TSMS, 2023).

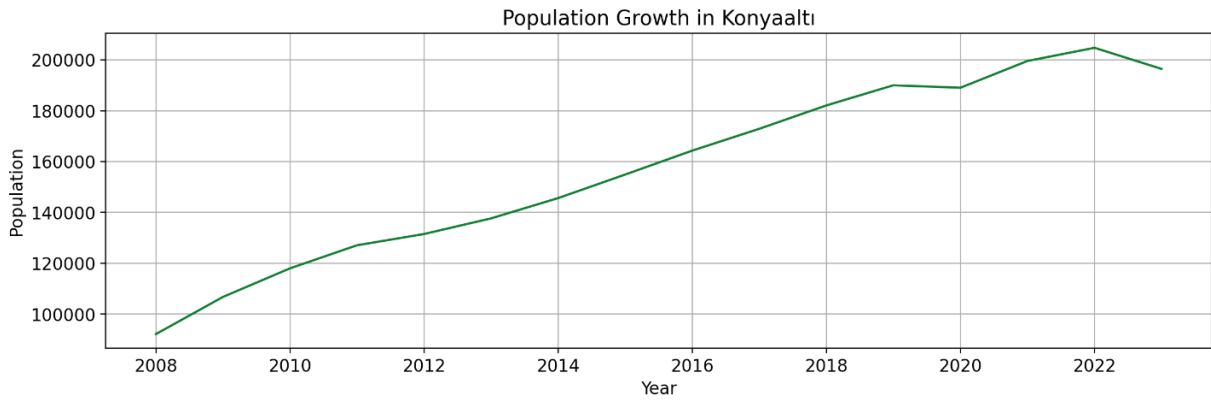


Figure 2. Trends in population over the years (TÜİK, 2023).

3.1. Trend analysis using the Mann-Kendall and Sen's Slope tests

To analyze the impact of population growth on climate change in Konyaaltı, the Mann-Kendall trend test and Sen's Slope estimator were performed on the climate data to investigate the effect of population growth on temperature and humidity trends over the years. This will help to determine whether statistically significant trends could be attributed to population growth and migration. These tests are beneficial since they are non-parametric, meaning that monotonic trends may be found without assuming a particular data distribution. This property makes

the tests less susceptible to outliers and appropriate for hydrological data, which frequently show serial correlation. (Hamed, 2008). In the semi-arid regions around Lake Urmia, for instance, studies have demonstrated that the combination of MK and Sen's methods has successfully identified increasing trends in extreme temperature and decreasing trends in rainfall indices (Berhane et al., 2020; Ahmadebrahimpour et al., 2019).

Trend analysis using the non-parametric Mann-Kendall and Sen's Slope Tests through the Eqns. (1)-(5). In the Mann-Kendall Test, the test statistic S is calculated as:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Where $\text{sign}(x)$ is:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

The variance of S is computed as:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

Where t is the extent of any given tie and $\sum_t$ denotes the summation of all ties.

The test statistic Z is calculated as:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

The Sen's slope estimator is the median of all pairwise slopes:

$$\text{Sen's slope} = \text{median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad (5)$$

for all $i < j$, where x_i and x_j are data values at times i and j , respectively.

The Mann-Kendall test result indicates a statistically significant increasing trend in average temperature, while no significant trend is observed in humidity. This suggests that rising temperatures in the region may reflect climate change, potentially influenced by

population growth and migration. The following figures illustrate average temperature and humidity trends, while the table summarizes the Mann-Kendall and Sen's Slope test results (See Figure 3 and Table 1).

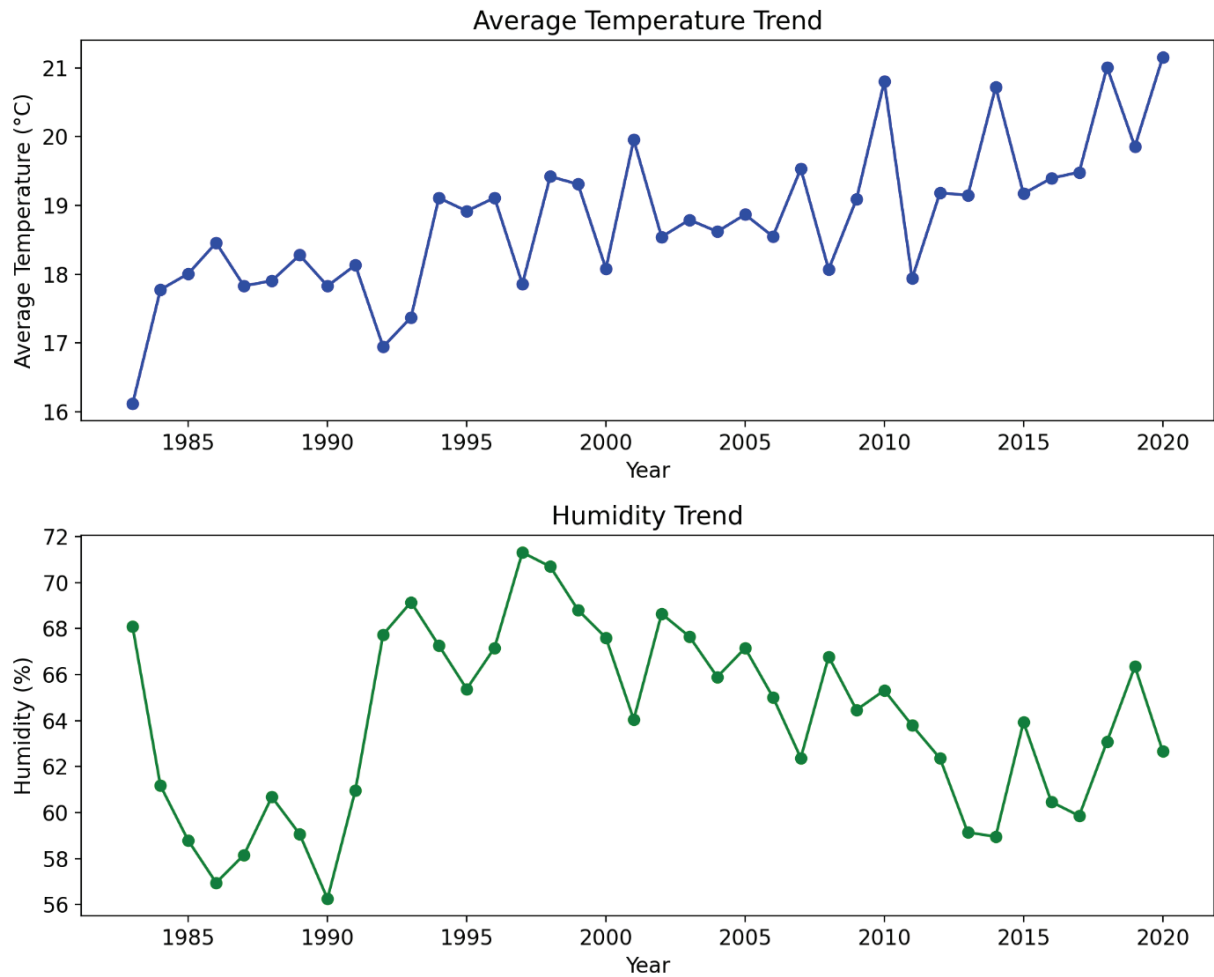


Figure 3. Trends of the average temperature and humidity (TSMS, 2023).

Table 1. Mann-Kendall and Sen's Slope Test Results for Weather Data in Konyaaltı.

Test	Average Temperature	Trend	Humidity	Trend
Mann-Kendall	0.0003627052	increasing	0.0008402455	increasing
Sen Slope	0.0001942661	increasing	0.0000949806	increasing

The Mann-Kendall test indicates an increasing trend in average temperature and humidity, while Sen's Slope provides the rate of change for these variables. This suggests a potential impact of climate change in Konyaaltı. The findings were correlated with population changes to assess the effect of migration on climate change. The visualization in Figure 4 underscores the consistent increase in global population and temperature anomalies over time, reflecting a pattern relevant

to understanding long-term environmental impacts. The global population data are based on estimates from the World Bank, while the temperature anomaly data approximates figures from NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS) (NASA/GISS, 2023; World Bank, 2023). Similarly, on the local scale, the scatter plot in Figure 5 illustrates the relationship between population and average temperature.

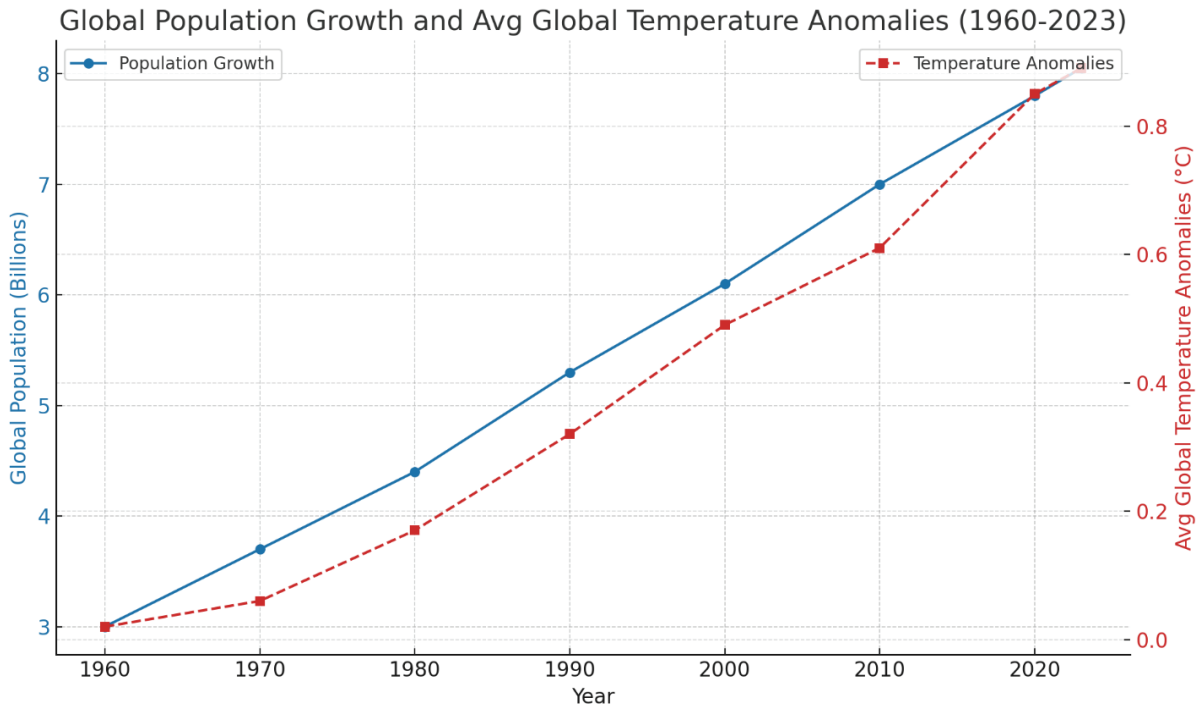


Figure 4. The statistical plot shows the relationship between global population growth and average global temperature anomalies from 1960 to 2023 (NASA/GISS, 2023; World Bank, 2023).

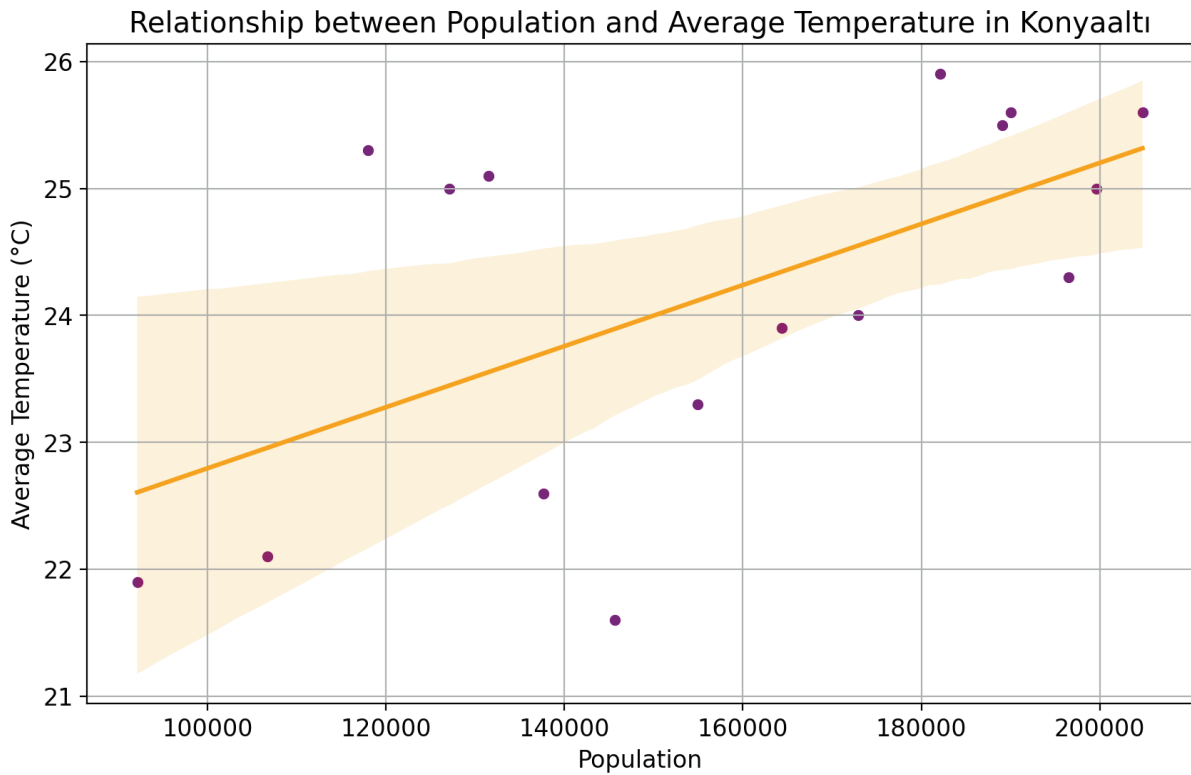


Figure 5. The temporal relationship between the average temperature and the population in Konyaaltı (TSMS, 2023; TÜİK, 2023).

Tablo 2. Statistical metrics for the average temperature by the population scatter plot.

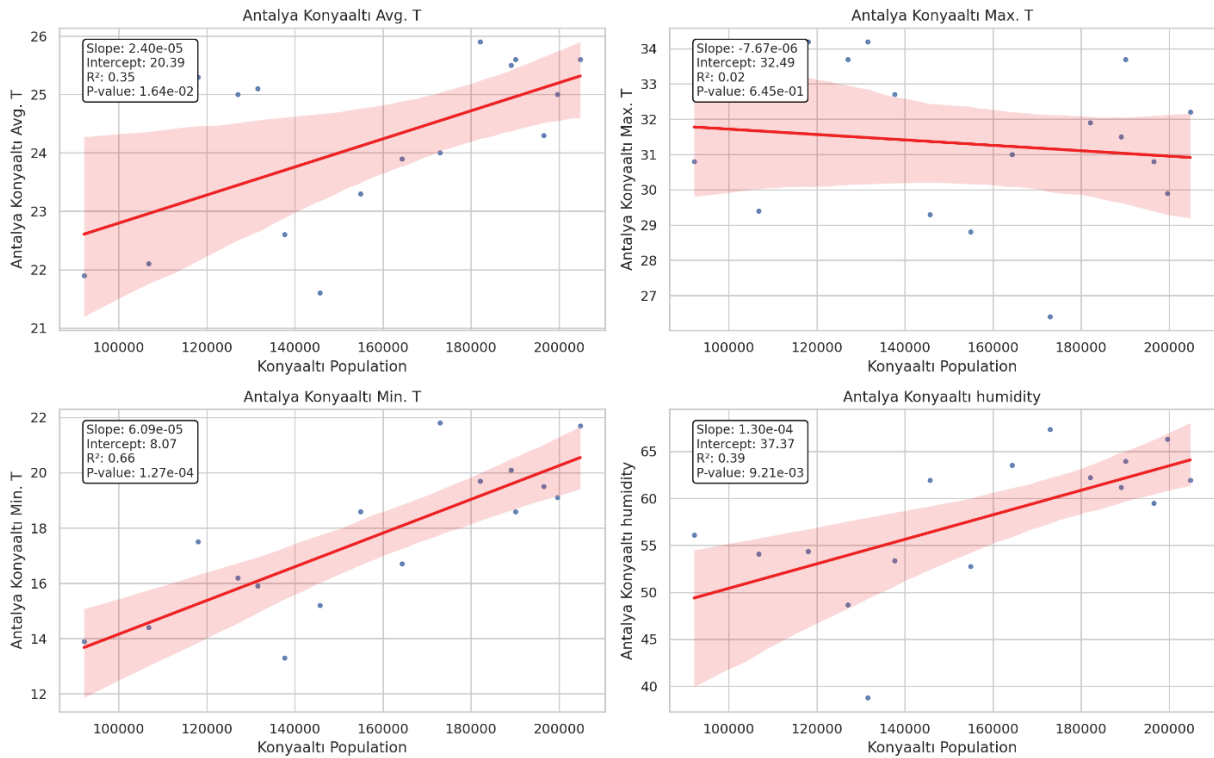
Slope	Intercept	R-squared	P-value	Standard Error
0.0000240492	20.3913753511	0.3465148956	0.0164436132	0.0000088266

The statistical metrics indicate a positive slope of approximately 2.40×10^{-5} , suggesting a slight increase in average temperature with population growth. The R-squared value of roughly 0.35 indicates a moderate correlation, while the P-value of 0.016 suggests that the relationship is statistically significant. This analysis highlights a potential link be-

tween population changes and temperature increases that may reflect the impacts of climate change in Konyaaltı.

The metrics indicate varying degrees of correlation between population and different weather parameters, with some showing significant relationships (see Figure 6).

Weather Parameters vs Population in Konyaaltı

**Figure 6.** The trends between population changes and weather parameters in Konyaaltı (TSMS, 2023; TÜİK, 2023).

3.2. T-test as an inferential statistical test

Statistical metrics (e.g., slope, R^2 , p-value) can indicate whether there is a significant correlation between population growth and changes in weather parameters. However, proving causation would require a more comprehensive analysis, including other factors influencing climate change. Hence, additional statistical tests were conducted to analyze the data. It is typically required to perform statistical tests such as ANOVA and t-tests on

the weather parameters against the population data to determine if there are statistically significant differences or correlations. This will help identify potential links between population growth and changes in weather patterns and to evaluate the impact of climate change in Konyaaltı. However, the ANOVA results are unavailable for this dataset because of the number of groups that will perform ANOVA. ANOVA requires at least three groups to compare, but our data is grouped by year.

Nonetheless, the t-test results indicate varying significance levels across different weather parameters in Konyaaltı. The process for the t-tests on the weather parameters against the population data is as follows:

- Prepare the data by grouping it by year and calculating annual averages for weather parameters.
- Perform the t-tests for each weather parameter against the population.
- Create a table with t and P-values for all

parameters.

- Analyze the results to determine if there are statistically significant differences or correlations.

The correlation heatmap will help determine whether there are significant differences or correlations between weather parameters and population (see Figure 7). The results for the t-test results and the P-values for the weather parameters are shown in Table 3.

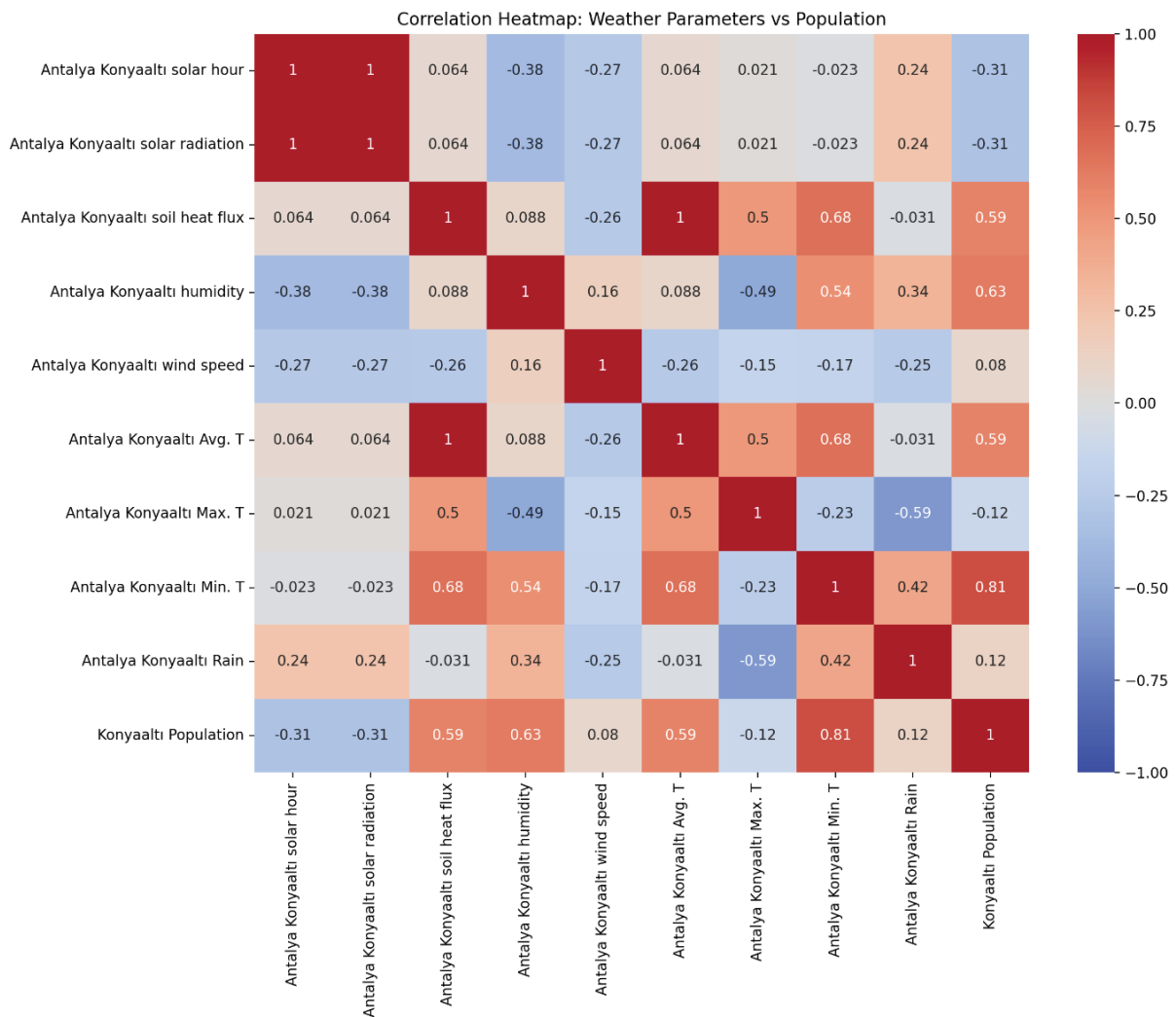


Figure 7. The correlation heatmap for the weather parameters and the population (TSMS, 2023; TÜİK, 2023).

Tablo 3. The t-test results for the weather parameters in Konyaaltı, Antalya.

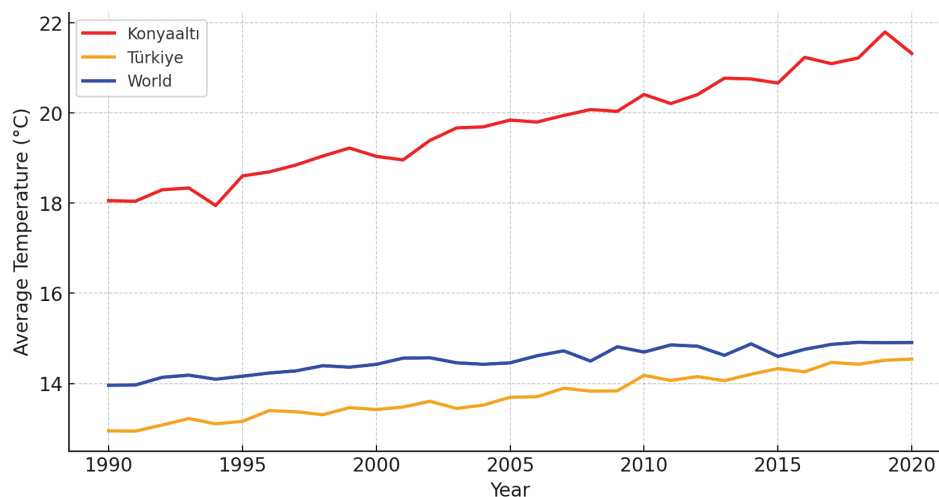
Parameter	T-test t-value	T-test P-value
solar radiation	0.5506495164956735	0.5905530700018222
soil heat flux	-2.6112993453283724	0.02052088080017926
humidity	-4.241140857266308	0.0008221530300184912
wind speed	-0.24518727200057108	0.8098689855137411
Avg. T	-2.611299345328415	0.020520880800177554
Max. T	0.6377635743925517	0.5339203060250982
Min. T	-4.647946338683549	0.0003765481842864683
Rain	-1.0	0.33428194339465733

Table 3 shows the t-test t-values for each weather parameter to the population. The t-test results show significant differences (P-value < 0.05) for soil heat flux ($t = -2.61$), humidity ($t = -4.24$), average temperature ($t = -2.61$), and minimum temperature ($t = -4.65$). These parameters show statistically significant changes as the population increases. These results reveal a correlation between specific weather parameters, particularly humidity and temperature, and an increase in population. ,

The Mann-Kendall trend test results show that there has been a statistically significant increase in average temperature in the Konyaaltı region between 1990 and 2020 ($p < 0.05$). This increase is consistent with the temperature increase in Türkiye and reflects global climate change trends. Qualitative findings reveal that migrants' perceptions of climate change differ from those of locals. For example, one participant stated, 'The weather is getting hotter here, but it is more bearable

than the drought in my country.'

Figure 8 clearly expresses temperature trends on both global and local scales. Between 1990 and 2020, the average annual temperature increased by 0.2°C per decade worldwide, while in Türkiye, this increase occurred between 0.3°C and 0.4°C per decade. In Antalya and Konyaaltı, the temperature increase is more pronounced, with increases of 0.3°C to 0.5°C per decade. This situation is due to local factors such as rapid urbanization, tourism activities and population growth. The population of Konyaaltı quadrupled from ~ 50000 in 1990 to ~ 200000 in 2020. This rapid population growth has accelerated the temperature increase by increasing the urban heat island effect in the region. While a similar temperature increase is generally observed in Antalya, population density and urbanization impact are more pronounced in Konyaaltı (See Table 4). These findings reveal the complex relationship between climate change, rapid population growth, and urbanization.

**Figure 8.** Temperature trends in Konyaaltı, Türkiye, and the world (NASA/GISS, 2023; NOAA, 2023; TSMS, 2023).

Tablo 4. Comparative temperature statistics and population data for Konyaaltı (NASA/GISS, 2023; NOAA, 2023; TSMS, 2023; TÜİK, 2023).

Year	World Avg. Temp. (°C)	Türkiye Avg. Temp. (°C)	Konyaaltı Avg. Temp. (°C)	Konyaaltı Population (Capita)
1990	13.96	12.95	18.05	54231
1991	13.97	12.94	18.04	53942
1992	14.14	13.08	18.30	62222
1993	14.18	13.22	18.33	61548
1994	14.09	13.10	17.95	74920
1995	14.16	13.16	18.60	76779
1996	14.23	13.40	18.69	84588
1997	14.28	13.37	18.85	89086
1998	14.39	13.31	19.04	94323
1999	14.36	13.46	19.22	94638
2000	14.42	13.42	19.04	97693
2001	14.56	13.48	18.96	104611
2002	14.57	13.60	19.39	105189
2003	14.46	13.45	19.67	115426
2004	14.43	13.52	19.69	116309
2005	14.46	13.69	19.84	128031
2006	14.61	13.71	19.80	133265
2007	14.72	13.89	19.94	137014
2008	14.50	13.83	20.07	143150
2009	14.81	13.84	20.04	147779
2010	14.70	14.18	20.41	149070
2011	14.85	14.07	20.21	154804
2012	14.83	14.15	20.41	162577
2013	14.62	14.06	20.77	165943
2014	14.88	14.21	20.75	169029
2015	14.60	14.33	20.66	176462
2016	14.76	14.26	21.23	180323
2017	14.87	14.47	21.09	184651
2018	14.91	14.43	21.22	185087
2019	14.90	14.51	21.80	194854
2020	14.91	14.54	21.32	197093

4. Discussion

The findings of this study highlight a significant relationship between climate change and migration-induced population growth in the Konyaaltı district of Antalya, Türkiye. The statistical analyses conducted, including the Mann-Kendall trend test and correlation analysis, reveal a notable increase in average

temperature, which correlates positively with population growth. This suggests that as the population increases, the region may experience exacerbated effects of climate change, particularly in terms of rising temperatures. Recent literature supports these findings, indicating that migration can significantly impact local climates and environmental conditions. For instance, a study by Nagle Alverio et al.

(2024) found that urbanization due to migration leads to increased heat retention in cities, further contributing to local temperature rises.

Similarly, Palginoğlu et al. (2024) emphasized the role of population density in amplifying climate change effects, particularly in coastal regions. The implications of these findings are profound, as they underscore the need for integrated policies that address migration and climate change. Policymakers should consider the interplay between these factors when developing sustainable urban planning and environmental management strategies.

Furthermore, the significant differences observed in climate variables such as soil heat flux and humidity as population increases indicate that targeted interventions may be necessary to mitigate these impacts. Future research should focus on longitudinal studies that track the long-term effects of migration on climate variables and the socio-economic consequences of these changes. Understanding the feedback loops between migration and climate change will be crucial for developing effective adaptation strategies (Arshad et al., 2022; Uddin et al., 2022). As a result, this study contributes to the growing body of evidence linking migration and climate change, highlighting the urgent need for comprehensive approaches to address these interconnected challenges.

Meanwhile, this study presents significant implications for architecture and urban planning. Research indicates that rising temperatures correlate with increased population density, aggravating urban heat island effects and straining local resources. This scenario necessitates re-evaluating urban planning strategies to effectively incorporate climate resilience and sustainability principles. Urban planning must prioritize integrating green infrastructure to mitigate the impacts of climate change. For instance, the development of parks and open spaces can serve as heat outlets, reducing urban heat island effects and enhancing the ecological footprint of urban areas (Feizi, 2021). Moreover, sustainable

housing models incorporating resilience characteristics are fundamental in addressing the risks of climate change (Ruiz and Mack-Vergara, 2023). The need for adaptive urban governance frameworks is underscored by the findings, suggesting that planners should adopt a multi-faceted approach that considers both the environmental and social dimensions of urban resilience (Tyler and Moench, 2012).

The findings of this study are consistent with other studies in the literature. For example, Nagle Shen et al. (2020) stated that migration increases the urban heat island effect. However, this study is one of the first to examine the relationship between climate change and migration in a tourism region like Konyaaltı. The limitations of the study include data deficiencies and time constraints. In future studies, it is recommended that a broader period and more qualitative data be collected.

Furthermore, the study advocates for interdisciplinary strategies in sustainable development planning, emphasizing the importance of longitudinal studies to understand the feedback loops between migration and environmental change. This aligns with the broader discourse on urban resilience, highlighting the necessity of addressing urban inequalities and vulnerabilities in climate change responses (Broto and Bulkeley, 2013). Integrating geoscience information and disaster resilience strategies can also enhance urban planning efforts, ensuring that cities are better equipped to handle the dual challenges of migration and climate change (Affandi et al., 2023). Consequently, the findings from the study call for a paradigm shift in urban planning, where climate adaptation and migration are viewed as interconnected challenges. By prioritizing sustainable urban development and resilience frameworks, cities can better manage the impacts of climate change while accommodating growing populations. This holistic approach is essential for fostering resilient urban environments capable of withstanding future climate shifts.

4.1. Limitations

While offering valuable insights into the relationship between climate change and migration in the Konyaaltı district, this study faces several limitations that must be recognized.

First, data availability poses a significant constraint. The research relies heavily on historical data, which may not encompass all relevant variables affecting migration and climate change. Data gaps can lead to analyses and conclusions that may be incomplete, limiting the study findings, especially on causality among the variables of climate and population. Another limitation is generalizability. The findings are specific to the Konyaaltı district and may not apply to regions with differing socio-economic and environmental conditions. This specificity restricts the broader applicability of the results, as regional variations in climate, migration patterns, and policy contexts can affect outcomes differently. The study's temporal scope also limits its comprehensiveness. By focusing on a particular time frame, the research may overlook broader, long-term climate and migration patterns trends. Future studies would benefit from a more extended temporal analysis to better capture evolving dynamics.

Additionally, subjectivity in qualitative data presents challenges. The qualitative data gathered through interviews may reflect individual biases and personal perceptions, which could influence the findings. Although thematic analysis mitigates this somewhat, subjectivity cannot be entirely removed. Finally, the complex interactions between climate change and migration add further difficulty. This relationship is shaped by various economic, political, and social factors that this study may not fully account for, potentially simplifying a complex interplay. In conclusion, while this research advances understanding of the climate-migration nexus in Konyaaltı, these limitations should be considered when interpreting its findings and implications.

4.2. Recommendations for future research

The findings of this study show that the relationship between climate change and migration in the Konyaaltı region has a complex structure. Policymakers should design programs that support the adaptation processes of migrants while developing sustainable urban planning strategies. In addition, green infrastructure projects and energy efficiency measures can play an essential role in reducing the effects of climate change. Future research should focus on qualitative studies examining the adaptation processes of migrants to climate change. Quotes from the participants' statements will support the qualitative findings obtained and provide a richer and more multi-dimensional presentation of the effects of climate change and migration on individuals and communities. This approach will allow a more in-depth analysis of the impacts of climate change and migration interaction on human behavior and motivations, especially in the Konyaaltı region.

5. Conclusions

This study has elucidated the complex interplay between climate change and migration-driven population growth in the Konyaaltı district of Antalya, Türkiye, offering crucial insights into how these intertwined phenomena affect local environments and resources. The analysis revealed a substantial correlation between rising temperatures and increased population density, underscoring the compounded challenges of climate change and rapid urbanization. As the Konyaaltı region continues to attract migrants drawn by its favorable climate and economic prospects, the environmental implications of this influx are particularly significant.

The findings indicate that population growth intensifies the impacts of climate change through mechanisms such as urban heat retention and heightened resource demands. This dynamic accentuates the need for integrated policy frameworks that address migration management and climate adaptation.

Effective strategies must recognize the reciprocal influences between population dynamics and environmental stressors to create resilient urban planning approaches that accommodate and regulate population growth while minimizing ecological impacts. Additionally, the study highlights the value of longitudinal research for tracking and understanding the lasting effects of migration on climate variables at the regional scale. Such longitudinal analyses are essential for developing effective adaptation measures that enhance resilience to the continuous pressures of climate change. Monitoring these changes over time will deepen our understanding of how migration reshapes environmental patterns, informing more targeted and sustainable adaptation practices. In conclusion, this research contributes to a growing body of knowledge on the links between migration and climate change, emphasizing the importance of comprehensive strategies that address the shared challenges posed by these interconnected issues. Future research should aim to explore the feedback loops between human migration and environmental shifts further, ultimately providing insights that can guide sustainable development in regions increasingly vulnerable to the compounded effects of climate change and urbanization.

Author Contributions: MEA., NA, and İA are responsible for the conceptualization, the methodology, the application of software in the data, the formal analysis of the data, the visualization of the results, and the writing, review, and editing of different parts of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Historical meteorological data from the Turkish State Meteorological Service (TSMS or MGM in Turkish acronym), emphasizing trends in temperature, humidity, and precipitation over the previous thirty years.

Acknowledgments: We thank the Turkish Statistical Institute (TÜİK) for providing demographic and population data for this study. We appreciate the Turkish State Meteorological Service (TSMS) for providing the meteorological data for this research. We want to sincerely thank the anonymous reviewers for carefully reading our manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Affandi, E., Ng, T.F., & Pereira, J.J. (2023). Integration of Geoscience Information for Disaster Resilience in Kuala Lumpur, Malaysia. *Applied Sciences*, 13(12):7004. <https://doi.org/10.3390/app13127004>
- Ahmadebrahimpour, E., Aminnejad, B., & Khalili, K. (2019). Assessing future drought conditions under a changing climate: a case study of the Lake Urmia Basin in Iran. *Water Science & Technology Water Supply*, 19(6), 1851-1861. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.062>
- Arshad, S., Ahmad, S. R., Abbas, S., Asharf, A., Siddiqui, N. A., & ul Islam, Z. (2022). Quantifying the contribution of diminishing green spaces and urban sprawl to urban heat island effect in a rapidly urbanizing metropolitan city of Pakistan. *Land Use Policy*, 113, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105874>
- Berhane, A., Hadgu, G., Worku, W., & Abrha, B. (2020). Trends in extreme temperature and rainfall indices in the semi-arid areas of western Tigray, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00165-6>
- Broto, V. C., & Bulkeley, H. (2013). A survey of urban climate change experiments in 100 cities. *Global environmental change*, 23(1), 92-102. ISSN 0959-3780, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.005>.
- De Haas, H., Castles, S., & Miller, M. J. (2019). *The age of migration: International population movements in the modern world*. Bloomsbury Publishing.
- Feizi, F. (2021). Adaptation and Mitigation for Meeting the Climate Change through Urban Plans: Assessing Urban Development Plans of Tehran, Iran. Preprints, 2021050500. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0500.v1>
- Hamed, K. (2008). Trend detection in hydrologic data: the Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Han, Q., Kumar, R., & Kumar, A. (2024). Climate change and human migration: Perspectives for environmentally sustainable societies. *Journal of Geochemical Exploration*, 256, 107352. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107352>
- Hauer, M. E., Jacobs, S. A., & Kulp, S. A. (2024). Climate migration amplifies demographic change and population aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(3), e2206192119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2206192119>
- Hirsch, Z. M., Porter, J. R., Buresch, J. M., Medgyesi, D. N., Shu, E. G., & Hauer, M. E. (2024). A Multi-Hazard Approach to Climate Migration: Testing the Intersection of Climate Hazards, Population Change, and Location Desirability from 2000 to 2020. *Climate*, 12(9), 140. <https://doi.org/10.3390/cli12090140>
- IPCC. (2023). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Işınkaralar, Ö. (2023). Kent Planlama Perspektifinden İklimin Geleceğine İlişkin Mekansal Öngörüler: Antalya Havzası Örneği. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(4), 128-145. <https://orcid.org/0000-0001-9774-5137>
- Kaygusuz, K., & Toklu, E. (2023). Turkey's Energy and Climate Change Policy. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 12(2), 2369-2381. <https://orcid.org/0000-0001-5208-6705>
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. (2015). Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(11), 3241-3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>
- Kwilinski, A., Lyulyov, O., Pimonenko, T., Dzwigol, H., Abazov, R., & Pudryk, D. (2022). International migration drivers: Economic, environmental, social, and political effects. *Sustainability*, 14(11), 6413. <https://doi.org/10.3390/su14116413>
- Lee, S., Park, Y., & Klassen, R. (2013). Market responses to firms' voluntary climate change information disclosure and carbon communication. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(1), 1-12. <https://doi.org/10.1002/csr.1321>
- Lu, Y., Shao, Z., & Lu, H. (2024). Quantification of anthropogenic heat and simulation of its effects on environment and climate: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 204, 114802. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114802>
- Maldonado-Chaparro, A., Blumstein, D., Armitage, K., & Childs, D. (2018). Transient LTRE analysis reveals the demographic and trait-mediated processes that buffer population growth. *Ecology Letters*, 21(11), 1693-1703. <https://doi.org/10.1111/ele.13148>
- Nagle Alverio, G., Sowers, J., & Weinthal, E. (2024). Climate change, conflict, and urban migration. *Environment and Security*, 27538796241259242. <https://doi.org/10.1177/27538796241259242>
- NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS). (2023). *Global temperature anomalies: 1880 to present*. Retrieved [October 15, 2023], from <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- National Centers for Environmental Information (NOAA). (2023). *Climate Data Online (CDO)*. Retrieved [October 15, 2023], from <https://www.ncei.noaa.gov/cdo-web/>
- Palginõmm, V., Ratass, U., & Kont, A. (2024). Increasing human impact on coastal areas of Estonia in recent decades. *Journal of Coastal Research*, 50(sp1), 114-119. <https://doi.org/10.2112/JCR-SI50-023.1>
- Reyes García, V., Fernández-Llamazares, Á., Guèze, M., Garcés, A., Mallo, M., Vila-Gómez, M., ... & Vilaseca, M. (2015). Local indicators of climate change: the potential contribution of local knowledge to climate research. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 7(1), 109-124. <https://doi.org/10.1002/wcc.374>

- Reyes García, V., García-del-Amo, D., Benyei, P., Fernández-Llamazares, Á., Gravani, K., Junqueira, A., ... & Soleymani-Fard, R. (2019). A collaborative approach to bring insights from local observations of climate change impacts into global climate change research. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.007>
- Ruíz, M. A., & Mack-Vergara, Y. L. (2023). Resilient and Sustainable Housing Models against Climate Change: A Review, *Sustainability* 15, no. 18: 13544. <https://doi.org/10.3390/su151813544>
- Sarzynski, A. (2012). Bigger is not always better: a comparative analysis of cities and their air pollution impact. *Urban Studies*, 49(14), 3121-3138. <https://doi.org/10.1177/0042098011432557>
- Selby, J., Dahi, O. S., Fröhlich, C., & Hulme, M. (2017). Climate change and the Syrian civil war revisited. *Political Geography*, 60, 232-244. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.05.007>
- Shen, Z., Shi, J., Tan, J., & Yang, H. (2020). The migration of the warming center and urban heat island effect in Shanghai during urbanization. *Frontiers in Earth Science*, 8, 340. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00340>
- Strong, C., Stwertka, C., Bowling, D., Stephens, B., & Ehleringer, J. (2011). Urban carbon dioxide cycles within the Salt Lake Valley: a multiple-box model validated by observations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(D15). <https://doi.org/10.1029/2011jd015693>
- Turkish State Meteorological Service (TSMS). (2023). *Historical weather records for Konyaaltı, Antalya*. Retrieved [October 15, 2023], from <https://www.mgm.gov.tr/site/urunler.aspx?u=tum>
- Turkish Statistical Institute (TÜİK). (2023). *Population data for Konyaaltı, Antalya*. Retrieved [October 15, 2023], from <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(4), 311-326. <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>
- Uddin, A. S., Khan, N., Islam, A. R. M. T., Kamruzzaman, M., & Shahid, S. (2022). Changes in urbanization and urban heat island effect in Dhaka city. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3), 891-907. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03872-x>
- Wang, J., & Azam, W. (2024). Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101757. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>
- World Bank. (2023). World development indicators: *Population estimates*. Retrieved [October 15, 2023], from <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- Xu, T., & Khalili, S. (2020). A Study into the Demographics Having the Greatest Carbon Footprint. *STEM Fellowship Journal*, 5(1), 24-27. <https://doi.org/10.17975/sfj-2019-009>
- Zhao, Q., Boomer, G., & Royle, J. (2019). Integrated modeling predicts shifts in waterbird population dynamics under climate change. *Ecography*, 42(9), 1470-1481. <https://doi.org/10.1111/ecog.04548>

Üniversitelerde Sürdürülebilirlik Uygulamaları: Yeşil Denetim ve GreenMetric Çerçevesinden Bakış¹

Dr. Abdullah DEMİREL* 

abdullahdemirel@kmu.edu.tr

Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, İç Denetim Birimi, Karaman, Türkiye

<https://orcid.org/0000-0003-3503-115X>

Geliş Tarihi: 20.12.2024 / Kabul Tarihi: 13.03.2025

Özet

Bu çalışma, üniversitelerde sürdürülebilirlik ve yeşil denetim kavramlarını UI GreenMetric göstergeleri çerçevesinde ele almaktadır. GreenMetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik performansını değerlendiren ve küresel çapta bir sıralama sunan önemli bir ölçüm aracı olarak görülmektedir. Çalışma kapsamında, üniversitelerin sürdürülebilirlik politikaları, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik perspektifinden detaylandırılmıştır. Özellikle çevresel sürdürülebilirlik, üniversite yerleşkelerinde enerji verimliliği, su tasarrufu, atık yönetimi ve ulaşım çözümleri gibi stratejik alanlarda yapılan uygulamalarla ilişkilendirilmiştir. Ekonomik sürdürülebilirlik, kaynakların verimli kullanımı ve uzun vadeli ekonomik faydalar üzerine odaklanırken, sosyal sürdürülebilirlik ise toplumsal eşitlik, adalet ve kapsayıcılığın artırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca, çalışmada GreenMetric göstergelerinin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile olan güçlü bağlantıları ortaya konulmuştur. Üniversitelerin yerleşke yönetimi, araştırma ve eğitim faaliyetlerinde SKA'lara yönelik stratejiler geliştirmesi, sürdürülebilir kalkınmaya yönelik küresel çabalara önemli katkılar sunmaktadır. Yeşil denetim, bu süreçlerin etkinliğini ve hesap verebilirliğini sağlama konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Yeşil denetim sayesinde üniversiteler, sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirebilmekte, eksik yönleri tespit edebilmekte ve iyileştirme stratejileri geliştirebilmektedir. Bu çalışma, sürdürülebilirlik ve yeşil denetimin, üniversitelerde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden stratejik araçlar olduğunu vurgulamakta ve bu alandaki uygulamalara ışık tutmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Üniversiteler, GreenMetric, Yeşil Denetim

Sustainability Practices in Universities: A View from the Green Audit and GreenMetric Framework

Dr. Abdullah DEMİREL* 

abdullahdemirel@kmu.edu.tr

Arrival Date: 20.12.2024 / Accepted Date: 13.03.2025

Abstract

This study examines the concepts of sustainability and green auditing in universities within the framework of UI GreenMetric indicators. GreenMetric is regarded as a significant tool that assesses the sustainability performance of universities and provides a global ranking. In this study, the sustainability policies of universities are detailed from the perspectives of environmental, economic, and social sustainability. Particularly, environmental sustainability is linked to strategic areas such as energy efficiency, water conservation, waste management, and transportation solutions within university campuses. Economic sustainability focuses on the efficient use of resources and long-term economic benefits, while social sustainability aims to enhance social equity, justice, and inclusivity. Additionally, the study highlights the strong

¹Bu çalışma 2 Temmuz 2024 tarihinde gerçekleştirilen 3. Uluslararası Kamu İç Denetim Kongresi'nde özet olarak sunulan metnin geliştirilmiş ve genişletilmiş halidir.

connections between GreenMetric indicators and the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). By developing strategies aligned with the SDGs in campus management, research, and educational activities, universities can significantly contribute to global efforts toward sustainable development. Green auditing plays a critical role in ensuring the effectiveness and accountability of these processes. Through green auditing, universities can evaluate their sustainability performance, identify shortcomings, and develop improvement strategies. This study underscores that sustainability and green auditing are strategic tools that promote sustainable development in universities and aims to shed light on best practices in this field.

Keywords: Sustainability, Universities, GreenMetric, Green Auditing

1. Giriş

Sürdürülebilirlik, son yıllarda küresel ölçekte büyük bir öneme sahip olmuş ve toplumsal, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla geniş bir araştırma ve uygulama alanı haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı, günümüz ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan yaşam biçimlerinin geliştirilmesini gerektirir. Bu yaklaşım, bireylerden kurumlara kadar birçok alanda politikaların şekillenmesine yol açmış ve özellikle üniversiteler gibi eğitim kurumlarının sürdürülebilirlik misyonunu daha fazla üstlenmesine neden olmuştur. Sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilirliği toplumsal refah, ekonomik kalkınma ve çevresel koruma üçlüsünün dengeli bir şekilde bir araya getirilmesi olarak tanımlanmakta ve bu alanlarda ilerlemeler kaydedilmektedir.

Üniversiteler, sürdürülebilirlik çabalarının merkezinde yer alan ve geleceğin liderlerini yetiştiren önemli kurumlardır. Üniversiteler eğitim ve araştırma misyonları dışında topluma katkı misyonları gereği yerleşkelelerinde sürdürülebilir yaşam uygulamalarını hayata geçirerek, toplumun genelinde sürdürülebilirlik bilincinin artırılmasında kritik roller üstlenirler. Üniversite yerleşkelerinde sürdürülebilirlik, enerjiden su kullanımına, atık yönetiminden ulaşım çözümlerine kadar pek çok farklı alanda kendini göstermekte ve bu alanlardaki performansları ölçen çeşitli değerlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu değerlendirme sistemlerinden biri olan UI GreenMetric, üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik çabalarını sistematik bir şekilde değerlendiren küresel bir sıralama aracıdır.

GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını altyapı, enerji, atık yönetimi, su kullanımı, ulaşım ve araştırma faaliyetleri gibi alt başlıklarda ölçmektedir. Bu göstergeler, üniversitelerin çevresel etkilerini azaltmalarına, kaynak kullanımını optimize etmelerine ve karbon ayak izlerini düşürmelerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, GreenMetric sıralaması, üniversitelerin sürdürülebilirlik konusunda rekabetçi olmasını teşvik etmekte ve sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmada, GreenMetric kriterleri temel alınarak üniversitelerin sürdürülebilirlik stratejileri ve bu stratejilerin Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile olan ilişkisi, alanda yapılan bilimsel çalışmalar ve üniversitelerin GreenMetric istatistik sonuçları çerçevesinde tartışılacaktır. Aynı zamanda, yeşil denetim kavramı temelinde, üniversitelerin sürdürülebilirlik politikalarının etkinliğinin nasıl değerlendirilebileceği ele alınacaktır.

2. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, günümüzün en önemli kavramlarından biri olmanın yanı sıra çeşitli disiplinlerde geniş kapsamlı bir araştırma ve tartışma alanı olarak da öne çıkmaktadır. Temel olarak, sürdürülebilirlik; çevresel, ekonomik ve sosyal sistemlerin uzun vadede dengeli ve uyumlu bir şekilde işlemlerini sağlamayı amaçlamaktadır (Giovanni ve Fabietti, 2013:22). Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması ve ekosistemlerin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Ekonomik sürdürülebilirlik ise; kaynakların verimli kullanımı ve ekonomik büyümenin sürdürülebilir bir şekilde sağlanması üzerinde dururken sosyal sürdürülebilirlik toplumsal eşitlik, adalet ve insan haklarının korunmasını hedeflemektedir (Gedik, 2020: 202-203).

Sürdürülebilirlik, sadece çevresel kaygılarla sınırlı olmayıp, aynı zamanda ekonomik kalkınma ve toplumsal refahın sürdürülebilir bir şekilde sağlanmasını da içermektedir. Bu doğrultuda, sürdürülebilir kalkınma kavramı, bugünün ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan hareket edilmesini gerektirir (Purvis, Mao ve Robinson, 2018:682). Bu bağlamda, sürdürülebilirlik ilkeleri hem yerel hem de küresel düzeyde politikacılar, kamu kurumları, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları tarafından benimsenmelidir. Ayrıca, bireylerin tüketim alışkanlıklarında sürdürülebilirlik bilinci ve farkındalığı geliştirilmelidir (Garanti, 2020:33). Dolayısıyla, sürdürülebilirlik sadece bir kavram olmayıp; aynı zamanda toplumun her kesiminde yerleşmesi gereken bir yaşam biçimi olarak ele alınması önem kazanmaktadır (Ballı, 2019). Sürdürülebilirlik kavramının bileşenlerinin detayları aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, sürdürülebilirlik kavramının önemli bir bileşeni olup ekosistemlerin uzun vadede sağlıklı ve işlevsel kalmasını hedeflemektedir. Bu kavram, doğal kaynakların korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi ve ekosistem hizmetlerinin devamlılığının sağlanması üzerine odaklanmaktadır (Morelli, 2011:5). Çevresel sürdürülebilirlik, bugünkü çevresel sorunların çözümünün yanı sıra gelecek nesillerin de sağlıklı bir çevrede yaşama hakkını korumaya yönelik stratejileri de içermektedir (Brundtland, 1987). Bu bağlamda, doğal kaynakların yenilenebilirlik ilkesi doğrultusunda kullanılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele, çevresel sürdürülebilirlik anlayışının temel unsurları arasında yer aldığı söylenebilir.

Çevresel sürdürülebilirlik, insan faaliyet-

lerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmeyi amaçlamakta ve bu doğrultuda, çevresel sürdürülebilirlik stratejileri, enerjinin verimli kullanımı, atık yönetimi, su kaynaklarının korunması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi gibi uygulamaları içermektedir (Muniz vd., 2023:22). Ayrıca, çevresel sürdürülebilirlik, toplumların doğayla uyum içinde yaşama kültürünü benimsemelerini gerektirmektedir. Bu, yalnızca bireysel çabalarla değil; aynı zamanda ulusal ve uluslararası düzeyde iş birliği ve politikalarla da desteklenmelidir. Özellikle iklim değişikliği, biyoçeşitliliğin azalması ve ormansızlaşma gibi küresel çevre sorunları, çevresel sürdürülebilirlik anlayışının ne kadar hayati bir önem taşıdığını gözler önüne sermektedir (Ziaul ve Shuwel, 2022:623). Dolayısıyla, çevresel sürdürülebilirliğin, sadece çevrenin korunması değil; aynı zamanda insanlığın geleceğinin de güvence altına alınması anlamına geldiği ifade edilmektedir.

2.2. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik, ekonomik büyümenin ve kalkınmanın uzun vadeli olarak sağlanması gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Bu kavram, ekonomik faaliyetlerin, mevcut ve gelecek nesillerin refahını tehlikeye atmadan yürütülmesi gerektiği prensibi üzerine kuruludur. Ekonomik sürdürülebilirlik, doğal kaynakların verimli kullanımı, ekonomik büyümenin çevresel ve sosyal maliyetlerinin dikkate alınması ve ekonomik faaliyetlerin toplumun geniş kesimlerine fayda sağlayacak şekilde düzenlenmesi vb. unsurları içermektedir (Niekerk, 2020:4). Bu bağlamda, ekonomik sürdürülebilirlik, sadece kısa vadeli ekonomik büyümeyi değil uzun vadede istikrarlı ve adil bir ekonomik sistemin oluşturulmasını da hedeflemektedir. Özellikle kaynakların tükenme riski, çevresel bozulma ve sosyal eşitsizlikler gibi faktörlerin ekonomik sürdürülebilirliği tehdit eden unsurlar arasında yer aldığı ifade edilmektedir (Hariram vd., 2023). Bu nedenle ekonomik faaliyetler, çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek ve toplumsal eşitliği sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve bugünden geleceği olumsuz etkileyecek riskler belirlenmelidir.

Ekonomik sürdürülebilirlik, yenilikçi ve verimli teknolojilerin geliştirilmesini, yeşil ekonomiye geçişi ve sürdürülebilir iş modellerinin benimsenmesini teşvik ederken (Dewi, Alif ve Hwihanus, 2024:476) ekonomik kalkınma süreçlerinin sosyal ve çevresel etkilerinin titizlikle değerlendirilmesini de kapsamaktadır. Bu süreçte, politikacıların, bürokrasinin, işletmelerin ve bireylerin iş birliği içinde olması, kaynakların sürdürülebilir yönetimini ve ekonomik büyümenin uzun vadeli devamlılığının sağlanması önemlidir (Islam, Munasingle ve Clarke, 2003:150). Çünkü ekonomik sürdürülebilirlik hem ekonomik refahın hem de çevresel ve toplumsal dengelerin korunmasını hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak ele alınmakta ve değerlendirilmektedir.

2.3. Sosyal Sürdürülebilirlik

Sosyal sürdürülebilirlik, sürdürülebilirlik kavramının toplumsal boyutunu ele almakta ve sosyal adalet, eşitlik, insan hakları ve toplumsal refahın uzun vadeli olarak korunmasını amaçlamaktadır. Bu kavram, toplumların sosyal, kültürel ve ekonomik yapılarının sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesini ve toplumsal uyumun sağlanmasını hedeflemektedir. Sosyal sürdürülebilirlik, bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılama, sosyal eşitsizlikleri azaltma ve toplumsal kapsayıcılığı artırma gibi unsurlar üzerine odaklanmaktadır (Akalin, 2015:58-60). Bu bağlamda, sosyal sürdürülebilirlik, toplumların sosyal yapılarının korunması ve güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamakta ve özellikle, yoksulluk, eğitimde fırsat eşitsizliği, sağlık hizmetlerine erişim ve toplumsal cinsiyet eşitsizlikleri vb. sorun-

lar, sosyal sürdürülebilirliğin temel zorlukları arasında yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için sosyal politikaların ve programların, toplumsal eşitliği teşvik eden, insan haklarını koruyan ve dezavantajlı grupları destekleyen bir yaklaşımı benimsemesi gerekmektedir (Barron vd., 2023).

Toplumsal uyumu ve dayanışmayı artırmayı hedefleyen sosyal sürdürülebilirlik bireylerin hak ve özgürlüklerinin korunması ile toplumun her kesiminde katılımcılığın ve sosyal sermayenin artırılmasını içermektedir (Woodcraft, 2012:31). Sosyal sürdürülebilirlik bir yandan kültürel çeşitliliğin korunmasını ve toplumsal yenilikçiliği teşvik ederken diğer yandan toplumların hem bugünkü hem de gelecekteki nesillerin refahını ve toplumsal uyumunu güvence altına alacak şekilde yapılandırılması gerekliliği üzerinde durmaktadır (Polese ve Stren, 2020).

3. Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilirlik Kalkınma Amaçları (SKA)

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), 2015 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından kabul edilen ve 2030 yılına kadar dünya genelinde yoksulluk, eşitsizlik ve adaletsizlik gibi temel sorunları ortadan kaldırmayı hedefleyen 17 evrensel amaçtan oluşmaktadır. SKA, sürdürülebilir kalkınmayı ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla bir bütün olarak ele alan, dünyanın her yerinde insanların yaşam kalitesini yükseltmeyi hedefleyen küresel bir eylem planı olarak ortaya çıkmıştır (Shukla vd., 2023:50).



Şekil 1. Sürdürülebilir kalkınma amaçları (Birleşmiş Millet, <https://turkiye.un.org/tr>, 2024)

SKA'nın temel amacı; yoksulluğu ortadan kaldırmak (Amaç 1) ve herkes için sağlık ve refahı sağlamak (Amaç 3) gibi temel insan haklarını güvence altına almaktır. Bu bağlamda, nitelikli eğitim (Amaç 4), toplumsal cinsiyet eşitliği (Amaç 5) ve temiz su ve sıhhi koşullar (Amaç 6) gibi hedefler bireylerin temel yaşam standartlarına erişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu hedeflerin sadece yoksulluk ve eşitsizliklerin giderilmesi için değil; aynı zamanda insan onurunun korunması için de hassas bir öneme sahip olduğu ifade edilmektedir (Telsaç, 2022).

SKA'lar, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliği de hedefleri arasına koyarken sürdürülebilir ekonomik büyüme (Amaç 8), insana yakışır iş olanakları yaratma ve ekonomik fırsatları yaygınlaştırma yoluyla yoksulluğun azaltılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu hedef, sanayi, yenilikçilik ve altyapı (Amaç 9) ve eşitsizliklerin azaltılması (Amaç 10) gibi diğer ekonomik hedeflerle birleştirilerek dünya genelinde ekonomik kalkınmanın daha adil bir şekilde dağıtılması yönünde niyetler taşımaktadır (Boar, Bastida ve Marimon, 2020:3-4).

Çevresel sürdürülebilirlik de SKA'ların önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele (Amaç 13), karasal yaşamın korunması (Amaç 15) ve su altı yaşamının sürdürülebilirliği (Amaç 14) gibi hedefler, ekosistemlerin korunmasını ve doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini kapsamaktadır. Bu hedefler, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmeyi ve gelecek nesiller için yaşanabilir bir dünya bırakmayı amaçlamaktadır (Göktaş ve Chowdury, 2019:294).

Barış, adalet ve güçlü kurumlar (Amaç 16), demokratik yönetişimin güçlendirilmesi ve hukukun üstünlüğünün sağlanması gibi temel ilkeler SKA'ların sosyal sürdürülebilirliğe yönelik hedeflerine dayanmaktadır. Bu hedef, dünya genelinde savaşların bitirilmesi, çatışmaların sona erdirilmesi ve toplumsal istikrarın sağlanması adına son derece hassasiyet içeren öneme sahiptir. Aynı şekilde, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar (Amaç 11)

hedefi, şehirlerin daha yaşanabilir hale getirilmesini amaçlamaktadır (Birleşmiş Milletler, 2024).

SKA'lar, hedeflere ulaşmak için küresel iş birliğini teşvik eden bir yaklaşım üzerine bina edilmesi onun ortaklıklar yoluyla amaçlara ulaşmak için (Amaç 17), hükümetler, sivil toplum, özel sektör ve uluslararası kuruluşlar arasında iş birliğinin artırılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu da, ülkelerin tek başlarına değil; tüm küresel toplumun birlikte hareket etmesi gereken bir sürecin içinde olunması gerekliliğini ifade etmektedir (Birleşmiş Milletler, 2024).

Sonuç olarak, BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, sürdürülebilir kalkınmayı ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla bütüncül bir şekilde ele alarak, insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük zorluklara çözüm üretmeyi hedefleyen kapsamlı bir yol haritası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçlar, daha adil, kapsayıcı ve sürdürülebilir bir dünya oluşturmayı amaçlayan küresel bir taahhüdüdür ve 2030 yılına kadar bu hedeflere ulaşmak, dünya genelinde refahı ve barışı artırmak için dikkatle takip edilmesi gereken bir süreç olarak değerlendirilmektedir.

4. Üniversiteler ve Sürdürülebilirlik

Üniversiteler, sürdürülebilirlik konusundaki küresel çabaların en ön saflarında yer alan önemli kurumlar olarak görülmektedir. Eğitim, araştırma ve topluma hizmet misyonları doğrultusunda, üniversiteler hem sürdürülebilirlik bilincinin yayılmasında hem de bu alandaki yenilikçi çözümlerin geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Seixas ve Rodrigues, 2023:100). Velazquez vd. (2006) sürdürülebilir bir üniversiteyi, "Bölgesel veya küresel düzeyde, kaynaklarının kullanımından kaynaklanan olumsuz çevresel, ekonomik, toplumsal ve sağlık etkilerinin en aza indirilmesini ele alan, buna dahil olan ve bunu teşvik eden bir Yükseköğretim Kurumu olarak, toplumun sürdürülebilir yaşam tarzlarına geçişine yardımcı olacak şekilde öğretim, araştırma, sosyal hizmet ve iş birliği ve yöneticilik işlevlerini yerine getiren bir kurum"

olarak tanımlamaktadır. Sürdürülebilirlik, üniversitelerin akademik programlarından yerleşke operasyonlarına kadar her alanda entegre edilmesi gereken bir kavram olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından rolü; eğitim ve öğretim, araştırma ve geliştirme ile topluma hizmet olmak üzere üç temel başlık altında incelenebilmektedir (Gorpe ve Masamreh, 2023:123).

Eğitim ve öğretim açısından bakıldığında, üniversiteler sürdürülebilirlik bilincinin oluşması ve sürdürülebilirlik bilgisinin yayılmasında lokomotif bir güçtür. Sürdürülebilirlik konuları hem çevresel hem de sosyal ve ekonomik boyutlarıyla, çeşitli disiplinlerin müfredatlarına dahil edilmelidir. Öğrencilere, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda düşünme ve hareket etme yetisi kazandırmak, bu alandaki farkındalığın artırılması açısından son derece önemlidir. Çünkü üniversiteler, öğrencilere çevre dostu teknolojiler, yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir iş modelleri ve sosyal adalet gibi konularda bilgi ve beceri kazandırarak, geleceğin liderlerini ve uzmanlarını yetiştirmede önemli katkılar sunabilmektedir (Suklun ve Bengü, 2024:61). Bu süreç, aynı zamanda toplumun geneline sürdürülebilirlik bilinci kazandırmak için de önemlidir; çünkü üniversitelerden mezun olan bireyler, edindikleri bilgiyi ve değerleri topluma yansıtarak toplumu dönüştürücü bir rol üstlenebileceklerdir.

Araştırma ve geliştirme faaliyetleri ise; üniversitelerin sürdürülebilirlik alanındaki en önemli katkılarının biri olarak görülmektedir. Üniversiteler, sürdürülebilirlik konusundaki bilimsel araştırmaların merkezi olarak, yenilikçi çözümler geliştirme ve mevcut sorunlara bilimsel temelli yaklaşımlar sunmaktadır (Ávila vd., 2017:1270). Bu kapsamda, üniversiteler, sürdürülebilir tarım yöntemlerinden yenilenebilir enerji teknolojilerine, iklim değişikliğiyle mücadele stratejilerinden sürdürülebilir şehir planlamasına kadar geniş bir yelpazede araştırmalar yürütmektedir. Bu araştırmalar hem yerel hem de küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Filho

vd., 2019:5). Ayrıca, üniversiteler arasında kurulan iş birlikleri ve ağlar, bilgi ve deneyim paylaşımını artırarak, sürdürülebilirlik alanındaki yeniliklerin daha hızlı bir şekilde yayılmasına yardımcı olmaktadır.

Üniversiteler, yerleşke operasyonları ve topluma hizmet yoluyla da sürdürülebilirlik ilkelerini hayata geçirebilmektedir. Üniversitelerin enerji ve su tüketimini azaltma, atık yönetimini iyileştirme ve çevre dostu ulaşım çözümleri sunma gibi uygulamalar sürdürülebilir yerleşke yönetimine örnek olarak gösterilebilir. Bu uygulamalar, hem üniversiteye sürdürülebilir yaşam pratikleri kazandırma konusunda destek sağlamakta hem de kurumların çevresel ayak izini azaltmaktadır (Abo-Khalil, 2024:4). Üniversiteler, düzenlediği eğitim programları, çalıştaylar, konferanslar, seminerler ve sürdürülebilirlik konusunda diğer bilgi paylaşımları ile topluma hizmet misyonu çerçevesinde, sürdürülebilirlik konusunda farkındalık oluşturma ve iç ve dış paydaşlara destek sağlama konusunda da aktif rol alabilmektedir (Too ve Bajracharya, 2015:63).

Üniversitelerin sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesindeki rolü yadsınmaz bir gerçek olarak görülmektedir. Eğitim ve öğretim yoluyla sürdürülebilirlik bilincini yaymak, araştırma ve geliştirme faaliyetleri ile yenilikçi çözümler sunmak ve yerleşke operasyonları ile topluma örnek olmak, üniversitelerin bu alandaki katkılarının başlıca unsurlarıdır. Sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için üniversitelerin bu çabalarını daha da güçlendirmesi ve yaygınlaştırması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, üniversitelere daha fazla kaynak aktarmalı, eğitim ve öğretim stratejileri geliştirilirken sürdürülebilirlik konularında yerel ve küresel sorunları da kapsayan gelecek ve risk odaklı müfredatlar hazırlanmalı ve toplumla sürekli ilişkiler kurarak toplumu dönüştürücü ve geliştirici faaliyetlere daha fazla zaman ayrılmalıdır.

5. Yeşil Üniversiteler: GreenMetric Göstergeleri

Yeşil üniversiteler kavramı, yüksek öğretim

kurumlarının çevresel sürdürülebilirlik konusundaki sorumluluklarını yerine getirmesi ve yerleşke yaşamında sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmesi amacıyla ortaya çıkan bir yaklaşımdır (Ribeiro, 2021:2). Bu bağlamda, üniversitelerin çevresel performansını değerlendiren ve sürdürülebilirlik konusundaki ilerlemelerini ölçen uluslararası bir sıralama sistemi olan UI GreenMetric, bu alandaki en önemli araçlardan biridir. GreenMetric, 2010 yılında Endonezya Üniversitesi tarafından başlatılan kısa sürede dikkatleri üzerine çeken ve üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik performanslarını farklı göstergeler üzerinden değerlendiren ve bu sayede yeşil yerleşke oluşturma çabalarını teşvik eden küresel bir sıralama sistemi olarak ortaya çıkmıştır (Suwartha ve Sari, 2013:47).

GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik performansını altı ana kategori ve 39 gösterge altında değerlendirmekte olup ana kategoriler ve puanlamaya göre ağırlıkları şu şekildedir: Yapı ve altyapı (%15), enerji ve iklim değişikliği (%21), atık (%18), su (%10), ulaşım (%18) ve eğitim ve araştırma (%18). Bu göstergeler, üniversitelerin çevresel etkilerini azaltma ve sürdürülebilirlik ilkelerini hayata geçirme konusundaki çabalarını ölçmeye yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunmakta ve toplam 10.000 puan üzerinden değerlendirme yapılmaktadır (Zeybek ve Öztürk, 2023). Bu altı ana kategori ve içerikleri sırasıyla aşağıda açıklanacaktır:

Yapı ve altyapı göstergesi, üniversitelerin yerleşke alanlarının yeşil alanlar, açık alanlar ve sürdürülebilir bina yapılarıyla nasıl donatıldığını değerlendirmektedir. Bu gösterge, yeşil yerleşke tasarımı ve binaların enerji verimliliği gibi unsurlarını kapsamaktadır. Yeşil alanların artırılması, yerleşkelerin çevresel sürdürülebilirliğini desteklemenin yanı sıra, öğrenci ve personelin refahını da olumlu etkileyeceği söylenebilir.

Enerji ve iklim değişikliği kategorisi, üniversitelerin enerji tüketimini azaltma ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma konusundaki çabalarını değerlendirmektedir.

Bu gösterge, yerleşkelerde kullanılan enerji kaynaklarının çevresel etkilerini, enerji tasarrufu önlemlerini ve karbon ayak izini azaltma çabalarını ölçmektedir. İklim değişikliğiyle mücadelede üniversitelerin rolü, bu göstergenin temel odak noktalarından biri olarak kabul edilmektedir.

Atık yönetimi göstergesi, üniversitelerin atıkların azaltılması, geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi konusundaki uygulamalarını değerlendirmektedir. Bu kategori, atık yönetimi politikaları, geri dönüşüm programları ve tehlikeli atık yönetimi gibi unsurları içerirken üniversitelerin atık yönetiminde gösterdiği performans, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir.

Su kategorisi, üniversitelerin su tüketimini azaltma ve su kaynaklarını koruma konusundaki çabalarını değerlendirmektedir. Bu gösterge, su tasarrufu önlemleri, su geri kazanım sistemleri ve su kalitesinin korunması gibi unsurları kapsamakta, özellikle su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerdeki üniversiteler için kritik bir sürdürülebilirlik göstergesi olarak nitelendirilmektedir.

Ulaşım göstergesi, üniversitelerin sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunma ve karbon salınımını azaltma konusundaki performansını ölçmektedir. Bu kategori, yerleşke içinde ve dışında sürdürülebilir ulaşım seçenekleri, toplu taşıma sistemleri, bisiklet ve yaya yolları gibi unsurları kapsamakta ve yerleşkelerin karbon ayak izini azaltma konusunda önemli bir rol oynamaktadır.

Son olarak eğitim ve araştırma göstergesi, üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki eğitim ve araştırma faaliyetlerini değerlendirmektedir. Bu gösterge, sürdürülebilirlik alanında sunulan dersler, sürdürülebilirlik temalı araştırmalar ve öğrenci projeleri gibi unsurları içermektedir. Üniversitelerin sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlaştırılmasında ve her alanda farkındalık sahibi bir geleceğin oluşturulmasındaki performansı burada değerlendirilmektedir.

GreenMetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını ölçen küresel bir sıralama sistemi olarak tasarlanmıştır. Bu sistem, çevresel sürdürülebilirlik, altyapı, enerji kullanımı, atık yönetimi, su kaynakları yönetimi, ulaşım politikaları ve eğitim gibi çeşitli kriterleri değerlendirerek üniversiteleri başarı puanına göre sıralamaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik performansını ölçen farklı küresel indeksler de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Environmental Performance Index (EPI), Environmental and Social Sustainability Index (ESSI) ve Social Progress Imperative (SPI) olarak sıralanabilir. Bu indeksler, bazı yönleri ile GreenMetric sistemine benzerken bazı yönleri ile ayrılmaktadır. Bu benzerlikler ve farklılıkları aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür.

- Benzerlikler: GreenMetric, diğer sürdürülebilirlik indeksleri gibi çevresel performans ve sürdürülebilir kalkınma konularını temel alarak değerlendirmeler yapmaktadır. Örneğin, EPI de çevresel sağlık, ekosistem canlılığı ve sürdürülebilir kaynak yönetimi gibi faktörleri analiz etmektedir (Wending vd., 2018). Benzer şekilde, ESSI ve SPI, çevresel sürdürülebilirlik ile birlikte sosyal kalkınma ve ekonomik boyutları da ele almaktadır (Social Progress Imperative, 2023).

- Farklılıklar: GreenMetric özellikle yükseköğretim kurumlarına odaklanarak, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını karşılaştırmaktadır. Buna karşın, EPI genellikle ulusal düzeyde ülkelerin performanslarını ölçerken, ESSI ve SPI ise geniş bir sosyal ve ekonomik perspektiften sürdürülebilirlik değerlendirmeleri yapmaktadır. GreenMetric'in sunduğu değerlendirme metodolojisi, üniversitelere özgü metrikler içermesi açısından diğer indekslerden ayrılmaktadır.

Bu bağlamda, GreenMetric'in diğer indekslerle ilişkisi daha kapsamlı bir şekilde

ele alınarak, üniversitelerin sürdürülebilirlik politikalarını nasıl şekillendirdiğine dair daha bütüncül bir değerlendirme sunulabilir.

UI GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik alanındaki çabalarını sistematik bir şekilde değerlendirmekte ve bu alanda iyileştirmeler yapmalarını teşvik etmektedir. Yeşil üniversiteler, GreenMetric göstergeleri aracılığıyla, sürdürülebilirlik performanslarını ölçebilir, karşılaştırabilir ve bu doğrultuda stratejiler geliştirebilirler. Bu sayede, üniversiteler hem yerel hem de küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunabilecek ve daha yaşanabilir bir dünya inşa etme yolunda önemli adımlar atabilecektir (Amaral, vd., 2020:13).

6. GreenMetric Göstergelerinin BM Kalkınma Amaçları ile Olan İlişkisi

UI GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik performanslarını ölçen ve bu alandaki çabalarını değerlendiren bir sıralama sistemi olarak Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile güçlü bir ilişki içerisindedir. GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik stratejilerini şekillendirmelerine yardımcı olurken aynı zamanda BM'nin 2030 hedeflerine katkıda bulunmalarını da teşvik etmektedir (UI GreenMetric World University Ranking Guideline, 2023).



Şekil 2. GreenMetric göstergeleri ve sürdürülebilir kalkınma amaçları arasındaki ilişki (Ardalı ve Köksal, 2022)

GreenMetric'in altı ana göstergesi, BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın çeşitli boyutları ile karşılaştırıldığında başlıkların birbiri ile olan ilişkileri aşağıdaki gibi kurulabilir:

Altyapı göstergesi, SKA 11 olan "Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu gösterge, üniversitelerin yerleşke altyapısını sürdürülebilir bir şekilde yönetmesini, yeşil alanları artırmasını ve sürdürülebilir bina yapıları inşa etmesini teşvik etmektedir. Bu çabalar, şehirlerin ve toplulukların daha yaşanabilir ve çevre dostu hale gelmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Enerji ve iklim değişikliği göstergesi, SKA 7 olan "Erişilebilir ve Temiz Enerji" ve SKA 13 olan "İklim Eylemi" ile örtüşmektedir. GreenMetric, üniversitelerin enerji tüketimini azaltma, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma ve karbon ayak izini düşürme konusundaki çabalarını değerlendirmektedir. Bu göstergeler, üniversitelerin iklim değişikliğiyle mücadelede aktif rol almasını ve düşük karbonlu bir geleceğe geçişi desteklediği

söylenir.

Atık ve su göstergeleri, SKA 6 olan "Temiz Su ve Sanitasyon" ve SKA 12 olan "Sorumlu Üretim ve Tüketim" ile ilişkilendirilebilir. Bu göstergeler, üniversitelerin su tasarrufu yapma, atıkları azaltma ve geri dönüşüm uygulamalarını teşvik etmektedir. Bu doğrultuda, üniversiteler hem doğal kaynakları koruma hem de çevresel etkilerini minimize etme konusundaki sorumluluklarını yerine getirme çabası içinde olması gerekmektedir.

Ulaşım göstergesi, SKA 11'in yanı sıra SKA 9 olan "Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı" ile de ilişkili olduğu söylenebilir. Sürdürülebilir ulaşım çözümleri, üniversitelerin karbon ayak izini azaltmasına ve çevre dostu ulaşım seçeneklerini desteklemesine yardımcı olmaktadır. Bu göstergelerin, şehirlerin ve yerleşkelerin daha sürdürülebilir ulaşım altyapılarına sahip olması konusunda teşvik edici bir rol üstlendiği ifade edilebilir.

Son olarak; eğitim ve araştırma göstergesi, SKA 4 olan "Nitelikli Eğitim" ve SKA 17 olan "Amaçlar için Ortaklıklar" ile yakından

ilişkili olduğu görülmektedir. GreenMetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik konusunda eğitim ve araştırma faaliyetlerini değerlendirmekte, bu alandaki bilinci ve bilgi birikimini artırmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, üniversiteler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için nitelikli bireyler yetiştirme ve ulusal ile uluslararası iş birliklerini güçlendirmek konusunda önemli katkılar sunmaktadır.

7. Sürdürülebilirlikte Denetimin Rolü: Yeşil Denetim

Denetim, kurum ve kuruluşların faaliyetlerini, politikalarını ve finansal süreçlerini değerlendiren, çalışmalarına değer katan ve iyileştirme önerileri ile sonuçlarını raporlayan bir süreçtir. Sürdürülebilirlik alanında, denetim, çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) konularındaki performansın doğruluğunu ve şeffaflığını sağlamaya yöneliktir. Bu bağlamda, “yeşil denetim” kavramı, sürdürülebilirlik performansının bağımsız bir şekilde değerlendirilmesini ve raporlanmasını sağlayan bir denetim türü olarak öne çıkmaktadır. Yeşil denetim, kurumların çevresel etkilerini azaltma çabalarını, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmadaki ilerlemelerini ve bu alandaki uyumluluklarını değerlendirmektedir (Süküm, 2020:159).

Yeşil denetim ilk olarak 1970’lerin başında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde bazı şirketler tarafından “Temiz Hava ve Temiz Su Yasası” ile uyumlu olarak uygulanmaya başlanmıştır. Bu denetim süreci, ABD’nin ticari politikalarının bir gereği olarak başlamış olup merkezi politikalar ve kararlar neticesinde şekillenmiştir. İlerleyen zamanlarda, bu politikalar çevresel kayıplara yol açan şirketler için yasal bir zorunluluk haline getirilmiştir. ABD’nin çevresel tahribatı telafi etmek amacıyla kabul ettiği bu yasa, şirketler için büyük sorumluluklar taşımaktadır. Bundan kaçınmak amacıyla şirketler “Performans İncelemesi” ve “Uyum Denetimi” uygulayarak ilgili eylemleri hayata geçirmiştir. İngiltere’de ise özellikle British Petroleum (BP) öncülüğünde, 1975 yılında büyük şirketler ilk kez çevre denetimi yönergelerini hazırlayarak

bu sürece başlamışlardır. Ardından, 1989 yılında “Dünya Dostları Yerel Yönetimler için Çevre Sözleşmesi” yürürlüğe girdiğinde, bu denetim, ülkedeki yerel yönetim birimleri için bağlayıcı hale gelmiştir. 1992 yılında düzenlenen Rio Zirvesi’nde ele alınan çevresel konularda varılan mutabakatlar sonucunda, çevresel duyarlılık diğer ülkeler tarafından da benimsenmiş ve bu, küresel ölçekte çevre politikalarının yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. Zirvede kabul edilen sürdürülebilirlik kalkınma prensipleri, ülkelerin hem ekonomik kalkınmayı hem de çevrenin korunmasını eş zamanlı olarak gözetmeleri gerektiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda, birçok ülke çevre yönetimi ve denetimi konusunda daha sıkı düzenlemeler ve uygulamalar benimseyerek çevresel sorumluluklarını yerine getirme yolunda adımlar atmıştır (Patil, Langi ve Gurav, 2019: 133).

Yeşil denetim, sürdürülebilirlik uygulamalarının etkin bir şekilde denetlenmesini sağlamak için belirli kalite standartlarına dayanmaktadır. Bu standartlar, çevresel yönetim ve sürdürülebilir kalkınma alanlarında uluslararası düzeyde kabul gören çerçeveleri referans almaktadır.

• ISO 14001 (Çevre Yönetim Sistemi):

Yeşil denetim süreçlerinde en yaygın kullanılan kalite standartlarından biri ISO 14001’dir. Bu standart, kuruluşların çevresel etkilerini yönetmek ve sürekli iyileştirmek için bir çerçeve sunar (International Organization for Standardization, 2015).

• Global Reporting Initiative (GRI)

Standartları: Kurumsal sürdürülebilirlik raporlaması kapsamında, yeşil denetimde GRI standartları da kullanılmaktadır. GRI, çevresel ve sosyal performansın şeffaf bir şekilde raporlanmasını teşvik eden bir yapıdır (GRI, 2021).

• LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Sertifikasyonu:

Yeşil bina ve altyapı projelerinde yaygın olarak kullanılan LEED

sertifikasyonu, üniversitelerin kampüs binalarını sürdürülebilirlik ilkelerine uygun hale getirmeleri açısından önemli bir kriterdir (U.S. Green Building Council, 2020).

• **Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Sustainable Development Goals-SDGs):** Birçok üniversite, yeşil denetim süreçlerinde Birleşmiş Milletler'in belirlediği Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nı referans almaktadır. Bu amaçlar, sürdürülebilir ekonomi, sosyal adalet ve çevresel yönetimi kapsamaktadır.

Yeşil denetim süreçleri, yukarıda belirtilen standartlar doğrultusunda şekillenmekte olup, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını ölçerken belirli kalite kriterlerini göz önünde bulundurmaktadır. Bu nedenle, denetim süreçlerinin hangi standartlara dayandığının açıklanması, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin daha şeffaf ve güvenilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır.

Türkiye'deki yeşil denetim uygulamalarına bakıldığında, bu denetimlerin bağımsız denetim çerçevesinde değil; kurumların kendi bünyelerinde "iç denetim" olarak yürütüldüğü gözlemlenmektedir. Uluslararası iç denetim standartları doğrultusunda gerçekleştirilen yeşil denetim, kurumların çevresel hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayan bir yönetim aracı olup, iç denetçilere çevre denetimi konusunda nasıl bir değerlendirme yapmaları gerektiği hususunda yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır (Süklüm, 2020:160). Bununla birlikte 2003 yılında yürürlüğe giren 5018 sayılı Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanunu ile "iç denetim" kamu kurumları için yasal bir zemine kavuşturulmuştur. Bu kapsamda kamu iç denetçileri de görev yaptıkları kurumların denetim evrenine çevresel süreçleri de dahil ederek bu alanlarda "yeşil denetim" faaliyetleri de yürütebilmektedir.

İç denetimin bir parçası olarak kabul edilen yeşil denetim, bir kurumun veya kuruluşun çevresel performansını ve sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendirmekte ve

sonuçlarını etkileriyle birlikte üst yönetime sunmaktadır. Yeşil denetim, güvence hizmetleri kapsamında; raporlama metriklerini doğrulama, raporların mali açıklamalarla tutarlılığını kontrol etme, raporlama üzerine risk değerlendirilmesi yapma, iç kontrol ortamı oluşturma ve raporlama metrikleri önerme ve sürdürülebilirlik yönetimi hakkında rehberlik sağlayabilmektedir. Bununla birlikte danışmanlık hizmeti kapsamında ise; sürecin risklerini belirleme ve düzenli olarak yeniden değerlendirme, sürdürülebilir kurum kültürü oluşturma ve bu konudaki faaliyetleri ölçme ve raporlama süreçlerini kontrol etme hizmetleri sunabilmektedir (IIA, 2021). Yeşil denetimin, üniversitelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarında ve GreenMetric gibi önemli değerlendirme sistemlerinde yüksek puanlar almalarında önemli bir rol oynayabileceği ifade edilmektedir.

Yeşil denetimin temel amacı; bir kurumun sürdürülebilirlik politikalarının ve uygulamalarının etkinliğini ve doğruluğunu değerlendirmektir. Bu tür bir denetim, kurumların çevresel etkilerini, enerji ve kaynak tüketimini, atık yönetimi uygulamalarını ve karbon ayak izi gibi kritik göstergeleri ele almaktadır (Raju vd., 2023:593). Denetçiler, kurumlarının belirlenen çevresel standartlara ve yasal gerekliliklere uygun olup olmadığını kontrol ederken, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine ne ölçüde ulaşıldığını da değerlendirmektedir. Bu bağlamda, yeşil denetim, kurumların çevresel performansını objektif bir şekilde ölçerek, sürdürülebilirlik alanındaki zayıf noktaları belirleme ve iyileştirme fırsatları sunmaktadır.

Yeşil denetimin kurumlara sağladığı en önemli katkılardan biri sürdürülebilirlik raporlamasının güvenilirliğini artırmaktır. Kurumlar, sürdürülebilirlik performanslarını düzenli olarak raporlamakta ve bu raporlar genellikle yatırımcılar, hissedarlar, müşteriler ve diğer paydaşlar tarafından dikkatle incelenmektedir (Mahesha, 2012:77). Ancak, bu raporların doğruluğunun ve şeffaflığının yeşil denetim olmadan güvence altına alınması mümkün görünmemektedir. Bağımsız bir yeşil

denetim süreci, raporlanan bilgilerin gerçeği yansıttığını ve herhangi bir yanıltıcı bilginin bulunmadığını doğrulamaktadır. Bu, yatırımcı güvenini artırmakta ve kurumların sürdürülebilirlik alanındaki taahhütlerine olan inancı da pekiştirmektedir.

Yeşil denetim, aynı zamanda kurumların çevresel ve sosyal risklerini yönetmelerine de yardımcı olmaktadır. Denetim süreci sırasında, denetçiler, kurumların faaliyetlerinin çevresel ve sosyal etkilerini değerlendirmekte ve bu etkilerin nasıl yönetildiğini incelemektedir. Örneğin; enerji verimliliği, su tüketimi, atık yönetimi ve karbon emisyonları gibi alanlarda yapılan denetimler, kurumların bu konulardaki risklerini ve fırsatlarını daha iyi anlamalarına olanak tanımaktadır (Banu vd., 2023:350-351). Bu sayede kurumlar, sürdürülebilirlik stratejilerini güçlendirebilmekte ve uzun vadede çevresel ve sosyal risklerini minimize edebilmektedir.

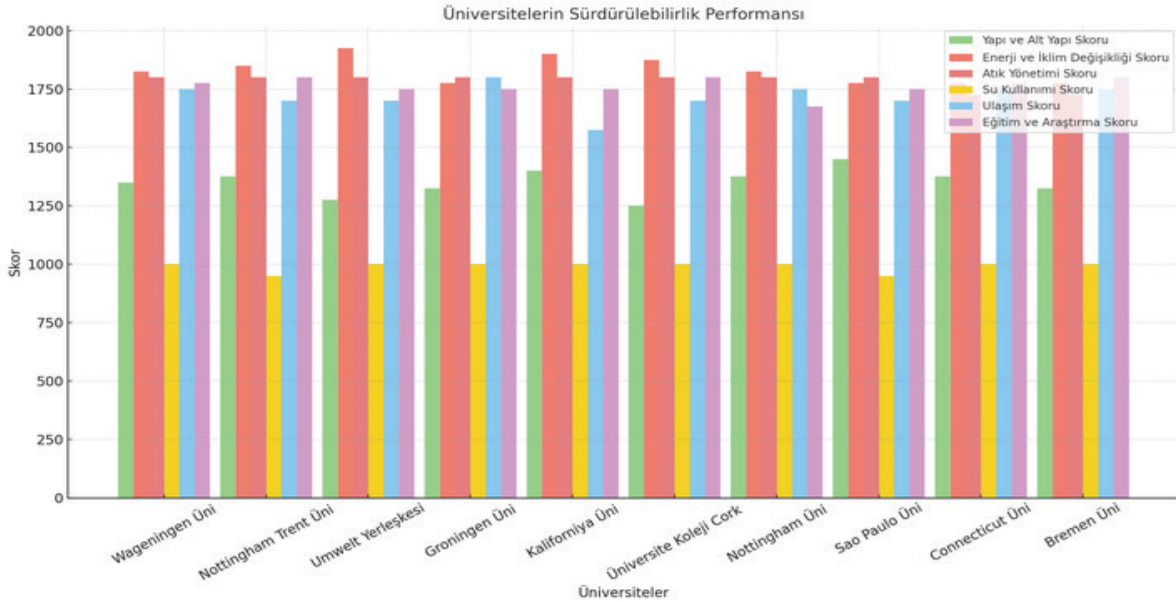
Yeşil denetim, sadece çevresel performansın değerlendirilmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda kurumların sürdürülebilirlik yönetişimi ve sosyal sorumluluk politikalarını da kapsamaktadır. Bu süreç, kurumların sürdürülebilirlik stratejilerini ne derece etkin bir şekilde yönettiklerini ve bu stratejilerin kurum kültürüne nasıl entegre edildiğini analiz etmektedir. Yeşil denetim, sürdürülebilirlik yönetim sistemlerinin etkinliğini değerlendirerek iyileştirme alanlarını belirlemekte ve kurumların sürdürülebilirlik hedeflerine daha etkin bir şekilde ulaşmalarına yardımcı olmaktadır (Yousef ve Al-Fatlawy, 2024:125).

Sonuç olarak; yeşil denetim, sürdürülebilirlik alanında önemli bir denetim aracı olarak kurumların çevresel, sosyal ve yönetim performanslarını değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Bu denetim türü, sürdürü-

lebilirlik raporlamasının doğruluğunu ve şeffaflığını artırmakla kalmamakta aynı zamanda kurumların çevresel ve sosyal risklerini yönetmelerine, sürdürülebilirlik stratejilerini güçlendirmelerine ve paydaşlarına karşı hesap verebilirliklerini sağlamalarına da yardımcı olmaktadır. Yeşil denetim, sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için kurumların vazgeçilmez bir aracı haline gelmekle birlikte bu alandaki önemi giderek artmakta olduğu değerlendirilmektedir.

8. Üniversitelerin GreenMetric İstatistikleri

Üniversiteler, sürdürülebilirlik alanında küresel ölçekte kendilerini değerlendirmek ve bu alandaki performanslarını geliştirmek amacıyla UI GreenMetric Dünya Üniversiteleri Sürdürülebilirlik Sıralaması'na katılmaktadır. GreenMetric, üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik performansını ölçmek amacıyla oluşturulmuş bir sıralama sistemidir ve altyapı, enerji ve iklim değişikliği, atık yönetimi, su kullanımı, ulaşım ve eğitim gibi çeşitli kriterleri esas alarak üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmektedir. GreenMetric, dünya çapında üniversitelerin sürdürülebilirlik alanındaki çabalarını kıyaslamak amacıyla en yaygın kullanılan kriterlerden biri olarak görülmekte ve üniversitelerin küresel ölçekte tanınırlığını ve prestijini artırmada da önemli bir rol oynamaktadır (Zeybek ve Öztürk, 2023). UI GreenMetric Dünya Üniversite Sıralamaları, 2023 yılında 84 ülkeden 1,183 katılımcı üniversite ile küresel bir ün kazanmış durumdadır. 2022'de 85 ülkeden 1,050 üniversite varken, 2023'te Burkina Faso, Kosova, Liberya ve Uruguay gibi yeni üye ülkeler de dahil olmuştur (GreenMetric, 2023).

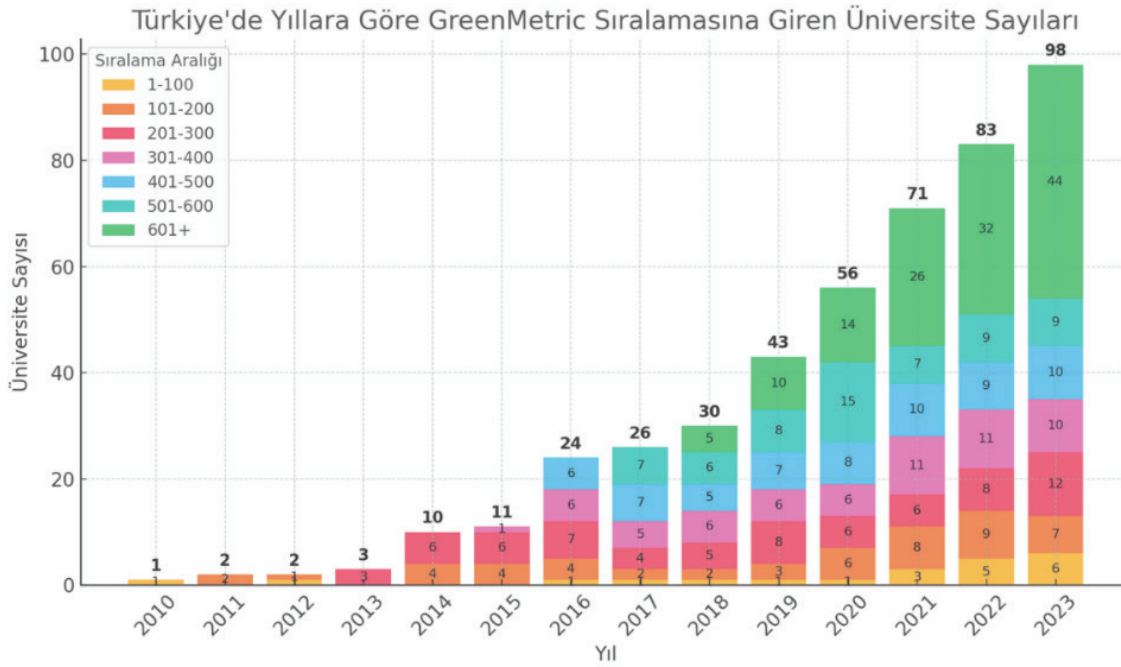


Şekil 3. 2023 UI GreenMetric dünya üniversiteler sıralaması (Yazar tarafından GreenMetric verilerin derlenmesi ile oluşturulmuştur.)

Şekil 3'te 2023 yılı UI GreenMetric Dünya Üniversiteler Sıralaması'nda yer alan ilk 10 üniversitenin skorları yer almaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; Wageningen Üniversitesi (Hollanda) 9500 puanla birinci sırada yer alırken bu üniversite özellikle enerji ve iklim değişikliği skoru ile ön plana çıktığı görülmektedir. Nottingham Trent Üniversitesi (Birleşik Krallık) 9475 puanla ikinci sırada yer alırken, Bielefeld Uygulamalı Bilimler Üniversitesi- Umwelt Yerleşkesi (Hollanda) 9450 puan ile üçüncü sırada ve enerji ve iklim değişikliğinde yüksek bir skoruna da sahiptir. Kategori bazında, Enerji ve İklim Değişikliği kategorisinde, Bielefeld Uygulamalı Bilimler Üniversitesi ve Kaliforniya Üniversitesi gibi üniversiteler 1925 ve 1900 puan alarak en yüksek puanlara ulaşmış durumdadır. Su Kullanımı Skoru genel olarak 1000 puanda sabitken, bazı üniversiteler (Nottingham Trent ve São Paulo Üniversitesi) biraz daha düşük puanda kalmışlardır. Eğitim ve Araştırma kategorisinde, Nottingham Trent ve Cork Üniversitesi gibi üniversiteler 1800 puan ile en yüksek skorları elde etmişlerdir. Ülke dağılımında ise; ilk on üniversite arasında Hollanda, ABD ve Birleşik Krallık ağırlıklı olarak yer almakta ve bu durum, bu ülkelerde sürdürülebilirliğe verilen önemi ortaya koymaktadır.

"2023 En Sürdürülebilir Üniversite" kategorisinin yanı sıra, UI GreenMetric tarafından "En Aktif Ulusal Koordinatör Üniversite" ödülünü Özbekistan'dan Buhara Devlet Üniversitesi'ne; "Ortadoğu'nun En Sürdürülebilir Üniversitesi" ödülünü Türkiye'den İstanbul Teknik Üniversitesi'ne; "En İyi Yeni Katılımcı Üniversite" ödülünü Özbekistan'dan Taşkent Devlet Pedagojik Üniversitesi'ne ve "En Sürdürülebilir Şekilde Geliştirilen Üniversite" ödülünü ise ABD'den California Eyalet Üniversitesi, Sacramento'ya verilmesi uygun görülmüştür (GreenMetric, 2023).

2023 itibarıyla Türkiye'den de çok sayıda üniversite GreenMetric sıralamasına katılmış ve bazı üniversiteler bu sıralamada yüksek performans sergilemiştir. Türkiye'deki üniversiteler, genellikle sürdürülebilir yerleşke uygulamaları, yenilenebilir enerji kullanımı, atık yönetimi ve çevresel eğitim alanlarında dikkat çekici iyileşmeler kaydetmiştir. Örneğin; bazı üniversiteler yerleşkelerindeki yeşil alanları artırması, enerji verimliliği projelerine yatırım yapması ve atıkların geri dönüşüm oranlarını artırmasıyla GreenMetric sıralamasında daha üst sıralarda kendilerine yer bulmuşlardır.



Şekil 4. 2023 UI GreenMetric Türk üniversiteler sıralaması (Yazar tarafından GreenMetric verilerinin derlenmesi ile oluşturulmuştur.)

2023 yılı UI GreenMetric sıralaması incelendiğinde Türkiye’deki üniversitelerin performansları şu şekilde ortaya çıkmıştır (Zeybek ve Öztürk, 2023):

2010 yılında düzenlenen UI GreenMetric sıralamasında, 95 üniversite arasından ilk kez bir Türk üniversitesi olarak Bilkent Üniversitesi 83. sırada yer almıştır. Sabancı ve Bilkent Üniversiteleri, 2011 ve 2012 yıllarında da sıralamaya dahil olmuşlardır. 2011 yılında Sabancı Üniversitesi 178 üniversite arasında 105. sıraya yerleşirken Bilkent Üniversitesi 83. sıradan 165. sıraya düşmüştür. 2012’de Sabancı Üniversitesi 144. sıraya yükselmiş, Bilkent Üniversitesi ise 209. sırada kendine yer bulmuştur. Sonraki yıllarda sıralamaya katılan Türk üniversitelerinin sayısında artışlar görülmüş 2021 yılında ilk kez ilk 100 içerisinde üç Türk üniversitesi yer almıştır. 2023 yılında GreenMetric’e katılan üniversiteler arasında Türkiye’den 98 üniversite yer almıştır. Bu üniversitelerden altısı ilk 100’e girerken 601. sıradan sonra 44 Türk üniversitesi sıralamada kendine yer bulmuştur. Türkiye’de toplamda 208 üniversite bulunmasına rağmen (129 devlet, 75 vakıf üniversitesi ve 4 vakıf meslek yüksekokulu) yalnızca 98’i bu yılki sıralamaya başvuru yapmıştır.

Sonuç olarak; Türkiye’deki üniversiteler, GreenMetric sıralaması sayesinde sürdürülebilirlik alanında kendi performanslarını küresel düzeyde değerlendirme fırsatı bulmaktadır. Bu sıralama, üniversitelerin çevresel ve sosyal sorumluluklarını yerine getirme çabalarını teşvik etmekte ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunmalarını sağlamaktadır. Türkiye’deki üniversitelerin GreenMetric performansları, gelecek yıllarda sürdürülebilirlik alanında yapılan yatırımlar ve geliştirilen stratejilerle daha da yükseleceği ön görülmektedir.

9. GreenMetric Ölçütlerine Yönelik Stratejiler

GreenMetric ölçütlerine yönelik stratejiler, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını artırmak ve küresel sıralamada daha üst sıralara yükselmek amacıyla geliştirdiği kapsamlı eylem planları ve politikalar dizisini içermektedir. Bu stratejiler, GreenMetric’in belirlediği altı ana göstergesine yönelik spesifik adımları kapsamaktadır. Bu stratejileri; “Enerji Verimliliğini Artırma, Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm, Su Kullanımı Yönetimi, Ulaşım ve Hareketlilik Yönetimi, Çevre Dostu İnisiyatiflerin Teşviki ve Yönetim ve Politika Geliştirme olarak sıralamak mümkün olabilecektir (Maçin, 2021:22; Amaral, vd., 2020:3).

Enerji Verimliliğini Artırma: Üniversite yerleşkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, güneş panelleri, güneş enerjili sokak aydınlatmaları, güneş enerjili su ısıtma sistemleri gibi güneş enerjisi projelerinin yanı sıra rüzgâr türbinleri ve rüzgar tarlalarının kurulumu ile rüzgar enerjisinden faydalanmayı içermektedir. Ayrıca biyokütle, atık enerji kullanımı, jeotermal enerji ile ısıtma ve soğutma sistemleri ile mikro hidroelektrik santrallerinin geliştirilmesi gibi yenilenebilir enerji çözümlerinin kullanımı da teşvik edilmesi gereken iyi bir uygulama olacaktır. Bu tür projeler, üniversitelerin hem enerji maliyetlerini düşürmesine hem de karbon ayak izini azaltmasına katkı sağlaması beklenmektedir (Akindeji, Tiako ve Davidson, 2019:4). Enerji verimliliği projeleri kapsamında ise; binaların yalıtım sistemlerinin iyileştirilmesi, enerji tasarruflu aydınlatma ve HVAC (ısıtma, havalandırma, iklimlendirme) sistemlerinin kullanılması önem arz etmekle birlikte bina otomasyon sistemleri ile enerji tüketiminin izlenmesi ve optimize edilmesi de mümkün olabilecektir. Ayrıca üniversiteler, karbon dengeleme projelerine katılarak ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik somut hedefler belirleyerek düşük karbon stratejileri geliştirebilmesi mümkündür. Bu çerçevede yerleşke faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salınımı ölçülerek karbon azaltım planları oluşturulabilir. Uzun vadede karbon nötrlüğü sağlama hedefi koyulabilir ve bu hedefe ulaşmak için ağaçlandırma ve yenilenebilir enerji yatırımları gibi karbon dengeleme yöntemleri de kullanılabilir (Aghamolaei ve Fallahpour, 2023:18).

Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm: Yerleşke genelinde sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin yaygınlaştırılması, geri dönüşüm programlarının etkin bir şekilde uygulanmasıyla mümkündür. Bu bağlamda kâğıt, plastik, cam ve elektronik atıkların ayrıştırılması için farkındalık yaratılması ve organik atıkların kompostlanarak yeniden kullanımının teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır (Giurea vd., 2024:9). Ayrıca eski bilgisayarlar, telefonlar ve diğer elektronik cihazlar için özel toplama noktalarının oluşturulması da bu stratejilerin bir parçası olarak değerlendiril-

mektedir. Bunun yanı sıra öğrenci ve personel arasında sürdürülebilir tüketim ve atık azaltma bilincini artırmak amacıyla düzenlenecek eğitimler ve kampanyalar atık miktarını önemli ölçüde azaltabilir. Tehlikeli atıkların yönetiminde ise; kimyasal ve biyolojik atıkların çevreye zarar vermeden güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi için uygun protokoller ve bütünleşik denetim yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir (Haksevenler, 2023:67).

Su Kullanımı Yönetimi: Su kullanımı yönetimi, üniversite yerleşkelerinde sürdürülebilir bir yaklaşım benimsemek için hayati öneme sahiptir. Bu kapsamda, yağmur suyu toplama sistemleri, gri su kullanımı ve düşük su tüketimli armatürlerin yerleşke genelinde yaygınlaştırılması, su tasarrufu sağlayan teknolojilerin entegrasyonunu artıracaktır. Ayrıca, akıllı su izleme sistemleri sayesinde su tüketiminin sürekli takip edilmesi ve optimize edilmesi mümkün hale gelebilecektir. Peyzaj alanlarında ise; suyun verimli bir şekilde kullanılabilmesi için damla sulama sistemleri ve akıllı sulama çözümleri uygulanmalıdır. Bunun yanı sıra su tüketiminin azaltılması ve yönetimi konularında farkındalık oluşturmak amacıyla düzenli eğitimler ve bilgilendirme etkinlikleri gerçekleştirilmelidir. Bu stratejiler hem su kaynaklarının korunmasına hem de yerleşkelerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Mulyono vd., 2021).

Ulaşım ve Hareketlilik: Ulaşım ve hareketlilik yönetimi, üniversite yerleşkelerinde sürdürülebilir bir çevre oluşturma temel unsurlarından biridir. Bu bağlamda, bisiklet yollarının inşa edilmesi, bisiklet park alanlarının artırılması ve yerleşke içinde elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca toplu taşıma seçeneklerinin iyileştirilmesi ve yerleşke içindeki araç kullanımının azaltılması da bu sürdürülebilir ulaşım stratejisinin önemli bileşenlerindendir (Zhu, vd., 2018:2). Bunun yanı sıra yerleşke genelinde araç paylaşım uygulamalarının geliştirilmesi hem araç sayısını azaltması hem de karbon emisyonlarını düşürmesi ile çevresel etkileri minimize etme

fırsatı sunabilecektir. Elektrikli araçlar için şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması ve bu araçların kullanımını teşvik eden politikaların oluşturulması, temiz enerji kaynaklarının benimsenmesini artıracak ve yerleşkelerin karbon ayak izini azaltacaktır (Bediroğlu ve Genç, 2024:1203). Bu stratejilerin bir arada uygulanması, üniversite yerleşkelerinin daha sürdürülebilir bir ulaşım ağına sahip olmasına yolunda önemli bir gelişim kaydedeceği ve öğrencilerin ve personelin yerleşkede yaşam kalitelerinin artırılacağı söylenebilir.

Çevre Dostu İnisiyatiflerin Teşviki: Çevre dostu inisiyatiflerin teşviki üniversitelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında diğer bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda üniversiteler yeşil bina sertifikaları almak ve çevre dostu inşaat uygulamalarını benimsemek için stratejiler geliştirebilirler. Örneğin; yeşil çatılar, enerji tasarruflu binalar ve sürdürülebilir peyzaj uygulamaları, yerleşkelerin çevresel etkilerini azaltmak için etkili yöntemler olarak değerlendirilebilir. Ayrıca müfredata sürdürülebilirlik ile ilgili derslerin entegre edilmesi ve öğrencilerin çevre dostu projelere katılımının teşvik edilmesi, gelecekteki karar alıcıların çevresel konularda bilinçlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik konusunda yapılan araştırmaların artırılması ve bu alanda iş birliklerinin geliştirilmesi de önemli bir unsurdur. Bununla birlikte çevre dostu davranışları teşvik eden farkındalık kampanyaları, gönüllülük projeleri ve öğrenci toplulukları aracılığıyla sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlaştırılması sağlanabilir (Ja'afar, 2023:7).

Yönetim ve Politika Geliştirme: Üniversitelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için etkili bir yönetim sistemi geliştirmesi elzem olarak görülmektedir. Bu sürdürülebilirlik yönetim sistemleri, çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) kriterlerini göz önünde bulundurarak stratejiler oluşturmalı ve düzenli olarak performans izlemeleri yapılmalıdır. Ayrıca enerji tasarrufu, atık yönetimi ve su kullanımıyla ilgili çevre dostu ve sürdürülebilirlik odaklı politika ve yönergelerin geliştirilmesi, üniversitelerin bu hedef-

lere ulaşmasını kolaylaştıracaktır. Sürdürülebilirlik performanslarının düzenli olarak raporlanması, üniversitelerin şeffaflıklarını artırmalarına ve paydaşlarıyla etkili bir iletişim kurmalarına da olanak tanımaktadır. Bu raporlar, sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeye yardımcı olmakta ve stratejik kararların alınmasına katkıda bulunmaktadır (Bice ve Coates, 2016:14-15).

Türkiye’de sürdürülebilirlikle ilgili çalışmalar hem özel hem de kamu sektöründe uygulamaya devam edilmekte ve bu doğrultuda ilerlemelerin sağlandığı görülmektedir. Son yıllarda, kamu kaynaklarının verimli kullanılması ve enerji maliyetlerinin kamu sektörü üzerindeki yükünün hafifletilmesi amacıyla Cumhurbaşkanlığı’nca enerji tasarrufu hareketi başlatılmıştır. 2020-2023 yıllarını kapsayan ilk dönemde dönem sonuna kadar %15’lik bir enerji tasarrufu hedeflenirken, 2024-2030 yıllarını kapsayan ikinci dönem sonunda ise enerji tasarruf oranı %30 olarak belirlenmiştir. Üniversitelerin de dahil olduğu bu süreçte 10.000 m2 üzeri inşaat alanına sahip veya yıllık enerji tüketimi 250 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olan kampüslerin kapsama alındığı görülmektedir. Tüm kamu kurumları gibi üniversiteleri de bağlayan bir “Kamu Binalarında Enerji Tasarruf Hedefi ve Uygulama Rehberi” yürürlüğe konulmuş ve her iki dönem için enerji verimliliği önlemleri belirtilerek bunların yerine getirilmesi hüküm altına alınmıştır. Bu bağlamda, bu önlemlerin üniversitelerce yerine getirilmesi halinde hem enerji tasarrufu sağlanmasında hem de GreenMetric gibi uluslararası önemli değerlendirme kuruluşları tarafından yüksek bir skor elde edilmesinde önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, üniversitelerde sürdürülebilirlik ve yeşil denetim uygulamalarının önemi üzerinde durularak, UI GreenMetric göstergeleri çerçevesinde bu kavramların incelenmiştir. Günümüz dünyasında sürdürülebilirlik, sadece çevresel koruma amacıyla sınırlı kalmayıp ekonomik kalkınma ve sosyal

adalet ile de entegre edilmiş, çok boyutlu bir yaklaşım haline gelmiştir. Üniversiteler, bu sürdürülebilirlik anlayışının en önemli uygulayıcıları ve yaygınlaştırıcıları olarak konumlanmakta; eğitim, araştırma ve toplumsal hizmet fonksiyonlarıyla bu sürecin merkezinde yer almaktadır.

GreenMetric gibi küresel sıralama sistemleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını detaylı ve objektif bir şekilde ölçerek, bu kurumların hem iç hem de dış paydaşlarına hesap verebilirliğini artırmaktadır. Bu bağlamda GreenMetric sıralaması üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik çabalarını bir dizi göstergeler ile ölçerken, yapı ve altyapı, enerji kullanımı, su tasarrufu, atık yönetimi ve ulaşım gibi kritik alanlarda performanslarını değerlendirmektedir. Ayrıca GreenMetric'in sunduğu bu objektif değerlendirme, üniversitelerin karşılıklı öğrenme ve iyileştirme süreçlerini hızlandırarak, sürdürülebilirlik stratejilerinin daha etkili bir şekilde uygulanmasına katkı sunmaktadır.

Üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki katkıları sadece yerleşke içi operasyonlarla sınırlı kalmamalıdır. Bu kurumlar; çevre dostu teknolojiler ve sürdürülebilir iş modelleri gibi alanlarda gerçekleştirdikleri araştırmalarla, topluma ve iş dünyasına da yön vermektedir. Bu anlamda üniversitelerin araştırma ve geliştirme faaliyetleri, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada temel bir rol oynamaktadır. Üniversitelerin yürüttüğü araştırmalar, özellikle enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, su yönetimi ve atıkların geri dönüşümü gibi alanlarda yenilikçi çözümler üretmektedir. Bu çözümler hem yerel hem de küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Yeşil denetim uygulamaları ise; sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliğini artıran önemli bir denetim aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu denetim türü üniversitelerin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik politikalarının objektif bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Yeşil denetim sayesinde üni-

versiteler, enerji tüketimi, karbon ayak izi, atık yönetimi, su kullanımı gibi alanlardaki sürdürülebilirlik performanslarını daha iyi izleyebilmekte ve eksik yönlerini tespit edebilmektedir. Ayrıca yeşil denetim süreçleri, sürdürülebilirlik raporlamalarının doğruluğunu ve şeffaflığını artırarak, üniversitelerin hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sürdürülebilirlik çabalarına olan güveni pekiştirmektedir. Bu sayede üniversiteler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yolunda somut adımlar atabilmekte ve bu alandaki eksikliklerini giderme konusunda daha etkili stratejiler geliştirebilmektedir.

Bunun yanı sıra Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile güçlü bir ilişki içinde olan GreenMetric göstergeleri, üniversitelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmalarına rehberlik etmektedir. Üniversiteler yerleşke yönetimi, eğitim ve araştırma faaliyetlerinde SKA'lara yönelik stratejiler geliştirmekte, bu stratejilerle çevresel ve toplumsal sürdürülebilirliği sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. SKA'ların ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik boyutları ile örtüşen GreenMetric kriterleri, üniversitelerin küresel sürdürülebilirlik hedeflerine olan katkılarını güçlendirmekte ve bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak; sürdürülebilirlik ve yeşil denetim, üniversitelerin gelecekte daha yeşil ve yaşanabilir bir dünya inşa etmesine katkı sağlayacak stratejik araçlar olarak öne çıkmaktadır. UI GreenMetric gibi sıralama sistemleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını ölçmekte ve bu süreçteki ilerlemeleri teşvik etmektedir. Üniversitelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik bu çabaları, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak daha adil, kapsayıcı ve çevre dostu bir dünya yaratmada büyük bir rol oynayacaktır.

Kaynakça

- Abo-Khalil, A. G. (2024). Integrating sustainability into higher education challenges and opportunities for universities worldwide. *Heliyon*, 10(9), e29946. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29946>.
- Aghamolaei, R., ve Fallahpour, M. (2023). Strategies towards reducing carbon emission in university campuses: A comprehensive review of both global and local scales. *Journal of Building Engineering*, 76, 107183. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107183>.
- Akalın, M. (2015). Sosyal sürdürülebilirliğin kentsel dönüşüm projeleri içerisindeki yeri: Adana Belediye Evleri Mahallesi örneği. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(7), 55-80.
- Akindeji, K. T., Tiako, R., ve Davidson, I. E. (2019). Use of renewable energy sources in university campus microgrid – A review. *Domestic Use of Energy Conference*, Wellington. https://www.researchgate.net/publication/333103644_Use_of_Renewable_Energy_Sources_in_University_Campus_Microgrid_-_A_Review adresinden 2 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- Amaral, A. R., Rodrigues, E., Rodrigues, A., ve Gomes, A. (2020). A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>
- Ardalı, Y., ve Köksal, Ö. (2022). Yeşil ölçüm göstergeleri kapsamında sürdürülebilir üniversite modelinin performans değerlendirmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 2(1), 49-66.
- Ávila, L. V. (2017). Barriers to innovation and sustainability at universities around the world. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1268-1278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.025>
- Ballı, A. (2019). Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir girişimcilik ve Türkiye’de sürdürülebilir girişimcilik. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(29), 464-483. <https://doi.org/10.20875/makusobed.586555>
- Banu, S., vd. (2023). Importance and benefits of green audits to education institutions and industrial sectors. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(12), 349-356.
- Barron, P., vd. (2023). Social sustainability in development: Meeting the challenges of the 21st century. *New Frontiers of Social Policy*. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1946-9.
- Bediroğlu, G., ve Gençer, Y. G. (2024). Elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(91), 1192-1209. <https://doi.org/10.17755/esosder.1452405>.
- Bice, S., ve Coates, H. (2016). University sustainability reporting: Taking stock of transparency. *Tertiary Education and Management*, 22(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/13583883.2015.1115545>.
- Birleşmiş Milletler. (2024). *United Nations goals for sustainable development*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> adresinden 11 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- Birleşmiş Milletler. (2024). Sürdürülebilir kalkınma amaçları. <https://turkiye.un.org/tr/> adresinden 24 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- Boar, A., Bastida, R., ve Marimon, F. (2020). A systematic literature review. Relationships between the sharing economy, sustainability and sustainable development goals. *Sustainability*, 12(17), 6744. <https://doi.org/10.3390/su12176744>
- Brundtland, G. H. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future. *Oxford University Press*.
- Dewi, N. F., Nur Alif, F. A. , ve Hwihanus. (2024). Green Economy: Innovations and Challenges in the Transition to Sustainability. *JIMU: Jurnal Ilmiah Multidisipliner*, 2(3), 475-485. <https://doi.org/10.70294/jimu.v2i03.395>
- Filho, W. L., vd. (2019). Implementing innovation on environmental sustainability at universities around the world. *Sustainability*, 11(14), 3807. <https://doi.org/10.3390/su11143807>
- Garanti, Z. (2020). Sürdürülebilirlik farkındalığının etkisi ve sürdürülebilir moda giysilerini satın alma niyetine yönelik tutum: Sürdürülebilirliğe yönelik bağlılığın arabulucu rolü. *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 29-48.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- Giovannoni, E., ve Fabietti, G. (2013). What is sustainability? A review of the concept and its applications. *Integrated Reporting*, 21-40. doi:10.1007/978-3-319-02168-3
- Giurea, R. (2024). Approaching sustainability and circularity along waste management systems in universities: An overview and proposal of good practices. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1363024. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1363024.
- Gorpe, T. S., ve Masamreh, A. (2023). Commitment to sustainability: How sustainability is reflected in UAE universities: An exploratory study. *Journal of Sustainability Perspectives*, 3(2), 121-133. <https://doi.org/10.14710/jsp.2023.20512>
- Göktaş, V., ve Chowdury, S. R. H. (2019). The role of sustainable development goals on environmental sustainability: a discourse from an islamic perspective. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(5), 279-295.
- GreenMetric. (2023). Global recognition: 2023 UI GreenMetric World University Rankings results and awarding ceremony. <https://greenmetric.ui.ac.id/wp-content/uploads/2023/12/Press-Release-Announcement-2023.pdf> adresinden 25 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- GRI (2021). Global Reporting Initiative Standards. Retrieved from <https://www.globalreporting.org> adresinden 10 Mart 2025 tarihinde alınmıştır

- Haksevenler, B. H. G. (2023). Türkiye’de tehlikeli atık yönetiminin mevcut durumunun değerlendirilmesi. *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(28), 52-70.
- Hariram, N. P., Mekha, K. B., Suganthan, V., ve Sudhakar, K. (2023). Sustainalism: An integrated socio-economic-environmental model to address sustainable development and sustainability. *Sustainability*, 15(13), 10682. <https://doi.org/10.3390/su151310682>
- IIA - The Institute of Internal Auditors. (2021). Internal audit’s role in ESG reporting. <https://www.theiia.org/globalassets/documents/communications/2021/june/white-paper-internal-audits-role-in-esg-reporting.pdf> adresinden 9 Ekim 2024 tarihinde alınmıştır.
- International Organization for Standardization (2015). ISO 14001: *Environmental Management Systems*. Geneva: ISO.
- Islam, S. M. N., Munasinghe, M., ve Clarke, M. (2003). Making long-term economic growth more sustainable: Evaluating the costs and benefits. *Ecological Economics*, 47(2-3), 149-166.
- Ja’afar, R. (2023). Green campus initiatives at Rahim Kajai College: Students’ perspective. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 8(7), e002418. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i7.2418>
- Maçın, K. E. (2021). UI GreenMetric ranking performance analysis of universities in Turkey: Suggestions towards to becoming green campuses. *7th International Conference on Sustainable Development*, October 13-17, 16-24.
- Mahesha, V. (2012). Elucidation of green audit: Panoromic vision. *SCMS Journal of Indian Management*, 9(7), 75-79.
- Morelli, J. (2011). Environmental sustainability: A definition for environmental professionals. *Journal of Environmental Sustainability*, 1(1), Article 2. DOI: 10.14448/jes.01.0002
- Mulyono, P., vd. (2021). Water management in UGM for resilient and healthy campus. *Journal of Sustainability Perspectives*, 215-224.
- Muniz, R. N., vd. (2023). The sustainability concept: A review focusing on energy. *Sustainability*, 15(19), 14049. <https://doi.org/10.3390/su151914049>
- Patil, S., Lang, B., ve Gurav, M. (2019). Green audit in academic institutes. *International Journal of Multidisciplinary Educational Research*, 8(6), 131-145.
- Polese, M., ve Stren, R. (Eds.). (2000). The social sustainability of cities: Diversity and the management of change. *University of Toronto Press*.
- Purvis, B., Mao, Y., ve Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Raju, C. R., vd. (2023). A green audit of the institution: A step towards environmental sustainability. *Biological Forum – An International Journal*, 15(6), 592-598. https://www.researchgate.net/publication/372372189_A_Green_Audit_of_the_Institution_A_Step_Towards_Environmental_Sustainability adresinden 13 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- Ribeiro, J. M. P. (2021). Green campus initiatives as sustainable development dissemination at higher education institutions: Students’ perceptions. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127671. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127671>
- Seixas, J., ve Rodrigues, J. L. (2023). A whole-institution approach towards sustainability at NOVA University: A tangled web of engagement schemes. *Journal of Sustainability Perspectives*, 3(1), 99-107. <https://doi.org/10.14710/jsp.2023.19969>
- Shukla, T. D., vd. (2023). Alignment of India’s National Education Policy 2020 with the United Nations’ Sustainable Development Goals: A path towards quality education for all. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(03), 049–054.
- Social Progress Imperative (2025). *Social Progress Index*. Retrieved from <https://www.socialprogress.org>, 8 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Suklun, H., ve Bengü, E. (2024). Raising awareness of sustainable development goals in higher education institutions. *Research in Educational Administration and Leadership*, 9(1), 39-72. <https://doi.org/10.30828/real.1357661>
- Suwartha, N., ve Sari, R. F. (2013). Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: Assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production*, 61, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.034>
- Süklüm, N. (2020). Kurumsal sosyal sorumluluk, yeşil muhasebe ve yeşil denetim ilişkisine kavramsal bir bakış. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, TBMM 100. Yıl Özel Sayısı, 151-163. DOI: 10.33905/bseusbed.752576
- Telsaç, C. (2022). Yoksulluk ve sürdürülebilir kalkınma. İzci, B. G. Sevinçli, K. Demirci (Ed.) *Sosyo-ekonomik boyutlarıyla yoksulluk gerçeği içinde* (p. 152-188). Ekin Yayıncılık.
- Too, L., ve Bajracharya, B. (2015). Sustainable campus: Engaging the community in sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1), 57-71. <http://dx.doi.org/10.1108/IJSHE-07-2013-0080>
- UI GreenMetric World University Rankings Guideline. (2023). Innovation, impacts and future direction of sustainable universities. <https://greenmetric.ui.ac.id/publications/guidelines/2021/english> adresinden 22 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- U.S. Green Building Council (2020). LEED v4.1 Building Design and Construction. Washington, D.C.: USGBC.
- Van Niekerk, A. J. (2020). Inclusive economic sustainability: SDGs and global inequality. *Sustainability*, 12(13), 5427. <https://doi.org/10.3390/su12135427>
- Velazquez, L., vd. (2006). Sustainable university: What can be the matter? *Journal of Cleaner Production*, 14(9-11), 810-819.
- Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A., Esty, D. C., et al. (2018). Environmental Performance Index. Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Woodcraft, S. (2012). Social sustainability and new communities: Moving from concept to practice in the UK. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.204>

- Yousef, H. H., ve Al-Fatlawy , A. K. (2024). The Role of Green Auditing in Realizing Environmental Sustainability. *Jurnal Nuansa : Publikasi Ilmu Manajemen Dan Ekonomi Syariah*, 2(3), 124–132. <https://doi.org/10.61132/nuansa.v2i3.1106>
- Zeybek, B., ve Öztürk, İ. D. (2023). Üniversitelerin sürdürülebilirliği: UI GreenMetric ve Türkiye’deki üniversitelerin değerlendirilmesi. <https://yesilbuyume.org/universitelerin-surdurulebilirliigi-ui-greenmetric-ve-turkiyedeki-universitelerin-degerlendirilmesi/> adresinden 15 Eylül 2024 tarihinde alınmıştır.
- Zhu, L. (2019). Research and suggestions on the present situation of shared bicycle parking spot on university campus. *MATEC Web of Conferences*, 267, 04015. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926704015>
- Ziaul, I. M. ve Shuwel, W. (2022). Environmental sustainability: A major component of sustainable development. *International Journal of Environmental Sustainability and Social Sciences*, 4(2), 620-627.

Yeşil Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Biyogaz Üretiminde Alternatif Enerji Kaynakları

Mesut Yaşar¹ 

Burak Güngörmüş 

*Sorumlu Yazar: yasarmesut10@gmail.com

burak.gungormus@varaka.com

Varaka Kağıt Sanayi A.Ş. Paşaköy Mahallesi, 49500 Cadde No:66 Balıkesir, Türkiye

<https://orcid.org/0009-0006-7951-7839>

Geliş Tarihi: 11.02.2025 / Kabul Tarihi: 21.05..2025

Özet

Biyogaz, organik atıkların anaerobik ortamda mikroorganizmalar aracılığıyla metan gazına dönüştürülmesiyle elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon ayak izinin azaltılması, çevrenin korunması, dışa bağımlılığın azaltılması ve istihdam yaratılması gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Artan nüfus ve sanayileşme, enerji talebini artırarak mevcut kaynakların sınırlılığı ve dengesiz dağılımı gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların aşılabilmesi için geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı rezervlere sahip olması ve iklim değişikliğine yol açarak gezegenimizin dengesini bozması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmeli; ayrıca, kaynakların kısıtlı olması nedeniyle ortaya çıkan atıkların hammadde olarak değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Biyokütle, her bölgede bulunabilen bir kaynak olup, dışa bağımlılığı azaltarak enerji ve katma değerli ürün üretimine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, yerel istihdamı desteklemekte, kırsal kalkınmayı teşvik etmekte ve çevresel koşulların iyileştirilmesine katkıda bulunarak yaşam kalitesini artırmaktadır. Biyogaz tesislerinin temel amacı atıkların bertaraf edilmesi olup, elde edilen biyogazın elektrik üretiminde kullanılmasıyla işletmelerin kârlılığı artırılmaktadır. Ayrıca, organik atıklardan biyogaz üretimi, katı ve sıvı gübre üretimini de içermektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen materyaller, biyogaz üretimini daha sürdürülebilir ve verimli hale getirmekte; altyapı ve teknolojik gelişmeler ile süreçlerin daha çevre dostu olması sağlanmaktadır. Yeşil dönüşüm süreçlerinin biyogaz üretimi üzerindeki olumlu etkileri, bu alandaki araştırmaların önemini artırmıştır. Bu çalışmada, alternatif materyallerin biyogaz üretimine katkıları ele alınmış ve bu materyallerin gelecekteki kullanımına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık, biyogaz, proses, sürdürülebilirlik

Alternative Energy Sources in Biogas Production from the Perspective of Green Transformation and Sustainability

Mesut Yaşar¹ 

Burak Güngörmüş 

*Corresponding Author: yasarmesut10@gmail.com

burak.gungormus@varaka.com

Varaka Kağıt Sanayi A.Ş. Paşaköy Mahallesi, 49500 Cadde No:66 Balıkesir, Türkiye

<https://orcid.org/0009-0006-7951-7839>

Arrival Date: 11.02.2025 / Accepted Date: 21.05.2025

Abstract

Biogas is a renewable energy source that is obtained through the conversion of organic waste into methane gas by microorganisms in an anaerobic environment. Various advantages are offered by renewable energy sources, including the reduction of carbon footprint, environmental protection, the decrease in external dependency, and job creation. The increasing population and industrialization have led to a rise in energy demand, resulting in issues such as the limited availability and uneven distribution of existing resources. To overcome these challenges, the use of renewable energy sources should be encouraged due to the finite reserves of traditional

*Sorumlu Yazar

energy sources and their contribution to climate change, which disrupts the balance of the planet. Additionally, the reuse of waste as raw material should be ensured due to resource limitations. Biomass is a resource that can be found in every region and contributes to energy production and the development of value-added products while reducing external dependency. Furthermore, local employment is supported, rural development is promoted, and environmental conditions are improved, thereby enhancing the quality of life. The primary purpose of biogas plants is the disposal of waste, while the biogas obtained is utilized for electricity generation, increasing the profitability of businesses. Moreover, the production of biogas from organic waste also includes the generation of solid and liquid fertilizers. Materials derived from renewable sources enhance the sustainability and efficiency of biogas production, while advancements in infrastructure and technology contribute to making processes more environmentally friendly. The positive effects of green transformation processes on biogas production have increased the significance of research in this field. In this study, the contributions of alternative materials to biogas production have been examined, and recommendations regarding their future utilization have been provided.

Keywords: Waste, biogas, process, sustainability

1. Giriş

Yenilenebilir enerjiler, enerji güvenliğini artırma, ithalatı azaltma ve sera gazı emisyonlarını düşürme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. (Lopez vd., 2024). Yenilenebilir enerjilerden olan biyogaz, çeşitli organik atıkların biyokimyasal reaksiyonlarla parçalanması yoluyla metan (CH_4) ve CO_2 gibi gazların üretilmesini içerir (Demirbaş ve Yıldız, 2021). Başka bir ifadeyle, organik hammaddelelerden üretilen yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Saflaştırıldığında doğalgaza alternatif olarak kullanılabilir, fosil yakıt bağımlılığını azaltır ve karbon emisyonlarını düşürür. Ayrıca, üretim sürecinde oluşan yan ürünler tarımda gübre olarak değerlendirilebilir, böylece döngüsel ekonomi desteklenir. Artan enerji ihtiyacı ve çevresel sorunlar göz önüne alındığında, biyogazın kullanım alanlarının genişletilmesi ve teknolojik gelişiminin hızlandırılması gerekmektedir (Ojolo ve ark., 2007). Fosil yakıtlar yenilenemez ve aşırı kullanımları, tükenmeye ve sürdürülemez enerji bağımlılığına yol açar. Bunların yanması, sera gazları salarak küresel ısınma ve çevresel bozulmaya sebep olur (Hossain vd., 2025). Sürdürülebilirlik ve yeşil dönüşüm perspektifinden bakıldığında ise, biyogaz üretimi çevresel etkilerin azaltılmasına önemli bir katkı sağlar. Farklı organik kaynaklardan elde edilen bi-

yogaz, atık yönetimi, enerji üretimi ve çevre koruma gibi avantajlar sunar. Bu süreç, fosil yakıtların kullanımını azaltarak karbon ayak izini düşürürken, atıkların verimli bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Dünya nüfusunun artışıyla birlikte enerji tüketimi de hızla yükselmektedir. Fosil yakıtların tükenebilir olması, gelecekte enerji arzında ciddi sorunlara yol açabilecek olup, kaynakların aşırı kullanımı ise iklim değişikliğini daha da belirgin hale getirmektedir. Bu durum, hem insan yaşamını hem de doğal dengeyi olumsuz etkileyerek, sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Sözer ve ark., 2016). Son yıllarda, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma amacıyla biyogaz üretimi, sürdürülebilir enerji stratejilerinin önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. Biyogaz kavramı, toplumların yaşam standartlarını ve refah seviyelerini belirleyen temel bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim süreçlerindeki kullanımından evlerde kullanımına, ulaşımdan sağlık ve güvenlik konularına kadar birçok alanda kendine yer bulmaktadır. İş yapabilme yeteneği olarak bilinen enerji kavramı, farklı yapılarda olabilir ve çeşitli yöntemlerle farklı kavramlara dönüştürülebilir. Bu tür enerji çeşitleri; mekanik, ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer enerji olarak gruplandırılabilir (Demir, 2024). Enerji, sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler gibi konularda da önemli

bir role sahiptir. Fosil yakıtlardan kaynaklanan sorunlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinerek, enerji verimliliği artırma ve karbon azaltma çalışmaları yapılarak enerji kullanımının daha sürdürülebilir hale getirilmesini hedeflemektedir. Toplamların enerji kullanımını dengeli ve etkili bir şekilde yönetmeleri, refah seviyelerini yükseltmeleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel enerji kaynaklarına alternatif olarak önem kazanan, yenilenebilir enerji kaynakları; hidroelektrik enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gel-git enerjisi, okyanus ısısı enerjisi, hidrojen enerjisi, biyokütle ve biyogaz enerjisidir (Çanka Kılıç, 2011).

Bilimsel araştırmalar, dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olduğunu ve mevcut tüketim hızıyla birlikte bu rezervlerin belirli bir süre içinde tükenme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Fosil yakıt türleri ve yaklaşık tükenme süreleri ise şu şekilde verilmiştir:

- **Petrol:** Petrol rezervleri, mevcut tüketim hızıyla değerlendirildiğinde yaklaşık 45-50 yıl gibi bir süre içinde tükenme eğilimindedir. Petrol, enerji sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir, bu nedenle alternatif enerji kaynaklarına yönelme önemlidir (IEA, 2023).
- **Doğal gaz:** Doğal gaz rezervleri, bugünkü tüketim hızıyla değerlendirildiğinde yaklaşık 65-70 yıl kadar bir süre içinde tükenme eğilimindedir. Doğal gaz, enerji üretiminde ve endüstriyel kullanımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (BP, 2023).
- **Kömür:** Kömür rezervleri, mevcut tüketim hızına göre değerlendirildiğinde yaklaşık 150-160 yıl gibi bir süre içinde tükenme eğilimindedir. Ancak, kömürün çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülmemekte ve yerine yenilenebilir enerji kaynakları öne çıkmaktadır. Fosil yakıt türlerinde karşımıza çıkan bu durum, enerji üretimi için alternatif ve sürdürülebilir kaynaklara olan ihtiyacı artırmaktadır (IEA, 2023).

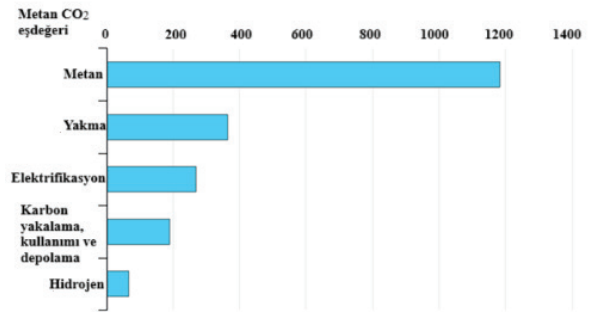
Metan gazı, tarım, sulak alanlar, hayvansal atıklar, kömür madenleri ve petrol-doğal gaz sektörleri gibi çeşitli kaynaklardan salınmaktadır. Küresel emisyonların üçte biri doğal sulak alanlardan, dörtte biri tarımsal faaliyetlerden (özellikle hayvancılık ve pirinç üretimi) ve dörtte biri petrol ve doğal gaz sektöründeki kaçaklardan kaynaklanmaktadır. Bilim insanları, metan emisyonlarının azaltılmasının iklim değişikliğiyle mücadelede hızlı sonuçlar sağlayacağını belirtmektedir. Ancak, etkin önlemler alınabilmesi için metan salınımının kaynaklarının ve miktarının doğru tespit edilmesi gerekmektedir (Shindell, 2021). İklim değişikliğinin ikinci en büyük nedeni hâline gelen metan gazı, Greenhouse Gas Protocol (GHG) altıncı değerlendirme raporuna göre, atmosferi birim başına karbondioksit kıyasla 27 kat daha güçlü bir şekilde ısıtma potansiyeline sahip olmasıyla öne çıkmaktadır. Bir başka ifadeyle, 1 kg metan salınımı, 84 kg karbondioksit emisyonuna eşdeğer bir etkiye sahiptir. Küresel metan emisyonlarının hızla artmakta olduğu göz önünde bulundurulduğunda, iklimin daha hızlı ısınacağı öngörülmektedir. Copernicus İklim Değişikliği Servisi (C3S) tarafından sağlanan veriler, metan gazı yoğunluklarının 2020 yılında, uydu kayıtlarının başladığı 2003 yılından sonraki en yüksek seviyelere ulaştığını ortaya koymaktadır. Küresel Karbon Projesi, 2017 yılında karbon emisyonlarının 2000-2006 yıllarına kıyasla %9 arttığını bildirmekte ve bu artışın başlıca iki nedeninin tarım ve atık yönetimi olduğu belirtilmektedir. İklim bilimcisi olarak Duke Üniversitesi'nde görev yapan ve Birleşmiş Milletler'in (BM) 2021 Küresel Metan Raporu'nun başyazarlığını üstlenen Dr. Drew Shindell, metan gazındaki hızlı artışın son on yıl içinde insanlar tarafından fark edildiğini ve kaydedilen bu artışın ciddi bir sorun teşkil ettiğini ifade etmektedir. Karbondioksitin havada yaklaşık 300 yıl boyunca kalabilmesi, emisyonlarının düşürülmesini acil bir gereklilik hâline getirmektedir. Buna karşılık, metanın atmosferdeki varlığı yalnızca on yılı biraz aşmakta olup, metan emisyonlarının azaltılmasının iklim değişikliğiyle mücadelede daha hızlı sonuçlar sağlayabileceği belirtilmektedir. "Metansalınımını kontrol

etmenin hem cazip hem de faydalı olduğu görülmüştür.” Ayrıca, bu emisyonları azaltmaya yönelik önlemler hızla uygulanmaya başlandığında, metan yoğunluklarında bir yıl içinde belirgin bir azalma gözlemlenebileceği belirtilmektedir (Shindell, 2021). Ayrıca, hava kirliliğine de katkıda bulunan metan gazı, atmosferin alt katmanlarında egzoz gazlarıyla etkileşime girerek, solunum sistemine zarar verebilecek ozon gazının oluşumuna neden olmaktadır. Dolayısıyla, metan emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede sağlanacak kazanımlara ek olarak, halk sağlığı açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, iklim üzerindeki olumlu etkilerin gözle görülür hâle gelmesi için on yıl veya daha uzun bir sürenin gerekebileceği ifade edilmektedir. Dr. Shindell, “Ancak bu süre, iklim değişikliğine karşı alınabilecek diğer önlemlerin gerektirdiği zamana kıyasla oldukça kısa bir periyottur” değerlendirmesinde bulunmaktadır. Örneğin, petrol ve doğal gaz sektöründeki metan emisyonlarının önümüzdeki dört yıl içinde %45 oranında azaltılmasının, 1.300 kömür yakıtlı enerji santralinin kapatılmasıyla eşdeğer bir iklim etkisi yaratacağı öngörülmektedir. Daha geniş bir perspektiften değerlendirildiğinde, Avrupa Komisyonu’na göre insan faaliyetlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının 2050 yılına kadar %50 oranında azaltılması durumunda, takip eden 30 yıl içinde küresel ısınmanın 0,2°C gerilemesi mümkün olabilecektir. Bu hedefe ulaşılabilmesi için doğru ve sürekli gözlemlerin yapılmasının büyük önem taşıdığı belirtilmektedir (Shindell, 2021). Bu çalışmada, alternatif materyallerin biyogaz üretimine katkıları ele alınmış ve bu materyallerin gelecekteki kullanımına yönelik öneriler sunulmuştur. Biyogazın yenilenebilir enerji kaynağı olarak önemine vurgu yaparak, karbon emisyonlarını düşürme potansiyeline dikkat çekilecektir. Metan emisyonlarının kontrol altına alınmasının, iklim değişikliğiyle mücadelede hızlı sonuçlar sağlayacağı ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılacağı ifade edilecektir. Ayrıca, fosil yakıtların çevresel zararları göz önüne alındığında, biyogaz üretiminin ve metan salınımlarının azaltılmasının gerektiği vurgulanıp, biyoga-

zın çevresel faydalarının, metan emisyonlarının azaltılmasının ve farklı materyallerin kullanılarak biyogazın sürdürülebilir enerji çözümleri olarak kullanılmasının incelenecektir.

1.1. Fosil yakıtlardan biyoyakıtlara geçiş

Enerji, dünyanın geleceğinde önemli bir rol oynamaktadır. Ekonomik gelişmenin temel unsuru olan enerji, tüketimi ile yaşam standartları arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Karaca, 2017). Dünya, enerji ihtiyacını büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Ancak, doğalgaz, kömür ve petrol gibi bu enerji kaynakları sınırlı rezervlere sahip olup, tükenme riskiyle karşı karşıyadır. Bu sınırlı kaynakların kullanımı, enerji güvenliğini tehdit etmekte ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Örneğin, 2022 yılında petrol ve gaz üretimi, taşınması ve işlemlerden geçirilmesi sonucu yaklaşık 5,1 milyar ton karbondioksit eşdeğeri sera gazı emisyonu meydana gelmiştir. Bu da, küresel enerji sektörünün toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %15’ini oluşturmuştur. Bu emisyonların büyük bir kısmı, petrol ve gaz operasyonlarında meydana gelen metan salınımları ve alevlenmelerden kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevresel etkileri, sürdürülebilir enerji sistemlerine geçişin gerekliliğini daha da önemli hâle getirmiştir. 2030 yılına kadar Net Sıfır Emisyon (NZE) senaryosuna (Şekil 1) ulaşabilmek için, emisyonların önemli ölçüde azaltılması gerekmektedir (International Energy Agency [IEA], 2024).



Şekil 1. Net sıfır senaryosu 2030’da emisyon azaltımları (IEA , 2024).

Günümüzde enerji, tüm toplumlar için temel bir gereksinim olarak kabul edilmektedir. Ekonomik ve sosyal kalkınmanın sağlanabilmesi için düşük maliyetli, güvenilir ve sürdürülebilir temiz enerji talebinin karşılanması zorunlu hale getirilmiştir. Bununla birlikte, küresel enerji endüstrisinin yapısı, arz ve talep süreçlerinde çevresel faktörlerin etkisiyle yeniden şekillendirilmektedir. İklim değişikliği, dünya genelindeki tüm politikaların yanı sıra enerji politikalarının da şekillendirilmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Mutlu, 2013). Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişiminin temel unsurlarından biridir, çünkü pek çok endüstri, hizmet ve yaşam tarzı enerjiye bağımlıdır. Nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve küreselleşme gibi faktörler, enerji talebini önemli ölçüde artırmaktadır. Nüfus artışı, daha fazla enerji kaynağına ve üretimine olan ihtiyacı artırırken, sanayileşme, enerji yoğun sektörlerde artan tüketimi tetiklemektedir. Şehirleşme, yoğun nüfuslu alanlarda enerji talebini artırarak ulaşım, aydınlatma ve ısıtma gibi enerji gereksinimlerini zorunlu kılmaktadır. Küreselleşme ise uluslararası ticaret ve üretim süreçlerinde enerji kullanımını artırmaktadır. Ayrıca, enerji talebindeki artış, fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynaklara olan bağımlılığı artırmakta ve enerji güvenliği endişelerini doğurmaktadır. Bu faktörler, ülkelerin enerji politikaları ve kaynak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji verimliliğini artırma çabaları ve alternatif enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar, enerji açığına karşı alınan önlemler olarak öne çıkmaktadır (Narin, 2008). Hükümetler ve şirketler, bu hedef doğrultusunda emisyon azaltma stratejileri belirleyerek, fosil yakıt kullanımını sınırlamayı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıtlar kaynaklı emisyonları en aza indirmeye yönelik daha fazla önlem alınması gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır (IEA, 2024). Ayrıca, bu enerji kaynaklarının kullanımı atmosferdeki CO₂ oranını artırarak çevresel kirliliğe yol açmaktadır. Bu durum, fosil yakıtların doğaya verdiği zararı gözler önüne sermekte ve daha temiz, sürdürülebilir enerji seçeneklerine olan ihtiyacı artırmaktadır (Yürük ve Erdoğan, 2015).

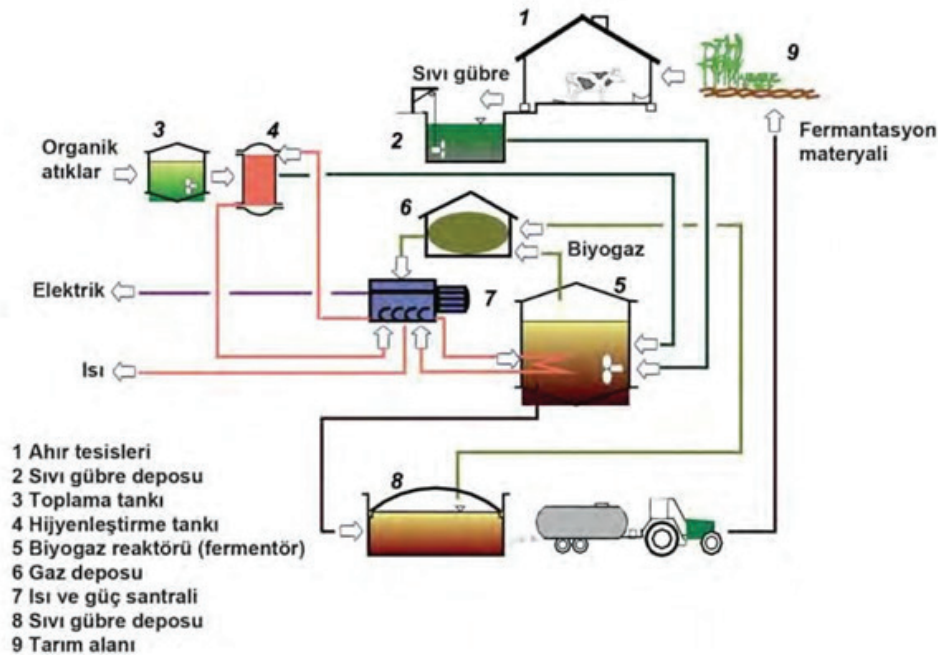
Bu ihtiyaca karşılık biyoyakıt üretimi ve tüketimi, fosil yakıtlara kıyasla sera gazı emisyonları açısından daha uygun bulunmaktadır (Şahbaz ve Sulukan, 2021). Ancak, fosil yakıtlara göre biyoyakıt üretim maliyetlerinin hâlâ yüksek olması ve fosil yakıtların üretim, iletim ve kullanım altyapısının son derece yaygın ve köklü bir şekilde yerleşmiş olması biyoyakıt üretiminin fosil yakıtlara alternatif olmasını zorlaştırmaktadır (Atelge 2021).

2 Biyogaz

Biyokütle kaynakları, hem doğrudan yakıt olarak kullanılabilen hem de biyogaz, biyokarbon ve biyodizel üretimi için büyük bir potansiyel taşımaktadır (Aydın İli Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği [ADSYB], 2011). Biyogaz, organik materyalin bakteriler aracılığıyla oksijensiz ortamda parçalanması sonucu meydana gelen bir gaz karışımıdır (İşkyürek ve Yıldız, 2015). Bir diğer ifadeyle organik atıklardan optimum koşullarda gaz üretme işlemidir. Biyogaz üretimiyle ilgili ilk çalışmalar 1895 yılında İngiltere’de gerçekleştirilmiş, II. Dünya Savaşı sırasında ise küçük ölçekli biyogaz üretim tesisleri Almanya ve Fransa’da kullanılmaya başlanmıştır. Gelişmekte olan ülkeler, biyogaz üretimi konusunda önemli adımlar atmış ve Hindistan 1939 yılında ilk biyogaz üretimini başlatmıştır. Bugün Hindistan’da 80.000’in üzerinde biyogaz üretim tesisi faaliyet göstermektedir. Tarım ve hayvancılıkla yoğun olarak geçilen bölgelerde, özellikle Çin ve diğer Uzak Doğu ülkelerinde çok sayıda biyogaz tesisi aktif olarak çalışmaktadır (Dalgıç, 2003). Türkiye’de ise biyogaz ile ilgili ilk çalışmalar 1960’lı yıllarda başlamış ve 1980’li yıllarda petrol krizi nedeniyle Köy Hizmetleri Ankara Topraksu Araştırma Enstitüsü’nde bir biyogaz birimi kurulmuş, biyogazın yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Bilgin, 2003). 1980-1986 yılları arasında Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü’nde biyogaz üretimi üzerine yoğun araştırmalar yapılmış ve bu dönemde biyogaz üretimi hakkında birçok önemli sonuç elde edilmiştir (Çağlar, 1981). Bu araştırmalar, biyogaz üretimi konusundaki teknik bilgi ve uygulamaların gelişmesine katkı sağlamış ve biyogazın

Türkiye’deki potansiyeli ile ilgili önemli veriler sunmuştur. Organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; % 60-80 CH₄, % 20-46 CO₂, %0-2 hidrojen sülfür, az miktarda azot (N₂), su buharı ve hidrojen (H₂) bulunmaktadır (Koçer ve ark., 2006). Biyogaz üretimi için tarımsal atıklar, gıda endüstrisi artıklarından hayvansal gübrelere, mezbahane

atıklarından kağıt fabrikası atıklarına kadar geniş bir hammadde yelpazesi kullanılabilir. Ayrıca, enerji bitkileri olarak bilinen mısır ve şeker pancarı ile orman atıkları da biyogaz üretiminde değerlendirilir. Bu atıklardan bazılarının sisteme hammadde olarak beslendiği, biyogaz tesisi genel prensip şeması şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Biyogaz tesisi genel prensip şeması (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2010)

Biyogaz tesislerinde, metan dışında oluşan diğer gazlar çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılmakta ve elde edilen metan gazı, kullanım açısından daha verimli hale getirilmek üzere iyileştirilmektedir. İyileştirilen metanın en verimli şekilde yanması için, hava ile 1/7 oranında karıştırılması gerekmektedir (Yılmaz, 2022). Metan gazı, biyogazın ısıl değerini sağlayan ana bileşendir ve 1 m³ biyogazın sağladığı ısı değeri 4700-5700 kcal/m³ arasında değişmektedir. Ayrıca, 1 m³ biyogaz, 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin ve 0,25 m³ propan ile karşılaştırılabilir bir enerji değerine sahiptir (Yılmaz ve ark., 2017). Metan gazı, karbondioksit göre GHG altıncı değerlendirme raporuna göre 27 kat daha fazla sera etkisi yaratmaktadır. Bu nedenle, hayvansal, bitkisel ve endüstriyel atıklardan biyogaz üretimi, yalnızca ekonomik getiri sağlamakla kalma-

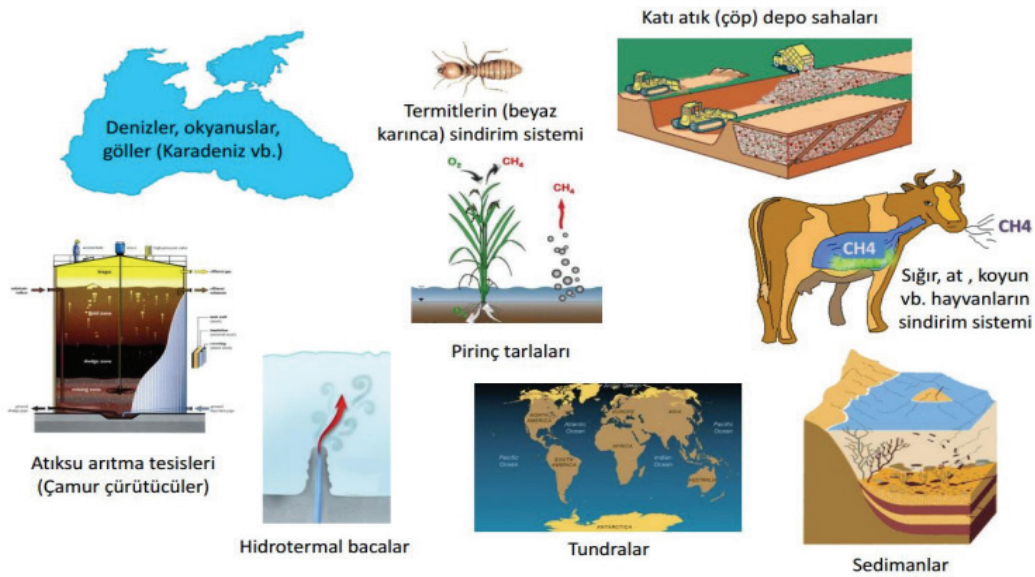
yıp aynı zamanda çevresel açıdan da önemli faydalar sunmaktadır. Avrupa, biyogaz üretimine öncelik vererek yalnızca enerji sektöründe değil, aynı zamanda tarım ve atık yönetimi gibi alanlarda da sürdürülebilir çözümler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Gelecekte yaşanabilecek petrol ve enerji krizleri karşısında biyogazın stratejik önemi daha da artarken, atık yönetimi süreçlerinde de önemli bir alternatif sunmaktadır (Yılmaz ve ark., 2017). Ayrıca, biyogaz üretimi sonucunda elde edilen katı ve sıvı organik yan ürünler, tarım sektöründe gübre olarak değerlendirilerek verimliliği artırmaktadır. Anaerobik fermantasyonun en büyük avantajlarından biri ise, bu süreçte patojen mikroorganizmaların büyük ölçüde ortadan kaldırılmasıdır (Çetinkaya, 2016), bu da gıda emniyeti ve kamu sağlığı açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Türkiye, 12,5

milyon ton organik atık potansiyeline sahip olmasına rağmen, bu potansiyel yeterince değerlendirilmemektedir. Biyogazın çevresel ve ekonomik faydalarına rağmen, ülkemizde bu alandaki çalışmalar sınırlıdır. Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasında, özellikle tarımsal, hayvansal ve evsel atıkların anaerobik işlemlerle değerlendirilmesi gerekmektedir. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, uzun vadeli enerji stratejilerinin temel bir unsuru olarak kritik öneme sahiptir (Nacar Koçer ve ark., 2006).

2.1. Biyogaz oluşan alanlar

Biyogaz üretimi, yalnızca organik atıkla-

rın çevre dostu bir şekilde değerlendirilmesi değil, aynı zamanda birçok farklı alanda da önemli faydalar sağlamaktadır. Bu üretim süreci, denizler, okyanuslar ve göller gibi su ekosistemlerinden, beyaz karıncaların sindirim sistemlerine kadar geniş bir yelpazede biyolojik süreçlerin rol oynadığı bir dizi alanı kapsamaktadır. Ayrıca, katı atık depo sahaları, pirinç tarlaları, küçük baş, büyük baş ve at sindirim sistemleri gibi doğal ve yapay ortamlarda da biyogaz üretimi mümkündür. Atık su arıtma tesisleri, sedimanlar, tundralar ve hidrotermal bacalar gibi çevresel sistemlerde de biyogaz açığa çıkabilir (Şekil 3) (Çelikkaya, 2016).



Şekil 3. Biyogaz(CH₄) üretilen ortamlar (Çelikkaya, 2016).

Bu alanlar, biyogaz üretimi sürecinde kullanılan organik maddelerin farklı ekosistemlerde dönüştürülmesiyle enerji elde edilmesini sağlayan önemli çevresel kaynaklardır. Biyogaz, yalnızca enerji üretimi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda karbon emisyonlarının azaltılması, atık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi gibi birçok açıdan faydalı çözümler sunmaktadır.

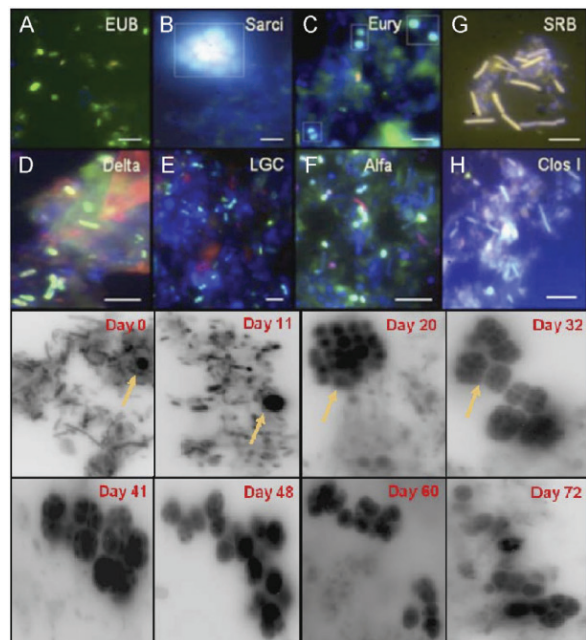
2.2. Biyogaz oluşumunu etkileyen faktörler

Biyogaz oluşumunu ve kalitesini etkileyen faktörler arasında, oksijen (Çelikkaya, 2016), pH (Ziauddin ve Rajesh, 2015), reak-

tör sıcaklığı (Adekunle ve ark., 2015), toksik maddeler (Vijayalekshmy, 1985), uçucu yağ asitleri (Yadava ve Hesse, 1981), organik yükleme oranı (Adebayo ve ark., 2015), C/N oranı (Ahring ve ark., 1995), hidrolik bekleme süresi (Najafpour, 2015) olarak bazıları sıralanabilmektedir. Oksijensiz ortamlarda metan üreten mikroorganizmalar, atmosferin oluşmasından önce var olan organizmalardır ve anaerobik ortamlarda metabolizmalarını sürdüren organizmalardır. Fermantasyon ünitelerinde oksijenin tamamen engellenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda, toksijensiz ortamlarda üreyen metan oluşturucu mikroorganizmalar yaşamlarını

sürdürebilmek için adaptasyonlar gösterir. Oksijen tüketen bakteriler, ortamdaki oksijeni azaltarak, oksijensiz ortamda metan üreten mikroorganizmaların yaşamına olanak tanır. Bu nedenle, fermentasyon ünitelerinde oksijen seviyelerinin dikkatle kontrol edilmesi önemlidir. Ayrıca, fakültatif oksijensiz ortamlarda üreyen metan oluşturuç mikroorganizmalar, hem oksijenli hem de oksijensiz ortamlarda yaşayabilme yeteneğine sahiptir (Çelikkaya, 2016). Biyogaz üretimi, organik maddelerin anaerobik ortamda bakteriler tarafından parçalanmasıyla gerçekleşen bir süreçtir ve bu süreç metan gazı üretimi sağlar. Bu süreçte, pH değeri, metan üreten bakterilerin etkinliğini doğrudan etkiler. Biyogaz üretimi için en uygun pH aralığı 6,8 ile 7 arasındadır. Anaerobik fermentasyonun erken aşamalarında, asit üreten bakterilerin aktivitesi artarak pH değerinin düşmesine neden olabilir. Eğer pH değeri 6,7'nin altına düşerse, metanojen bakteriler üzerinde toksik etkiler ortaya çıkar ve bu durum biyogaz üretimini olumsuz etkiler. Asitlerin artışı ortamı asidik hale getirir ve verimliliği düşürür. Asit oluşumunun kontrol altına alınabilmesi için pH seviyesi stabilize edilmelidir. Bu amaçla sönmüş kireç gibi alkali maddeler kullanılabilir (Hoşgören, 2018; Ziauddin ve Rajesh, 2015). Ayrıca, pH seviyesi sürekli olarak izlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. pH seviyesindeki dalgalanmalar, biyogazın CO₂ içeriğini artırabilir ve verimliliği düşürebilir (Gülen, 2005). Sıcaklık, biyogaz üretimi için çok önemli bir parametredir çünkü anaerobik mikroorganizmaların etkinliği doğrudan sıcaklığa bağlıdır. İdeal sıcaklık aralığı 30°C ile 40°C arasında olup, bu sıcaklık aralığında metan üreten bakteriler en verimli şekilde çalışır. Ancak, sıcaklık 10°C'nin altına düştüğünde, bu bakterilerin aktivitesi azalır ve biyogaz üretimi durabilir. Düşük sıcaklıklar mikroorganizmaların metabolizmasını yavaşlatır ve biyogaz üretiminin hızını düşürür. Bu nedenle biyogaz tesislerinde sıcaklık kontrolünün sağlanması gerekmektedir (Millî Eğitim Bakanlığı, 2011). Biyogaz üretimi için ideal karbon-azot (C/N) oranı genellikle 20-30:1 arasındadır. Bu oran, mikroorganizmaların büyümesi ve biyogaz

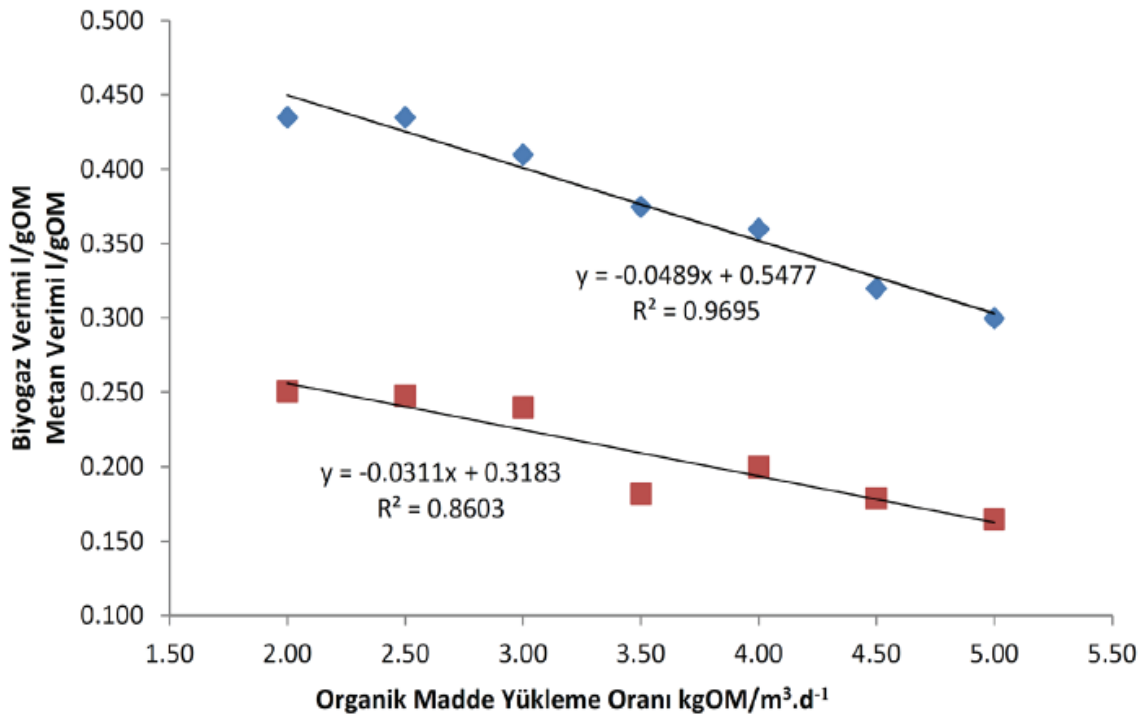
üretimi için gerekli dengeyi sağlar. C/N oranı çok düşükse, fazla azot amonyak birikimine yol açar ve bu durum mikroorganizmaların etkinliğini engeller. Çok yüksek C/N oranı ise karbon fazlalığına yol açarak metan üretimini sınırlayabilir (Ahring ve ark., 1995). C/N oranının dar olması, bakterilerin atıkları daha hızlı ayrıştırmasına neden olabilir, ancak oran çok dar olduğunda istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Hidrolik Bekleme Süresi (HRT), biyogaz üretiminde organik maddelerin reaktörde kalma süresidir. HRT, iklim, sıcaklık, hammadde bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Optimum HRT, biyogaz verimini artırırken sürenin gereğinden uzun tutulması tesis kapasitesini düşürür ve maliyetleri artırabilir. HRT genellikle 20-120 gün arasında değişir, ancak 60 günün üzerindeki sürelerde mikroorganizma popülasyonunun azalması nedeniyle biyogaz verimi düşebilir. HRT'nin belirlenmesinde, bakteri popülasyonunun göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Lübken ve ark., 2007; Öztürk, 2005). Ayrıca, 60 günün üzerinde mikroorganizma popülasyonunun azalması nedeniyle biyogaz verimi düşebilir. Bu nedenle, HRT'nin belirlenmesinde bakteri popülasyonu da göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 4), (Lübken ve ark., 2007).



Şekil 4. Biyogaz sürecinde bekleme süresinin mikrobiyal dinamikleri ve mikroskopikanalizi

Organik Yükleme Oranı (OMYO), biyogaz üretiminde mikroorganizmaların beslenmesi için reaktöre eklenen organik madde miktarını ifade eder. OMYO, proses sıcaklığı, hammadde bileşimi ve bekleme süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Optimum seviyenin altındaki yükleme, gaz üretimini düşürürken, aşırı yükleme pH dengesini bozarak süreci olumsuz etkileyebilir. Araştırmalar, 1-3,2 kgUKM/m³ gün

aralığının ideal olduğunu ve 2 kgUKM/m³ gün üzerindeki yüklemelerin biyogaz ve metan verimini azaltabileceğini göstermektedir. (Şekil 5). Ayrıca, yüksek OMYO köpük oluşumunu tetikleyerek reaktörün mekanik ve biyolojik süreçlerini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, biyogaz üretiminin verimliliği için OMYO'nun dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir (Adebayo ve ark., 2015).



Şekil 5. Sığır atıklarından biyogaz üretiminde organik madde yükleme oranının metan ve biyogaz verimliliğine etkisi (Adebayo ve ark., 2015).

Bu faktörler biyogaz üretiminin verimliliği ve kalitesini doğrudan etkileyen kritik parametrelerdir. Bu nedenle, biyogaz üretim süreçlerinde bu parametrelerin dikkatle izlenmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir.

3. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Geleneksel Materyaller

Biyogaz üretimi için geleneksel olarak kullanılan materyaller, özellikle tarımsal atıklar, gıda atıkları ve hayvansal gübreler gibi organik maddelerdir. Tarımsal atıklar, biyo-

gaz üretiminde sıklıkla kullanılan hammadde-lerdir çünkü bu materyaller kolayca temin edilebilir ve biyokütle olarak yüksek enerji potansiyeline sahiptir. Hayvansal gübreler, özellikle metan gazı üretiminde yüksek verimliliğe sahip olup, büyük çiftliklerde biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Uysal ve Öztürk, 2020). Bunun dışında, gıda endüstrisinden çıkan atıklar da biyogaz üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Biyogaz teknolojisi, farklı organik kaynakların kullanılabilirdiği bir enerji üretim ve atık yönetim prosesi olarak görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Biyokütle kaynakları
(Biomass in India, 2017).

Bu kapsamda kullanım amacına bağlı olarak farklı kaynaklardan gelen hammaddeler tek başlarına kullanılabilirdiği gibi farklı karışımlar oluşturularak da kullanmak mümkün olmaktadır. Biyogaz üretiminde, “doğal ormanlardan elde edilen odun atıkları, ormancılık ve orman endüstrisinden kaynaklanan atıklar, evsel ve endüstriyel atıklar ile hayvan atıkları gibi bitki ve hayvan materyalleri” sıklıkla kullanılmaktadır (Toklu, 2017). Bu organik atıklar, metan gazı üretimi için biyokimyasal süreçlere tabi tutulur ve bu sayede yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bu süreç, atıkların geri dönüştürülmesiyle hem enerji üretimi sağlanır hem de çevresel etkiler azaltılmış olur. Türkiye’de biyoenerji potansiyeli incelendiğinde, en yaygın kullanılan yöntemin biyogaz üretimi ve biyogaz üretiminde en yaygın kullanılan maddenin ise büyükbaş hayvan gübresi olduğu görülmektedir. Bitkisel materyaller ise, bitkisel üretim atıkları, peyzaj atıkları, biyogaz üretimi için yetiştirilen özel ürünler ve fermentasyon atıkları bu gruba dahil edilmektedir. Yapılan bir çalışmada bitkisel materyal kullanılarak 35 oC fermentasyon sıcaklığında %12 kuru madde içeriği, 30 gün bekleme süresi 4 kg/m³.d yükleme oranında en fazla üreteç özgül metan üretim miktarına ulaşılmıştır. Ancak aynı sıcaklık koşullarında %9 kuru madde oranı ve

30-40 günlük bekleme sürelerinde maksimum metan gazı üretimi gerçekleşmiştir (Kaya ve ark., 2009). Gıda endüstrisi atıkları ise, gıda üretim, işleme, paketlenme ve dağıtım süreçlerinden kaynaklanan yan ürünler veya kullanılmayan maddelerden oluşur. Bu atıklar, genellikle organik maddeler içerir ve büyük bir kısmı biyolojik olarak ayrışabilir özellikte olup yeniden değerlendirilebilir (Deniz vd., 2015). Örnek verilecek olursa yemek fabrikası atıkları, gıda işleme tesisi atıkları gibi gıda sektöründen kaynaklanan organik atıklar biyogaz tesisleri için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Gıda atıkları, uygunsuz tedarik zinciri yönetimi ve depolama sorunları nedeniyle çevresel açıdan büyük etkiler yaratmaktadır. Asit oluşturan süreçler (karanlık fermentasyon, anaerobik sindirim) kullanılarak bu atıklardan biyoyakıtlar (Biyometan [Biyo-CH₄], Biyohidrojen [Biyo-H₂]) üretilebilir, ancak enerji verimi ve maliyet etkinliği sınırlıdır. Bu süreçlerin enerji verimliliğini ve çevresel etkilerini inceleyerek, gıda atıklarından maksimum enerji geri kazanımını sağlamak için entegre biyo-termo-kimyasal süreçler önerilmektedir (Sahota vd., 2024). Kentsel atıklar, şehirleşme ve insan faaliyetlerinin sonucu olarak ortaya çıkan evsel, ticari ve endüstriyel atıklardır. Bu atıklar, çevre kirliliğine ve sağlık sorunlarına yol açabileceği gibi, doğru yönetildiğinde enerji üretiminde kullanılabilir. Belediyenin topladığı bu atıklardan biyogaz üretimi için düzenli depolama gazı üretimi ve anaerobik çürütme gibi yöntemler kullanılır. Bu biyogazlar, yakma teknolojileriyle ısı enerjisine dönüştürülüp, mekanik enerjiye çevrilerek elektrik enerjisi üretilebilir. Yapılan araştırmalar, depo gazından elektrik üretimi için tasarlanan sistemlerin %43,1 verimle çalışabileceğini ve bu tür sistemlerin atık ısının elektrik üretiminde kullanılmasının avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, kentsel atıklardan enerji üretiminin önemini ve potansiyelini ortaya koymaktadır (Kankılıç ve Topal, 2015).

Diğer materyaller, biyodizel üretiminden kalan atıklar ve ağaç endüstrisi atıkları gibi çeşitli endüstrilerden elde edilen organik materyaller de biyogaz üretimi için kullanılabilir.

Ancak, kağıt endüstrisi atıkları biyogaz tesislerinde kullanılabilir bir hammadde olmasına rağmen, zor çözünebilir yapıları ve yüksek işlem gereksinimleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmemektedir. Kağıt fabrikası atıkları, biyogaz üretimi için kullanılmadan önce genellikle boyut küçültme, kimyasal arıtma, biyolojik hidroliz ve mekanik sıkıştırma gibi ön işlemlerden geçirilir. Bu işlemler, atıklardaki organik

maddelerin daha verimli bir şekilde metana dönüştürülmesini sağlar (Sözer vd., 2016). Kağıt fabrikası üretim atıklarından elek altı çamuru ile ilgili görsel şekil 7 'de gösterilmiştir. Bu atıklar kağıt üretimine uygun olmayan kısa elyaflardan oluşmakta ve katma değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu atıklar için biyogaz üretiminde kullanılabilir olması iyi bir alternatif olarak düşünülebilmektedir.



Şekil 7. Kağıt fabrikası üretim atıklarından elek altı çamuru

Biyogaz üretiminde kullanılan atıkların biyometan potansiyelleri, atıkların içerdiği organik bileşenlerin türü, konsantrasyonu, karbon-azot oranı ve biyolojik olarak ayrışabilirlik seviyesine göre belirlenir (Öztürk, 2024). Örneğin, hayvansal gübreler ve gıda atıkları genellikle yüksek biyometan potansiyeline sahipken, lignin gibi zor ayrışan bileşenler içeren kağıt endüstrisi atıkları daha düşük bir potansiyele sa-

hiptir. Ayrıca, atığın ön işlemden geçirilmesi ve proses koşullarının optimize edilmesi, biyometan gazı üretimini artırmada kritik bir rol oynar. Bu, potansiyel, enerji üretiminin ötesinde, çevresel sürdürülebilirliğin korunmasında da kritik bir rol oynar. Bu malzemelerden bazılarının yapılmış hammadde özgül metan üretim oranları (%), kuru madde oranları (%), organik kuru madde oranları(%) Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Biyogaz üretiminde kullanılacak bazı maddelerin yapılmış hammadde özgül metan üretim oranları (%), kuru madde oranları (%), organik kuru madde oranları(%)

Hammadde	Hammadde Özgül Metan Üretim Oranı (m ³ CH ₄ /kg OKM)	Kuru Madde Oranı (%)	Organik Kuru Madde Oranı (%)	Kaynakça
Kağıt Atıkları	0,30	0-10	88-90	Erdin, 1994
Gül İşleme Atıkları	0,136	5,27	71	Onursal ve ark. 2011
Dana Gübresi	0,175	8,39	44	Harris, 2008; ASAE, 2003
Süt Sığırı Gübresi	0,210	13,95	83	Marañón ve ark., 2012; ASAE, 2003
Besi Sığırı Gübresi	0,248	14,66	84	Zeeman, 2020; ASAE, 2003
Isırgan	0,27	35	82	Murpy ve ark. 2011
Alg (Laminaria sp)	0,27	-	-	Singh ve Gu, 2010; Parmar ve ark. 2011
Ayçiçeği	0,277	15	92	Murpy ve ark. 2011
Meyve Şilempesi	0,285	2,5	95	FNR, 2010
At Gübresi	0,3	29,41	66	Harris, 2008; ASAE, 2003

4. Biyogaz Üretiminde Alternatif ve Yenilenebilir Materyallerin Rolü: Performans, Sürdürülebilirlik ve Gelecek Perspektifleri

Enerji meseleleri, küresel çapta politika gündeminin en öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Bu nedenle, politika yapıcılarının sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa edebilmek için daha etkili karar destek mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır (Hugé vd., 2011). Organik atıklardan biyogaz üretimi, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Biyogazın avantajları ve dezavantajları ortaya konarak, diğer alternatif enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması yapılmı-

lıdır. 1970'li yıllarda başlayan ilgi, 2000'li yıllarda Avrupa Birliği ülkeleriyle birlikte artmış ve biyogaz üretimi küresel iklim değişikliğinin önlenmesinde önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmüştür. Ülkemizin, yasal düzenlemeler ve teknolojik uygulamalarla bu süreçte dahil olması ve ilgili sektörlerle gerekli teşvikleri sunması gerektiği vurgulanmaktadır (Yılmaz, 2009). Biyogaz tesisleri kurulup işletilerek, hayvansal atıkların çevresel etkileri azaltılıp ekonomik fayda sağlanmaktadır (Boyacı ve ark., 2011). Bu süreç, fosil yakıtlardan kaynaklanan kirliliği minimize ederken, sera gazı salınımlarını engelleyerek enerji tasarrufu sağlar ve sürdürülebilir kalkınmayı destekler (Yetiş ve ark., 2019). Türkiye, tarım ve hayvancılık açısından önemli bir

konumda olup, biyogaz üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir (Tırınk, 2022). Tarım alanları ve hayvancılıkla ilgili nüfusun fazla olması, biyogaz üretiminin doğru yapılması durumunda önemli bir enerji kaynağı olma fırsatını sunmaktadır (Çağlayan ve Koçer, 2014; Seyhan ve ark., 2018; Dağtekin ve ark., 2019). Bu nedenle, biyogaz enerji potansiyelinin ülkemizde etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Biyogaz üretiminde hayvansal atıklara ek alternatif ve yenilenebilir materyallerin kullanımı da söz konusudur, böylece hem enerji verimliliğini artırılmakta hem de çevresel sürdürülebilirlik desteklemektedir. Geleneksel biyogaz hammaddelerine ek olarak kullanılan algler, atık yağlar, odun artıkları ve organik çöpler, biyogaz üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir ve yeşil dönüşüm süreçlerine katkı sağlamaktadır (Kara ve Demir, 2019). Bu alternatif materyaller, biyogaz üretim kapasitesini artırırken, organik atıkların geri dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. Özellikle tarım ve orman endüstrisinden elde edilen biyolojik atıklar, düşük çevresel etki yaratması sebebiyle ön plana çıkmaktadır (Şahin ve Kaya, 2021). Alternatif materyallerin biyogaz üretiminde kullanımı, sıfır atık hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamakta ve çevresel kirliliğin azaltılmasını sağlamaktadır (Özdemir ve Yılmaz, 2020). Performans analizi açısından, yapılan araştırmalar, algler ve deniz yosunlarının metan verimini artırarak biyogaz üretiminde yüksek enerji dönüşümü sağladığını göstermektedir (Gök ve Aydın, 2022). Büyükbaş atıklarından elde edilebilecek potansiyel biyogaz enerjisinin 2361063163 MJ ve elde edilebilecek elektrik enerjisinin 656375,63 MWh olduğu belirlenmiştir (Ertop vd., 2022). Kesimhane atıkları ve çiftlik hayvanlarının gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz miktarı yıllık olarak 24,495 milyar m³ ve bu miktardaki biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı 4,41×10¹⁰ kWh'dir (Sözer, 2024). Biyogaz üretimiyle elde edilen enerji, ısıtma, aydınlatma, elektrik üretimi ve mekanik enerjiye dönüştürülerek geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sıfır atık yaklaşımı doğrultusunda, biyogaz üretimi, organik atıkların enerjiye dönüştürülerek bertaraf edilmesini sağlamakta ve çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmektedir (Yüksel ve Koca, 2020). Teknolojik gelişmeler, biyogaz

üretiminde kullanılan hammaddelerin çeşitliliğini artırmakta ve atık yağlar ile algler gibi yenilikçi materyallerin daha verimli kullanımını mümkün kılmaktadır (Çelik ve Topçu, 2021). Gelecekte, biyoteknolojik ilerlemeler sayesinde biyogaz üretim süreçlerinin daha sürdürülebilir ve yüksek verimli hâle getirilmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda, biyogaz üretiminde alternatif ve yenilenebilir materyallerin kullanımı, hem enerji üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini artırmakta hem de çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik çözümler sunmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Biyogaz üretimi, çevre dostu, sürdürülebilir ve verimli bir enerji kaynağı olarak günümüz enerji sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. Organik atıkların anaerobik ortamda mikroorganizmalar aracılığıyla metan gazına dönüştürülmesi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakla birlikte, çevresel sürdürülebilirliği sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreç, yalnızca enerji üretiminde verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda atıkların geri kazanılmasını sağlayarak çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirir. Biyogaz üretiminin artan önemi, fosil yakıtların tükenebilirliği ve çevreye olan zararlı etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, biyogaz üretimi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji sektöründe dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, biyogaz üretiminde kullanılan alternatif materyallerin çeşitlendirilmesi, süreçlerin verimliliğini artırmakla birlikte çevresel ve ekonomik açıdan önemli faydalar sağlamaktadır. Tarım, hayvancılık, evsel ve endüstriyel atıklar gibi farklı kaynaklardan biyogaz üretimi, atıkların geri kazanılmasını mümkün kılarak çevreye zarar vermek yerine, bu atıkları değerli enerji kaynaklarına dönüştürmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılan materyallerin verimliliği ve biyometan potansiyeli, atıkların içerdiği organik bileşenlerin türüne, konsantrasyonuna, karbon-azot oranına ve biyolojik olarak ayrışabilirlik seviyesine bağlıdır. Bu nedenle, biyogaz üretiminde kullanılan materyallerin doğru seçilmesi ve işlenmesi, elde edilen metan gazının verimliliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Hayvansal gübreler ve gıda atıkları gibi biyolojik olarak ayrışabilir organik

materyallerin biyogaz üretiminde kullanılması, yüksek biyometan potansiyeline sahip olduğu için oldukça faydalıdır. Buna karşın, lignin gibi zor ayrışan bileşenler içeren atıkların biyogaz üretiminde kullanılması, daha düşük biyometan potansiyeli ile sonuçlanmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılan alternatif materyallerin çeşitlendirilmesi yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da büyük fırsatlar sunmaktadır. Biyogaz üretim sürecinde elde edilen yan ürünler, özellikle tarım sektöründe kullanılabilecek katı ve sıvı gübreler gibi değerli ürünler ortaya çıkarabilmektedir. Bu, çiftçilere ek gelir kaynağı sağlamanın yanı sıra, tarımda kullanılan kimyasal gübrelerin azaltılmasına da yardımcı olur. Bu bağlamda, biyogaz üretim süreci, döngüsel ekonomi ilkelerine dayalı bir sistem olarak çevresel ve ekonomik faydalar yaratmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılan materyallerin çeşitlendirilmesi sürecinin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak adına, çeşitli öneriler ve çıkarımlar yapılabilir. İlk olarak, biyogaz üretiminde kullanılan atıkların özelliklerinin daha iyi anlaşılması için bilimsel araştırmaların derinleştirilmesi gerekmektedir. Atıkların biyolojik ayrışabilirliği, karbon-azot oranı gibi parametrelerin biyogaz üretim verimliliği üzerindeki etkileri konusunda daha fazla bilgi edinilmesi, daha verimli biyogaz üretim yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, biyogaz üretiminde kullanılan materyallerin çeşitlendirilmesinin yanında, biyogaz tesislerinin teknolojik açıdan geliştirilmesi ve optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Yeni teknolojilerin, biyogaz üretim süreçlerinde verimlilik artışı sağlayabilecek potansiyel taşıdığı unutulmamalıdır.

Özellikle, biyogaz üretim tesislerinde kullanılan anaerobik çürütme sistemlerinin iyileştirilmesi ve daha verimli hale getirilmesi, biyogaz üretim kapasitelerinin artırılmasına olanak tanıyacaktır. Biyogaz üretimi alanında daha geniş bir etki sağlamak adına, yerel yönetimlerin ve sanayi kuruluşlarının biyogaz tesislerine yatırım yapması teşvik edilmelidir. Bu tür yatırımlar, yerel enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında ve enerji bağımsızlığının artırılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca, biyogaz üretim sürecinde elde edilen enerji, şebekeye aktarılabilir ve bu da enerji arzının güçlendirilmesine katkı sağlar. Son olarak, biyogaz üretimi sürecinde daha geniş bir atık yönetimi stratejisinin benimsenmesi, çevreyi korumaya ve enerji tasarrufuna önemli katkılar sağlayacaktır. Biyogaz üretimi, atıkların bertaraf edilmesi ve çevreye zarar vermemesi açısından önemli bir çözüm sunmakta ve yeşil dönüşüm süreçlerinin hızlandırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu dönüşüm süreci, çevre dostu teknolojilerin benimsenmesi ve enerji üretiminin sürdürülebilir şekilde yapılması adına büyük bir potansiyel taşımaktadır. Özetle, biyogaz üretimi, çevre dostu enerji üretiminin bir aracı olarak, fosil yakıtların yerine geçebilecek önemli bir alternatif enerji kaynağı sunmaktadır. Bu alandaki gelişmelerin, biyogaz üretimindeki verimliliğin artırılması ve bu sürecin daha geniş bir alan ve daha fazla kaynakla uygulanabilmesi adına büyük katkılar sağlayacağı kesindir. Gelecekte biyogaz üretiminde kullanılan alternatif materyallerin çeşitlendirilmesi, sadece çevresel sürdürülebilirlik için değil, aynı zamanda enerji sektöründeki dönüşüm için de önemli fırsatlar sunacaktır.

Kaynaklar

- Acaroğlu, M., (2003). Alternatif Enerji Kaynakları, Ders kitabı Atlas yayın dağıtım, İstanbul.
- Adebayo, A. O., Jekayinfa, S.O., Linke, B. (2015). Effects of Organic Loading Rate on Biogas Yield in a Continuously Stirred Tank Reactor Experiment at Mesophilic Temperature. *British Journal of Applied Science & Technology*, 11(4): 1-9.
- Adekunle, K.F.; Okolie, J.A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Adv. Biosci. Biotechnol.*, 6, 205–212.
- Atelge, M. R. (2021). The Potential of Biogas Production as a Biofuel From Cattle Manure in Turkey and Projected Impact on the Reduction of Carbon Emissions for 2030 and 2053. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 56-64.
- ADYSB, 2011. Aydın İli Biyogaz Potansiyeli Fizibilite Raporu. Aydın: Aydın İli Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği - Güney Ege Kalkınma Ajansı.
- Ahring, B. K., Westermann, P., & Angelidaki, I. (1995). Anaerobic treatment of animal waste and other organic substrates. *Environmental Technology*, 16(6), 549-559.
- ASAE. (2003). The Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems Standard D384.1 FEB03 Manure Production and Characteristics, USA.
- Berk, F. & Kışlahoğlu, M. B., 1993. *Çevre ve Ekoloji*, 4.Basım, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- Boyacı S, 2017. Kırşehir İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4 (4): 447-455.
- Biogas in India (2017). What Goes Around Comes Around: 2017. Retrieved from <http://www.whatsupgermany.de/clean-energy/hydropower-bioenergy/>
- Bilgin, N., 2003. Biyogaz Nedir?, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü.
- BP. (2023). BP statistical review of world energy 2023. BP. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Çağlayan GH, Koçer NN, 2014. Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimine Araştırılması. *Muş Alparlan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 215-220.
- Çelik, M., & Topçu, Z. (2021). Gelecekte biyogaz üretiminde kullanılacak yenilenebilir materyaller ve teknolojiler. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 78-88.
- Çetinkaya, H. (2016). Biyogaz. Fırat Kalkınma Ajansı.
- Çağlar, A., ve Uçar, T. (1981). Türkiye’de Biyogaz Potansiyeli ve Üretim Kinetiği. Uluslararası Biyogaz Semineri, 290-303.
- Canka Kılıç, F., (2011). *Türkiye’deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerindeki Son Gelişmeler, Mühendis ve Makine*, Cilt:52, Sayı:614, ss:103-115.
- Dağtekin M, Aybek A, Bilgili ME, 2019. Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (2): 9-22.
- Dalgıç, A.C., 2003. Biyogaz Uygulamaları, Müh. Fak., Gıda Mühendisliği Böl., Gaziantep.
- Demirbaş, A., & Yıldız, A. (2021). Biyogaz üretimi ve uygulamaları: Temel ilkeler ve süreçler. *Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 5(3), 123-136.
- Demir, A. Y. (2024). Fıstık yaprağı ekstreğinden demir oksit yeşil sentezi ve sodyum borhidritürün hidrolizinde katalizör destek malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması (Yüksek lisans tezi). Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Deniz, E., Yeşilören, G., Özdemir, N., ve İşçi, A. (2015). Türkiye’de gıda endüstrisi kaynaklı biyokütle ve biyoyakıt potansiyeli. *Gıda*, 40(1), 47-54. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14037>
- Erdin, E. (1994). Kırsal alanlarda oluşan organik atıklar ve bunlardan biyogaz üretimi. 15. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Antalya, Türkiye.
- Ertop, H., Atılğan, A., Saltuk, B. Aksoy, E., (2022). Büyükbaş Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilir Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritaların Oluşturulması *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 530-540.
- FNR, (2010). *Biyogaz Kılavuzu*, Üretimden Kullanıma, Yenilenebilir Hammadde İhtisas Ajansı Türk-Alman Biyogaz Projesi, Gülzow, Almanya.
- Greenhouse Gas Protocol. (2024, Ağustos). IPCC Global Warming Potential Values. Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf> (Erişim Tarihi: 01.02.2025)
- Gök, E., & Aydın, T. (2022). Alternatif biyogaz hammaddeleri ve çevresel faydaları. *Biyoteknoloji ve Biyomühendislik Dergisi*, 11(2), 56-65.
- Gülen, J., ve Arslan, H. (2005). Biyogaz üretim sürecinde pH değeri, reaksiyon hızı ve diğer kritik parametreler. Sigma, Yıldız Teknik Üniversitesi. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*.

- Harris, P., (2008). Anaerobic digestion model. http://www.adelaide.edu.au/biogas/anaerobic_digestion/model/ erişim tarihi: 16/12/2005
- Hossain, M. S., Wasima, F., Banik, S., Kibria, M. G., & Shawon, M. S. H. (2025). Prospect of green vehicle sectors in Bangladesh in light of biogas from animal manure through anaerobic digestion. *Fuel*, 395, 135276. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.135276>
- Hoşgören, G. (2018). Bağlam temelli kavram karikatürlerinin asit-baz konusunun öğretiminde etkililiğinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilgisi Eğitimi Bilim Dalı.
- Hugé, J., Waas, T., Eggermont, G., & Verbruggen, A. (2011). Impact assessment for a sustainable energy future—Reflections and practical experiences. *Energy Policy*, 39(10), 6243-6253. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.023>
- IEA. (2024). <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels>.
- International Energy Agency. (2023). World energy outlook 2023. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- Işıküre, Ç., Yıldız, O. (2015). Bir Biyogaz Tesisi için PLC Otomasyon Sistemi Tasarımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(1), 89-96.
- Kankılıç, T., ve Topal, H. (2015). Belediye atıklarından düzenli depolama sahalarında biyogaz ve enerji üretimi. *Mühendis ve Makina*, 56(669), 58-69.
- Karaca, C. (2017). Hatay ilinin hayvansal gübre kaynağından üretilebilir biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi / Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 22(1), 34-39. <https://doi.org/10.1300/9362>
- Kara, H., & Demir, B. (2019). Alternatif biyogaz hammaddeleri ve çevresel faydaları. *Biyoteknoloji ve Biyomühendislik Dergisi*, 11(2), 56-65.
- Kaya, D., Tiris, M., Yaldiz, O., Saraç, İ., Ekinç, K., Koçar, G., Karaman, N., Ayan, E., & Saraç, M. (2009). Bitkisel ve hayvansal atıklardan biyogaz üretimi ve entegre enerji üretim sisteminde kullanımı (biyogaz) projesi. *Engineer & the Machinery Magazine / Mühendis ve Makina*, 593, 2. <https://doi.org/10.1300/3402>
- Koçer, N.C., Öner, C., Sugözü, İ. (2006): Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Lopez, A. F., Rodriguez, T. L., Abdülmelik, S. F., Martinez, M. G., & Bello Bugallo, P. M. (2024). Biogas to biomethane: A detailed review of technologies enhancing sustainability and reducing greenhouse gas emissions. *Applied Sciences*, 14(6), 2342. <https://doi.org/10.3390/app14062342>
- Lübken, M., Wichern, M., Schlattmann, M., Andreas Gronauer, A., Horn, H. (2007). Modelling the energy balance of an anaerobic digester fed with cattle manure and renewable energy crops. *Water Research*, 41, 4085-4096.
- Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., García, M.M. (2012). Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production. *Waste Manag.* 2012, 32, 1821–1825.
- Murphy JD., Braun R., Weiland P., Wellinger, A. (2011). Biogas from Crop Digestion. IEA Bioenergy Task 37. Erişim Adresi: <http://www.iea-biogas.net/>.
- Mutlu, E. (2013). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İli’nde SWOT Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Nacar Koçer, N., Öner, C., Sugözü, İ. (2006). TÜRKİYE’DE HAYVANCILIK POTANSİYELİ ve BİYOGAZ ÜRETİMİ. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 17-20.
- Najafpour, G. D., Younesi, H., ve Khodakaramian, G. (2015). Biogas production from citrus wastes: Pretreatment and co-digestion strategies. *Bioresource Technology*, 101(14), 5243-5248.
- Narin, M. (2008). Türkiye’nin Enerji Yapısı ve İzleyeceği Öncelikli Politikalar. *ASO Dosya Ankara Sanayi Odası Dergisi*, Ağustos-Eylül, 50-68.
- Ojolo, S.J., Oke, S.A., Animasahun, B.K., Adesuyi, B.K. (2007). Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Wastes for Biogas Production: A Comparative Analysis, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 4(4): 223-228.
- Onursal, E., Oechsner, E., Ekinci, K. (2011). Biogas Production Potential Of Rose Oil Processing Wastes And Quail Manure İn Türkiye: Assessment By Hohenheim Batch Test, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2011, 7 (4), 393-398.
- Özdemir, H., Yılmaz, S. (2020). Yeşil dönüşüm ve biyogaz üretiminde alternatif materyallerin katkıları. *Environmental Technology & Innovation*, 19(6), 79-92.
- Öztürk, M. (2005). Hayvan gübresinden biyogaz üretimi. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Müsteşarlığı, Ankara.
- Öztürk, M. (2024). Anaerobik çürütme tesislerinde kullanılan bazı atık türleri. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, 191. Sayı.
- Parmar, A., Singh, N. K., Pandey, A., Gnansounou, E., Madamwar D. (2011). Cyanobacteria and microalgae: a positive prospect for biofuels *Bioresource Technology*, 102 (22), pp. 10163-10172.
- Sahota, Ş., Kumar, S., & Lombardi, L. (2024). Gıda atıklarından biyogaz, biyohidrojen ve biyogaz üretimi: Son gelişmeler, teknik darboğazlar ve beklentiler. *Energies*, 17(3), 666. <https://doi.org/10.3390/en17030666>
- Seyhan AK, Badem A, 2018. Erzincan İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması. *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 6 (1): 25-35.
- Shindell, D. (2021). Global Methane Assessment: Benefits of Mitigating Methane Emissions. United Nations Environment Programme.
- Singh, J., Gu, S. (2010). Commercialization potential of microalgae for biofuels production *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 2596-2610.

- Sözer, S. (2024). Türkiye'deki Kesimhane Atıklarından ve Çiftlik Hayvanları Gübrelерinden Elde Edilebilecek Biyogaz Potansiyelinin Tespiti Üzerine Bir Araştırma. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(4), 627-634. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1463671>
- Sözer, S., Kabaş, Ö., & Ünal, İ. (2016). Biyogaz Üretimini Arttırmada Kullanılan Ön İşlemlere Bir Bakış. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(3), 171-176.
- Şahbaz, M., Sulukan, E. (2021). Modeling biomass-based biofuel production and developing a reference energy system for the agricultural sector in Turkey. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 58(2), 171-180. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.731470>
- Şahin, D., Kaya, M. (2021). Yenilenebilir ve sürdürülebilir biyogaz hammaddeleri ve çevresel etkileri. *Journal of Renewable Energy and Sustainability*, 15(1), 45-57.
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2010). *Biyogaz Kılavuzu* (Gözden geçirilmiş baskı). <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/edirtordosya/biyogaz%20kılavuzu%20pdf.pdf> (Erişim Tarihi: 05.02.2025)
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri. *Organik Atıklar*. 2011. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Organik%20At%C4%B1klar.pdf (Erişim Tarihi: 27.12.2024).
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A. (2002). Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues. McGraw-Hill.
- Tırınk S, 2022. Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Hesaplanması: Iğdır İli Örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1): 152-163.
- Toklu, E., (2017). "Biomass energy potential and utilization in Turkey", Renewable Energy, Volume 107, pp. 235-244.
- Vijayalakshmy, M.V. (1985). Biogas Technology Information Package. Bombay: Tata Energy Research Institute.
- Yüksel, G., & Koca, B. (2020). Biyogaz üretimi ve sıfır atık yaklaşımlarının entegrasyonu. *Journal of Environmental Engineering*, 42(8), 342-349.
- Zeeman, G.; Gerbens, S. CH₄ Emissions from Animal Manure. Available online: <https://research.wur.nl/en/publications/ch4-emissions-from-animal-manure>.
- Ziauddin, Z., Rajesh, R. (2015). *Production and Analysis of Biogas from Kitchen Waste*, *International Research Journal of Engineering And Technology*, 2(4): 622-632.
- Uysal, Y., & Öztürk, S. (2020). Geleneksel biyogaz hammaddelerinin enerji verimliliği üzerine etkileri. *Enerji Dergisi*, 22(4), 189-198.
- Yadava, L.S., ve Hesse, P.R. (1981). The development and use of biogas technology in rural areas of Asia. FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No.10.
- Yetiş AD, Gazigil L, Yetiş R, Çelikezen B, 2019. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 74-78.
- Yılmaz, V. (2009). Sürdürülebilir bir sistemde biyogazın yeri. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 2009 - Diyarbakır, 1-10.
- Yılmaz, A. (2022). Sivas yöresinden elde edilen sığır gübresinden biyogaz üretiminde ön işlemlerin biyogaz verimine etkisinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T., Koçer, A. (2017). TÜRKİYE'DE BİYOGAZ ÜRETİMİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİ İSTATİSTİK BİLGİLERİ. *Technological Applied Sciences*, 12(4), 218-232.
- Yürtük F, Erdoğan P. (2015). Düzce İlinin Hayvansal Atıklardan Üretilebilecek Biyogaz Potansiyeli ve K-Means Kümeleme ile Optimum Tesis Konumunun Belirlenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(1): 47-56.
- Zai, W., & Lin, Y. (2022). Sustainable biogas production from agricultural residues: a comprehensive review of strategies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41(6), 3246-3258.