



GreenTech

VOL: 3 – ISSUE: 1 – JUNE 2025

JOURNAL OF GREEN
TECHNOLOGY AND
ENVIRONMENT



ISSN: 2980-2768

www.journalgreentech.com

EDITOR IN CHIEF

Emre Birinci 
Kastamonu University, Türkiye

ASSOCIATE EDITORS

Amir Nourbakhsh 
Research Institute of Forests and Rangelands, Iran

Aujchariya Chotikhun 
Prince of Songkla University, Thailand

Emilia Adela Salcă 
Transilvania University of Brasov, Romania

Jerzy Smardzewski 
Poznan University of Life Sciences, Poland

Martin A. Hubbe 
NC State University, USA

Nadir Ayrılmış 
İstanbul University Cerrahpaşa, Türkiye

Salim Hızıroğlu 
Oklahoma State University, USA

Türker Dündar 
İstanbul University Cerrahpaşa, Türkiye

CONSULTATIVE COMMITTEE

Abdeen Mustafa Omer 
University of Nottingham, UK

Bekir Cihad Bal 
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye

Hülya Kalaycıoğlu 
Karadeniz Technical University, Türkiye

İsmail Aydın 
Karadeniz Technical University, Türkiye

Seng Hua Lee 
Universiti Teknologi MARA, Malaysia

Yanting Gu 
Nanjing Forestry University, China

EDITORIAL BOARD

Ali Kasal 
Muğla Sıtkı Koçman University, Türkiye

Anton Kuzmin 
Mordovian State University, Russia

Edward Loewenstein 
Auburn University, USA

Emre Bayraktar 
The University of Southern Mississippi, USA

Fatih Mengeloğlu 
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye

Ferhat Kara 
Kastamonu University, Türkiye

Hakan Yaşarer 
The University of Mississippi, USA

Lingling Hu 
Zhejiang A&F University, Hangzhou, China

Mehmet Seki 
Karabük University, Türkiye

Muhammad Irfan Ashraf 
University of New Brunswick, Canada

Nihat Sami Çetin 
İzmir Katip Çelebi University, Türkiye

Nilgöl Çetin Özmen 
İzmir Katip Çelebi University, Türkiye

Renato S. Pacaldo 
Mindanao State University, Philippines

Sevgi Kolaylı 
Karadeniz Technical University, Türkiye

LANGUAGE EDITORS

Emre Aktürk 
Kastamonu University, Türkiye

Hızır Volkan Görgün 
İstanbul University Cerrahpaşa, Türkiye

Scientific Synergy for Sustainability: An Editorial Insight into GreenTech Journal's First Issue of 2025 (Editorial Note)

Emre Birinci.....i

Green Human Resources: Strategies for a Sustainable Future (Review Article)

Yeşil İnsan Kaynakları: Sürdürülebilir Gelecek İçin Stratejiler (Derleme Makale)

Serap Kaymakcı.....1-6

Sentetik Bazlı Mobilya Verniği Uygulanmış Lotofa, Zebrano, Sapelli, Ekaba ve Gürgeç Odunlarında Renk Parametrelerinin Karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)

Comparison of Color Parameters in Lotofa, Zebrano, Sapele, Ekaba, and Ash Woods Applied with Synthetic-Based Furniture Varnish (Research Article)

Hüseyin Peker, Osman Çamlıbel, Ümit Ayata, Göksel Ulay.....7-17

Air Pollution Estimation and Trends in Mainz (2017–2022): A Case Study (Research Article)

Mainz Şehrinde Hava Kirliliği Tahmini ve Eğilimleri (2017–2022): Bir Vaka Çalışması (Araştırma Makalesi)

Sahar Gerandanes, Felien Tee, Hâkan Lane.....18-29

Biomass Carbonization, Briquetting and Briquette Characterization: A Review (Review Article)

Biyokütle Karbonizasyonu, Briketleme ve Briket Karakterizasyonu: Bir İnceleme (Derleme Makale)

Munashe Maposa, Marko Chigondo, Charles Rashama, Delroy Nyadenga, Tapiwa Nancy Madziwa, Placxedes Sigauke, Charis Gratitude.....30-44

Antik ve Tarçınlı Doğal Ahşap Yağları ile Muamele Edilmiş Keranji (*Dialium indum* L.) Odununda Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi (Araştırma Makalesi)

Determination of Selected Surface Properties of Keranji (*Dialium indum* L.) Wood Treated with Antique and Cinnamon Natural Wood Oils (Research Article)

Fatih Tuncay Efe, Ümit Ayata, Abdi Atılğan, Hüseyin Peker, Göksel Ulay.....45-52



Editorial Note

Scientific Synergy for Sustainability: An Editorial Insight into GreenTech Journal's First Issue of 2025

Emre Birinci * 

Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, 37150,
Kastamonu/Türkiye

* Correspondence: ebirinci@kastamonu.edu.tr

Dear Scientists and Researchers,

We are pleased to present you with the first issue of 2025. In this issue of *GreenTech – Journal of Green Technology and Environment*, we bring you scientific studies on environmentally friendly technologies, sustainable materials and applications aimed at minimizing environmental impacts. The original research and compilations in this issue bring together innovative approaches to sustainability in different disciplines.

The issue opens with a compilation article titled “**Green Human Resources: Strategies for a Sustainable Future**” written by Serap Kaymakçı. The article comprehensively examines the role of green human resources management in environmentally friendly institutional transformation and shows how basic human resources functions such as recruitment, training and performance evaluation can be transformed with a green vision.

In the study titled “**Comparison of Color Parameters in Lotofa, Zebrano, Sapele, Ekaba, and Ash Woods Applied with Synthetic-Based Furniture Varnish**” prepared on wood surface aesthetics and coating technologies, the effects of synthetic varnish applications on color parameters on five different wood species were meticulously examined. The research provides important contributions on how aesthetic criteria can be supported with engineering data in the furniture industry.

The article “**Air Pollution Estimation and Trends in Mainz (2017–2022): A Case Study**” by Sahar Gerandaneh et al. provides an original methodological contribution to air quality monitoring at the urban scale by presenting a comparative analysis of PM_{2.5} particulate matter concentrations with satellite and ground sensor data. The annual air pollution trends in the city of Mainz and the effects of the pandemic period are evaluated in detail in the study.

The review article titled “**Biomass Carbonization, Briquetting and Briquette Characterization: A Review**” on biomass energy and circular economy systematically addresses the conversion processes of biomass resources in fuel briquette production. Current literature on the potential of biomass resources to sustainable energy, carbonization techniques and physical properties of briquettes has been compiled and a solid basis has been established for future research.

The issue ends with the study by Fatih Tuncay Efe and colleagues titled “**Determination of Selected Surface Properties of Keranji (*Dialium indum* L.) Wood Treated with Antique and Cinnamon Natural Wood Oils**”. This article evaluates the changes in color, brightness and whiteness index of keranji wood treated with environmentally friendly natural oils, combines traditional preservation techniques with modern analyses and suggests ecological alternatives for the wood industry.

The articles in this issue are the product of a vision that supports environmental awareness with scientific data and encourages innovative and sustainable solutions. We would like to thank all our authors and referees and wish our readers an inspiring reading experience.

Citation: Birinci, E. Scientific Synergy for Sustainability: An Editorial Insight into GreenTech Journal's First Issue of 2025. *Journal of GreenTech* 2025, 3(1): i.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15476966>.

Received: 20.05.2025

Revised: 20.05.2025

Accepted: 20.05.2025

Published: 20.05.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Review Article

Green Human Resources: Strategies for a Sustainable Future

Serap Kaymakcı ^{1,*} ¹ Kastamonu University, Kastamonu Vocational School, Department of Human Resources Management, 37150, Kastamonu/Türkiye

* Correspondence: ssaroglu@kastamonu.edu.tr

Abstract: The analysis of the consequences of the Industrial Revolution, which affected various aspects globally including the economy, society and the environment starting with the late 18th century in England, has been in the limelight for quite some time. The exploitation of fossil fuels caused Global warming and greenhouse gases degeneration. Other than that, large scale farming practices that involve the application of heavy pesticides have worsened the situation. The environmental degradation that originated in this time period became the subject of scientific investigation in the twentieth century. Green Human Resource Management (GHRM) is a progressively management principles that embodies all import corporate social responsibility in offering Human Resources Services to the organization. GHRM transforms conventional HR functions, like, recruiting, training, evaluating performance etc, into green variants in a bid to recruit eco-friendly personnel and prepare them for achieving organizational environmental objectives. These actions assist corporations in meeting their obligations towards the external environment and in achieving their corporate social responsibility (CSR) objectives. The successful application of GHRM strategies allows organizations to reach their sustainability objectives, achieve the competitive advantage, and generate economic benefits. Employee eco-centrism and effectiveness of the management of GHRM strategies, as practice underpinned by use of information technology. Therefore, the aim of this study is to provide information about green human resources in the context of global climate change, sustainability and future trends.

Keywords: human resources; green; sustainable

Yeşil İnsan Kaynakları: Sürdürülebilir Gelecek İçin Stratejiler

Citation: Kaymakcı, S. Green Human Resources: Strategies for a Sustainable Future. Journal of GreenTech 2025, 3(1): 1-6.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15345428>.

Received: 17.11.2024
Revised: 27.12.2024
Accepted: 02.01.2025
Published: 30.06.2025



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Öz: Sanayi Devrimi'nin 18. yüzyılın sonlarında İngiltere'de başlamasıyla, dünya genelinde ekonomi, toplum ve çevre alanlarında köklü değişiklikler yaşanmıştır. Fosil yakıtların yaygın kullanımı, sera gazlarının artmasına ve küresel ısınmaya yol açmıştır. Ayrıca, ormanların yok edilmesi ve tarımda kullanılan kimyasallar çevresel etkileri daha da arttırmıştır. Bu dönemde başlayan çevresel sorunlar, 20. yüzyılda bilimsel araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Yeşil İnsan Kaynakları Yönetimi (GHRM), çevresel hedefleri ve sürdürülebilirliği organizasyonların insan kaynakları süreçlerine entegre eden bir yönetim anlayışıdır. GHRM, çevre bilincine sahip çalışanlar istihdam etmek, onları çevre dostu uygulamalar konusunda eğitmek ve çevre hedeflerine ulaşmalarını sağlamak amacıyla işe alım, eğitim ve performans değerlendirme gibi geleneksel insan kaynakları uygulamalarını yeşil bir çerçevede yeniden şekillendirmektedir. Bu uygulamalar, şirketlerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmelerine ve kurumsal sosyal sorumluluk (CSR) hedeflerini gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır. GHRM stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanması, organizasyonların sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını sağlar, rekabet avantajı kazandırır ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Dijitalleşme sayesinde, çevre dostu çalışanlara ulaşmak ve GHRM uygulamalarını daha verimli hale getirmek mümkündür. Bundan dolayı bu çalışmanın amacı küresel iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve gelecekteki eğilimler bağlamında yeşil insan kaynakları hakkında bilgi sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: insan kaynakları; yeşil; sürdürülebilir gelecek

1. Introduction

The climate system has settled into and still continues to keep that trend of the changes seen in the 4.5 billion years of time passed since the creation of the Earth, which is just about the beginning of the earth. The Industrial Revolution, a turning point that originated in England towards the end of the 18th century and eventually spread all over the world, radically altered the three pillars of economy, society, and environment. The revolution, from agricultural to industrial societies, demonstrates the production techniques transformation. The result was that large-scale production, the establishment of factories, new divisions of labor, rapid population growth, and the movement of the countryside to the city were the initial steps. In this period, technology such as mechanical machines and steam power production processes were made more efficient, as well as causing big changes in human life (Driga & Drigas, 2019).

Along with the Industrial Revolution, fossil fuels—particularly coal and later oil—were very much more abundant and used more. The release of these energy sources into the atmosphere, compared to the traditional ones, increased carbon dioxide and other greenhouse gases significantly. Furthermore, the forests were destroyed to a large extent during this period; forest areas were cleared for new agricultural fields and industrial facilities. This, in turn, accelerated the global warming process by increasing the concentration of carbon in the atmosphere (Wang and Azam, 2024)

Changes in agricultural practices have also been an important driving force. The innovations in agriculture and the introduction of machines increased invasion of natural space to give rise to production. The chemicals used in fertilizers and pesticides poisoned the environment and caused the soil to be low and thus affected the ecosystem. Moreover, in addition to the use of coal-based steam locomotives, newly established transportation networks contributed considerably to global CO₂ emissions. Besides, by growing cities, the demand for more energy and natural resources happened, therefore the environmental load increased (Fuglie et al., 2024).

These environmental effects, developed by the Industrial Revolution, began to be subjects of study for scientists in the late 19th century. Nevertheless, these effects only became more explicit during the 20th century. Increasing greenhouse gas emissions and environmental degradation began to attack the problem of the mid-20th-century global warming as a great issue facing the humanity.

Green human resource management refers to the systematic, planned and professional execution of an organization's traditional human resource practices with environmental goals and objectives (Jong & Yusoff, 2016). From this perspective, it can be defined as a part of sustainable human resource management to meet the requirements related to environmental sustainability. These practices can benefit organizations that become 'green and good enough' (Martínez-del-Río et al., 2012; Elahi et al., 2020). When the concept of sustainability is analyzed.

Green human resources have come to the agenda as a result of the environmental responsibility activities carried out by businesses in Europe and America after the 2000s and have started to be studied by researchers. In the literature, there are studies that address the links, scope and functions of green human resources management with sustainability (Ahmad, 2015; Tang et al. 2018). Therefore, the aim of this study is to provide information about green human resources in the context of global climate change, sustainability and future trends.

2. Basic Components of Green Human Resources

In recent decades, green human resource management (HRM) has gained great relevance as the society is in consensus that if not alleviated, the global warming menace will cause a great threat to life. Therefore, carrying out all activities in a green way has become a demand. In recent years the concern over the issues of global warming has increased because it is based on the fact that if it is not controlled, it will most certainly affect all aspects of life. Consequently, there is a pressing importance to adopt green practices in every field. Green Human Resource Management is the transformation of functional areas of human resource management such as job description and analysis, recruitment, selection, training, performance evaluation and rewards into the context of environmental concerns centered around by community (Jabbour et al, 2010; Jabbour et al, 2016). As stated by Uslu and Kedikli (2017), green-HRM in this case means making each member aware of and sensitive to the

environmental behavior and programs every organizational member is trained on, and their participation in green and environmental programs is facilitated. Thus green-HRM while concerned with the creation of green workers is aimed more at ensuring that the company achieves its environmental targets through enhancing sustainability at this juncture.

Green HR policies are quite significant and even play a major role in recruiting. It goes without saying that the hiring process is one of the most important yet delicate phases for any organization as it defines the period's accomplishments. It comes with a perfect opportunity of picking the right individuals and fitting them into the existing organizational structures and processes. Green employment policies are very important for a number of reasons. Economically friendly policies with respect to the employment of new hires affect the very goals of the organization. Environmentally responsible employees are not only good at practicing environmental policing but they also take the companies sustainability policies in collective and active manner when they are recruited to work for such firms. Hiring awareness on environmental issues is also one key aspect in the strategies being employed by companies to reduce their carbon footprints. Moreover, this situation also helps to enhance the corporate social dimension of a company. People and societies would rather do business with companies that are respectful of the environment. This has a positive impact on the society's perception of the particular business. Enrolling professionals with environmental beliefs help in advocating for the environmental stewardship of the company as well as in advancing the enlightenment of the public on such issues. Firms that adopt green HR strategies are seen as more environmentally responsible and are thus a more preferred brand within their sectors. This helps in attracting Other socially responsible employment options and most importantly generation Z as they are the green generation. Sustainability and green strategies create opportunities for firms to differentiate themselves. In addition to other environmentally conscientious job prospects, this helps draw in Generation Z, the environmentally conscious generation. Green practices and sustainability give businesses a competitive edge.

3. Green HR Integration with Sustainability Goals

Green Human Resource Management (GHRM) seeks to enhance the human resource practices in organizations towards environmental issues and in turn include such practices in the organizational culture. This encompasses green recruitment where organizations seek candidates who are committed and aware of environmental concerns and green training and development programs that provide the personnel with the knowledge and skills necessary to embrace trends and initiatives on sustainability (Malik et al., 2020; Swarnalatha, 2020). Many research works have been done on this topic. Duvnjak and Kohont, for instance, demonstrate the significance of human resource management in enhancing sustainability by noting that sustainable HRM practices do not focus purely on financial results and include social and environmental aspects as well (Duvnjak & Kohont, 2021).

GHRM practices involve more than just hiring and skill building. It extends to performance management systems that include sustainability components. This allows for the evaluation of all workers towards environmental objectives and rewarding them for green efforts (Napathorn, 2021; Hasan, 2022). Empirical evidence supports the fact that such integrated practices not only enhance their environmental performance but also inspire and motivate employees as they believe their effort is for the greater good (Swarnalatha, 2020; Chaudhary, 2019). In addition, HR professionals are key to the establishment of corporate environmental culture in any organization. They should be viewed and function as a strategic partner by lobbying for environmental issues to be incorporated in all HR systems and most importantly, promoting the idea of sustainability as an organizational ethos (Yong & Yusliza, 2016; Mehta & Chugan, 2015).

The success of GHRM practices would solely rely on the devotion of the top management and coherence of the practices with the strategy of the organization. The Resource-Based View (RBV) theory endorsed by Yusliza and others shows that GHRM practices help organizations strategize toward gaining a competitive advantage (Yusliza et al., 2017). This further strategy coherence is supported by Kramar's sustainability model that insists on the need for strategic human resource management (SHRM) policy to produce profit, social and environmental benefits at the same time (Kramar, 2022). In this case therefore, the organizations should not only embrace the GHRM practices but also have the practices incorporated into the strategic scope of the whole organization.

4. Identifying and Implementing Green HR Strategies within the Framework of Sustainability

The increasing adoption of Green Human Resource Management (GHRM) strategies is appreciated as a significant blue print for sustainability in organizations. GHRM includes a set of practices that are concerned with human resource strategies and policies implemented towards the environment or sustainability. In addition to reducing the carbon footprints of the organizations, these strategies also help in retaining and engaging the employees improving organizational efficacy.

One of the core aspects of GHRM, however, is Green Orientation in different HR practices, viz., Recruitment, Training & Development, Appraisal, and Employee Relations. For example, prospective hires are encouraged to examine the so-called “green recruitment.” This is a recruitment strategy that wales to hire people who are ‘aware’ of sustainable issues in their employment (Sabapathy et al., 2023). This is crucial because sustainability principles are trained to the whole agency’s staff so that they all gravitate towards the organization’s green overall objectives (Shahriari & Hassanpoor, 2019). Refresher courses on environmental issues and green values for employees help them in continuing with such activities which in turn boosts their job satisfaction and organizational loyalty (Sarada, 2022).

GHRM practices have been proven to positively impact an organization’s sustainability by increasing employee motivation and retention. The positive relationship between green HRM and employee engagement is evidenced by studies showing that turnover rates are lower and employee morale is higher in organizations that implement green approaches (Shahriari & Hassanpoor, 2019; Westerman & Nafees, 2021). In addition, the implementation of GHRM has been associated with the creation of a green organizational culture, which is a requisite for the successful execution of sustainable strategies (Harris & Tregidga, 2012). This type of culture encourages the acquisition of employees with pro-environmental attitudes while helping in keeping those employees who are willing to work towards the sustainability of the organization (Ali et al., 2021).

Integrating HR strategies with sustainability objectives is essential to sustaining the long-term success of the organization. Previous studies indicate that the organizations that successfully manage to embed GHRM into their strategic agenda tend to be competitive, more so because their image and efficiency is improved (Dwivedi et al., 20-21; Longoni & Cagliano, 2016). For instance, those companies that implement sustainability-oriented HR strategies have been found to attract more positive responses from consumers and other stakeholders, enhancing their competitive advantage (Opatha & Arulrajah, 2014). Furthermore, GHRM practices bring economic benefits by reducing costs associated with waste management and maximization of resource use, thus promoting the sustainability of the organization (Sarada, 2022; Elziny, 2019). Traditional Human Resource Management practices have been influenced by the rapid concerns on green practices that have brought about changes in the GHRM. In order to encourage environmental sustainability within an organization, it is necessary to implement the GHRM among the employees and their activities. GHRM involves recruitment of employees and staffing which are primary functions of GHRM functions. Traditional Human Resource Management methods have been affected by the rapid concerns on vertical integration practices around GHRM debris. Human Resource Management in a Green Way and one of the newest- Global Human Resource Management is a branch of a modern organizational life.

5. Innovative Practices and Technological Developments in The Field of Green Human Resources

Training and development are part of GHRM as well. Green training programs prepare the employees with the skills and know-how to implement sustainable actions in their positions. Research shows that companies where green training is practiced do not only build the employee skills but also improve the performance of the company as a whole (Nisar et al., 2023). In addition, the building of green skills is of high importance to help create a workforce that is concerned with sustainability since such employees can actively participate in the turbocharging of sustainability measures (Napathorn, 2021). A GHRM focus means that training on environmental impacts and responsibility is of strategic value as such programs show the potential for decrease of unwanted negative impacts such as pollution, resource depletion and the likes (Sathasivam et al., 2021). GHRM systems incorporate the performance management systems which focus on the evaluation and rewarding of

employees upon their sustainability efforts if any. This includes the introduction of green performance indicators such as, inclusive and organizational targets for environmental performance (Jamil, 2023). By the use of these performance measures, the behavior encouraging towards environmental protection can be promoted to employees, which is very essential if the organization is to achieve the sustainability goals (Saeed et al., 2018). In addition, it has been noted that integrating green goals in the performance management system has a positive impact on the organizational sustainability commitment of the employees (KishanVarma, 2019).

Technology is, however, an equally important factor that accounts for the changes in GHRM practices over time. The digital technologies and applications in recruitment, training and performance management among others are expected to simplify and improve the GHRM processes. For example, a study done by Vochin et al. (2023) suggested that, the use of the internet for recruitment of individuals with an environmentally friendly culture also known as green recruitment expands the markets of green job applicants. In the same line of thought, it is possible to create an internet-based training program that teaches green skills and avoids the emissions associated with face-to-face training (Hossen et al., 2018). Hence, it can be said that the changes one meets in GHRM thanks to new practices and technologies are very important for companies that wish to improve their sustainability results. Thus, integrating green initiatives in recruitment, training and performance management will enable organizations develop a productive workforce who are also environmental champions. These initiatives are also underpinned by the rapid evaporation of the technology gap in the global arena which enables organizations to work towards their sustainability objectives.

6. Conclusions

In view of the ever-increasing effects of global warming, environmental change has greatly spurred the operations of organizations, antisocial behavior being one of them. One of the means of fulfilling these sustainability ambitions is Strategic Green Human Resource Management (GHRM). The importance of GHRM is in the fact that it helps an organization build an ethical environment by integrating the issue of the environment in the already existing human resources activities. Activities like green recruitment, training and performance management, increase the employees' environmental consciousness and at the same time encourage and motivate them to take part in the sustainability initiatives geared towards. The social objectives of the organizations include, but are not limited to, the corporate social responsibility (CSR) practices which they consider, alongside the economic sustainability practices, easier to achieve by practicing green HR policies. Indeed, the recent inclination towards HR digitalization has improved the organization's ability to attract the eco-centric employees, thereby enhancing the efficiency of GHRM. On a final note, GHRM is much needed today, more than it has ever been in the history of mankind looking at the fact that being environmentally sustainable is a competitive advantage and leads to the growth of any business in the long run. Implementation of GHRM policies will be necessary in for the sustained growth of the organization without compromising on its environmental and economic goals.

Funding: This research received no external funding.

References

- Ahmand S (2015) Green human resource management: policies and practices. *Cogent Business & Management* 2(1), 1–13.
- Ali, M., Puah, C., Ali, A., Raza, S., & Ayob, N. (2021). Green intellectual capital, green hrm and green social identity toward sustainable environment: a new integrated framework for islamic banks. *International Journal of Manpower*, 43(3), 614–638. <https://doi.org/10.1108/ijm-04-2020-0185>.
- Chaudhary, R. (2019). Green human resource management and employee green behavior: an empirical analysis. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(2), 630–641. <https://doi.org/10.1002/csr.1827>.
- Duvnjak, B. and Kohont, A. (2021). The role of sustainable hrm in sustainable development. *Sustainability*, 13(19), 10668. <https://doi.org/10.3390/su131910668>.
- Driga, A.M. and Drigas Athanasios, S. (2019) Climate Change 101: How Everyday Activities Contribute to the Ever-Growing Issue. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT*, 7, 22–31.
- Dwivedi, P., Chaturvedi, V., & Vashist, J. (2021). Innovation for organizational sustainability: the role of hr practices and theories. *International Journal of Organizational Analysis*, 31(3), 759–776. <https://doi.org/10.1108/ijoa-07-2021-2859>.

- Elziny, M. (2019). The impact of green human resource management on hotel employees' eco-friendly behavior. *International Academic Journal Faculty of Tourism and Hotel Management*, 5(1), 107–126. <https://doi.org/10.21608/ijaf.2019.95465>.
- Fuglie, K., Morgan, S., & Jelliffe, J. (2024). World agricultural production, resource use, and productivity, 1961–2020 (Report No. EIB-268). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://doi.org/10.32747/2024.8327789.ers>.
- Harris, C. and Tregidga, H. (2012). Hr managers and environmental sustainability: strategic leaders or passive observers?. *The International Journal of Human Resource Management*, 23(2), 236–254. <https://doi.org/10.1080/09585192.2011.561221>.
- Hasan, A. (2022). Revisiting the impact of green human resource management practices on the sustainable environmental performance: an emerging economy perspective. *Iiuc Business Review*, 123–146. <https://doi.org/10.3329/iucbr.v8i1.62178>.
- Hossen, M., Begum, M., & Sultana, F. (2018). Managing human resource through green policy: ways out and its implication. *Trikonomika*, 17(2), 49. <https://doi.org/10.23969/trikonomika.v17i2.1093>.
- Jamil, S. (2023). The role of green recruitment on organizational sustainability performance: a study within the context of green human resource management. *Sustainability*, 15(21), 15567. <https://doi.org/10.3390/su152115567>.
- KishanVarma, M. (2019). The strategic implications of green hrm practices towards employee organizational commitment an inferential analysis. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 14(5). <https://doi.org/10.26782/jmcms.2019.10.00050>.
- Kramar, R. (2022). Sustainable human resource management: six defining characteristics. *Asia Pacific Journal of Human Resources*, 60(1), 146–170. <https://doi.org/10.1111/1744-7941.12321>.
- Longoni, A. and Cagliano, R. (2016). Human resource and customer benefits through sustainable operations. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(12), 1719–1740. <https://doi.org/10.1108/ijopm-11-2014-0564>.
- Malik, S., Cao, Y., Mughal, Y., Kundi, G., Mughal, M., & Ramayah, T. (2020). Pathways towards sustainability in organizations: empirical evidence on the role of green human resource management practices and green intellectual capital. *Sustainability*, 12(8), 3228. <https://doi.org/10.3390/su12083228>.
- Mehta, K. and Chugan, P. (2015). Green hrm in pursuit of environmentally sustainable business. *Universal Journal of Industrial and Business Management*, 3(3), 74–81. <https://doi.org/10.13189/ujibm.2015.030302>.
- Napathorn, C. (2021). The development of green skills across firms in the institutional context of thailand. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, 14(4), 539–572. <https://doi.org/10.1108/apjba-10-2020-0370>.
- Nisar, Q., Hussain, K., Sohail, S., Yaghmour, S., Nasir, N., & Haider, S. (2023). Green hrm and sustainable performance in malaysian hotels. *Tourism*, 71(2), 367–387. <https://doi.org/10.37741/t.71.2.9>.
- Opatha, H. and Arulrajah, A. (2014). Green human resource management: simplified general reflections. *International Business Research*, 7(8). <https://doi.org/10.5539/ibr.v7n8p101>.
- Sarada, V. (2022). The role of green hrm in driving environmental responsibilities in organisations: a case study of manufacturing company. *ecb*. <https://doi.org/10.53555/ecb/2022.11.1129>.
- Saeed, B., Afsar, B., Hafeez, S., Khan, I., Tahir, M., & Afridi, M. (2018). Promoting employee's proenvironmental behavior through green human resource management practices. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(2), 424–438. <https://doi.org/10.1002/csr.1694>.
- Sathasivam, K., Hashim, R., & Bakar, R. (2021). Automobile industry managers' views on their roles in environmental sustainability: a qualitative study. *Management of Environmental Quality an International Journal*, 32(5), 844–862. <https://doi.org/10.1108/meq-09-2020-0194>.
- Shahriari, B. and Hassanpoor, A. (2019). Green human resource management in the east and west. *Revista Gestão & Tecnologia*, 19(2), 27–57. <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2019.v19i2.1546>.
- Tang, G., Chen, Y., Jiang, Y., Paillé, P., Jia, J. 2017. Green human resource management practices: scale development and validity, *Asia Pacific Journal of Human Resources*, 56(1), 31–35. <https://doi.org/10.1111/1744-7941.12147>.
- Vochin, O., Sârbu, A., Pamfilie, R., & Sârbu, R. (2023). The role of human resources function in promoting sustainability on oil & gas industry., 176–182. <https://doi.org/10.24818/basiq/2023/09/069>.
- Wang, J. and Azam, W. (2024) Natural Resource Scarcity, Fossil Fuel Energy Consumption, and Total Greenhouse Gas Emissions in Top Emitting Countries. *Geoscience Frontiers*, 15, Article 101757. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>.
- Westerman, J. and Nafees, L. (2021). Cultivating support for the sustainable development goals, green strategy and human resource management practices in future business leaders: the role of individual differences and academic training. *Sustainability*, 13(12), 6569. <https://doi.org/10.3390/su13126569>.
- Yong, J. and Yusliza, M. (2016). Studying the influence of strategic human resource competencies on the adoption of green human resource management practices. *Industrial and Commercial Training*, 48(8), 416–422. <https://doi.org/10.1108/ict-03-2016-0017>.
- Yusliza, M., Othman, N., & Jabbour, C. (2017). Deciphering the implementation of green human resource management in an emerging economy. *The Journal of Management Development*, 36(10), 1230–1246. <https://doi.org/10.1108/jmd-01-2017-0027>.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s). *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Araştırma Makalesi

Sentetik Bazlı Mobilya Verniği Uygulanmış Lotofa, Zebrano, Sapelli, Ekaba ve Gürgen Odunlarında Renk Parametrelerinin KarşılaştırılmasıHüseyin Peker ¹, Osman Çamlıbel ², Ümit Ayata ^{3,*} ve Göksel Ulay ⁴¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin/Türkiye² Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, 71450, Kırıkkale/Türkiye³ Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Böl., 69000, Bayburt/Türkiye⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Pr., 65090, Van/Türkiye

* Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com

Öz: Bu çalışmada, lotofa (*Sterculia Rhinopetala*), zebrano (*Microberlinia brazzavillensis*), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), ekaba / ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarına ait deney örneklerinin yüzeylerine sentetik bazlı mobilya verniği uygulanmış olup, meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler karşılaştırılmıştır. Bütün ağaç türlerine vernik uygulanması ile kontrol örneklerine kıyasla L^* ve h^o değerlerinde azalışlar tespit edilirken, a^* parametresinde artış belirlenmiştir. Renk formüllerine göre ΔE^* değerleri zebrano odunu için 20.88, ekaba odunu için 12.60, lotofa odunu için 10.98, sapelli odunu için 9.71 ve adi gürgen odunu için 7.85 olarak hesaplanmıştır. Ekaba ve adi gürgen odunlarında C^* ve b^* değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Sapelli odununda ise C^* ve b^* değerlerinde azalışlar görülmüştür. Lotofa ve zebrano odunlarına bakıldığında, C^* parametresinde artışlar tespit edilirken, b^* değerlerinde azalışlar bulunmuştur. Bütün varyans analizleri anlamlı olarak bulunmuştur. Yapılan sentetik bazlı mobilya vernik uygulaması ile bütün renk parametrelerinde değişimler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ekaba; lotofa; zebrano; sapelli; vernik**Comparison of Color Parameters in Lotofa, Zebrano, Sapele, Ekaba, and Ash Woods Applied with Synthetic-Based Furniture Varnish**

Atıf: Peker, H., Çamlıbel, O. Ayata, Ü. ve Ulay, G. Sentetik Bazlı Mobilya Verniği Uygulanmış Lotofa, Zebrano, Sapelli, Ekaba ve Gürgen Odunlarında Renk Parametrelerinin Karşılaştırılması. Journal of Green-Tech 2025, 3(1): 7-17.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15371530>.

Geliş: 08.04.2025

Revizyon: 30.04.2025

Kabul: 09.05.2025

Yayın: 30.06.2025



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: In this study, synthetic-based furniture varnish was applied to the surfaces of test specimens made from lotofa (*Sterculia rhinopetala*), zebrano (*Microberlinia brazzavillensis*), sapele (*Entandrophragma cylindricum*), ekaba / ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.), and common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) woods, and the resulting changes in colour parameters were compared. With the application of varnish to all wood species, decreases in L^* and h^o values were detected compared to the control samples, while an increase in a^* parameter was observed. According to the color formulas, the ΔE^* values were calculated as 20.88 for zebrano wood, 12.60 for ekaba wood, 10.98 for lotofa wood, 9.71 for sapele wood, and 7.85 for common beech wood. In ekaba and common beech woods, increases in C^* and b^* values were obtained. However, in sapele wood, decreases in C^* and b^* values were observed. When looking at lotofa and zebrano wood, increases in the C^* parameter was detected, while decreases in b^* values were found. All variance analyses were found to be significant. With the application of synthetic-based furniture varnish, changes were observed in all colour parameters.

Keywords: ekaba; lotofa; zebrano; sapelli; varnish

1. Giriş

Ahşap, insan için her zaman vazgeçilmez bir malzeme olmuştur; toprakla birlikte, en eski kullanılan malzemedir. Ahşabın kullanımı, zaman içinde çeşitli ve farklı şekillerde olmuştur; nesne yapımında, enerji kaynağı olarak veya inşaatta kullanılmıştır. Ahşabın inşaatta kullanımı, çok eski zamanlara kadar uzanır (Merlin ve ark., 2018). Diğer malzemelere kıyasla, ahşap, deseni, düğümleri ve rengi gibi estetik özellikleriyle belirli özelliklere sahip olmaktadır (Broman, 2000; Cecchini, 2014).

Ahşap, inşaat ve dekorasyon amaçları için olağanüstü bir malzeme olmaya devam etmektedir. Ahşabın renginin, damarlarının ve dokusunun zarafetini ve görünümünü sergilemek, doğal ürünlere olan genel eğilimi desteklemektedir. Ahşabın doğal güzelliğini vurgulamak ve korumak için şeffaf veya yarı şeffaf üst yüzey koruma sıvıları tasarlanmıştır. Bu görünümün, nihai ürünün kullanım ömrü boyunca korunabilmesi için üst yüzey koruma sıvıları sistemlerinin yüksek performans ve dayanıklılık göstermesi zorunludur (Schaller ve Rogez, 2007).

Ahşap yüzeyinin hazırlanması, bitirme işlemi öncesinde önemli bir süreçtir ve üst yüzey koruma sıvılarının yüzey özellikleri (renk, parlaklık ve pürüzlülük) üzerinde olduğu üst yüzey koruma sıvılarının alt tabakaya yapışması üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir. Genellikle bu işlem planyalama, yüz frezeleme ve zımparalama gibi yöntemlerle yapılabilmektedir (De Hernandez ve Cool, 2008).

Birçok insan ahşap için üst yüzey koruma sıvıları seçerken en çok görünümü önemsemektedir. Ancak teknik açıdan bakıldığında, dış mekânda kullanılan ahşap için koruma en önemli unsurken, iç mekânda kullanılan ahşap için temizlenebilir bir yüzey sağlamak daha önemli olmaktadır. Üst yüzey koruma sıvıları kullanılarak hava koşullarına karşı koruma sağlanmasına rağmen, üst yüzey koruma sıvıları altındaki ahşabın bozulması tamamen önlenemese de daha yavaş bir hızla devam etmektedir. Genellikle ahşap bozulması, ağırlık kaybı ölçümleri, renk ölçümleri, mekanik testler, FT-IR spektroskopisi, optik ve elektron mikroskobu gibi yöntemlerle incelenmiştir (Francesca Lionetto ve ark., 2012). Farklı yapı desenlerinin çeşitliliği, radyal ve teğetsel yönlerde en yaygın uzunlamasına ölçümlerden elde edilebilmektedir (Csanady ve ark., 2015).

Üst yüzey koruma sıvıları, şeffaf ve opak olarak ikiye ayrılabilir. Şeffaf üst yüzey koruma sıvıları genellikle ahşap ve ahşap dekorasyon malzemelerinin yüzeyinde kullanılır. Şeffaf üst yüzey koruma sıvıları, ahşap dokusunun estetik özelliklerini korumanın yanı sıra, dış etkenlere karşı direnç gösterme yeteneğini de artırabilmektedir. Ancak üst yüzey koruma sıvıları ve ahşap, her ikisi de yüksek polimer malzemeler kategorisine girdiğinden, ısı, ısı veya su gibi çevresel faktörler nedeniyle kolayca bozunabilmektedir. Bu durum, üst yüzey koruma sıvılarına ait filminin ve kaplanan malzemenin solmasına neden olarak, dekoratif performansı ve malzemelerin kullanım ömrünü olumsuz etkileyebilmektedir (Guo ve ark., 2009; Liu ve ark., 2012).

Vernik ürünlerinin temel işlevi, ürünü korozyondan, aşınmadan, kirden ve güneşin ultraviyole ışınları tarafından gerçekleştirilen foto-termik bozulmalardan korumaktır. Ancak zamanla, nihai kullanıcıların ilgisi giderek daha fazla, özellikle yapı uygulamalarında, ürünün estetik görünümünün korunması veya iyileştirilmesine yönelmiştir (Camerano, 2021).

Geleneksel vernikler reçine ve kurutma yağlarının karışımlarından oluşur, ancak çoğu artık modifiye edilmiş alkid reçineleri kullanır. Poliüretan vernikler çeşitli yüzeyler sunar. Mat, saten veya parlak ve su veya solvent bazlı sistemlerle formüle edilmektedir. Dış mekân ahşap işçiliği için tercih edilen solvent bazlı sistemler, potansiyel olarak 80 mikrometreye kadar ulaşan kalınlıklarla daha sert ve daha dayanıklı üst yüzey koruma sıvıları üretmektedir. Bu ürünler genellikle ahşabın doğal görünümünü korumak, zenginleştirmek veya renklendirmek için kullanılır. Formülasyonlar genellikle ahşabı ultraviyole ışığın zararlı etkilerinden korumak için filtreleme maddeleri içermektedir (Lyons, 2012).

Tüm doğal ve sentetik vernikler, zamanla oksidasyon nedeniyle düşük polariteli çözücülerde daha az çözünür hale gelir. Ancak, sentetik vernikler çapraz bağlanma olgusu nedeniyle de daha az çözünür hale gelebilmektedir. Çoğu sentetik vernik, yüzlerce tekrarlayan birimden oluşan uzun zincirli polimerik yapılardan oluşmaktadır. Bu uzun zincirler kimyasal olarak bağlanırsa, polimer başlangıçta çözünbildiği çözücülerde nihayetinde çözünmez hale gelmektedir. Çapraz bağların sayısı nispeten düşük olduğunda, polimer uygun çözücü ile şişirilerek ve ardından mekanik olarak çıkarılarak çıkarılabilmektedir (Lomax ve Fisher, 1990).

Verniklerde sertleşme süreci çok önemlidir. Çünkü bu süreç, farklı bileşenlerin dağılmış halde bulunduğu bir sıvıdan, altındaki yüzeyi üst yüzey koruma sıvıları ve koruma işlevini yerine getirecek ve istenen mekanik özelliklere ulaşacak katı ve sert bir film oluşturmaya olanak tanınmaktadır (Pallotta, 2019).

Ahşap için üst yüzey koruma sıvıları sıcaklığa duyarlı tonlar kullanılmaktadır. Tonerin tepki sıcaklığına ısıtılıp soğutulduktan sonra, kaplanmış malzemenin rengi renksiz bir forma dönüşecek ya da çok renkli bir fenomen gözlemlenecektir. Renk solarken, ahşap rengi ton eklenmemiş ahşaba benzer hale gelmektedir. Şeffaf vernik uygulandığında, renk değişimi gecikmeli olarak ortaya çıkmaktadır (Zhu ve ark., 2017; 2018; Hu ve ark., 2020).

Literatürde farklı ağaç türlerine ait odunlar üzerinde çeşitli vernik türlerinin uygulandığı bildirilmiştir [sipo ve maun (Ayata ve ark., 2024a), limon, karaçam, kotibé, iroko ve Malta eriği (Ulay ve ark., 2025), ceviz, paulownia, akça ağaç, Amerikan beyaz meşesi, Avrupa melezi, Afrika mahonu, küçük yapraklı ıhlamur, Avrupa dişbudak (Mitan ve ark., 2019), yalancı akasya (Ayata ve ark., 2024b), kızıl ağaç ve huş (Bekhta ve ark., 2022), İsveç çamı (Ayata ve Bal, 2024), kızıl ağaç (Salca ve ark., 2021), rubber, keranji, niové, keruing ve berangan (Çamlıbel ve Ayata, 2024), sarıçam (Liu ve ark., 2012), mersawa, sucupira, bilinga, doğu çınarı ve doussié (Peker ark., 2025)]. Ama literatürde zebrano, ekaba, lotofa, sapelli ve adi gürgen odunlarına sentetik bazlı mobilya verniğinin uygulanmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, zebrano (*Microberlinia brazzavillensis*), ekaba / ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.), lotofa (*Sterculia Rhinopetala*), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarına uygulanmış sentetik bazlı mobilya verniği katmanlarında elde edilen renk parametreleri araştırılmıştır. Bu çalışma, farklı ağaç türlerinde sentetik bazlı mobilya verniği uygulamasının renk parametreleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ahşap malzemelerin görünümü, genellikle renk değişimleri ve yüzey özellikleriyle şekillenir. Ancak, her ağaç türü farklı kimyasal bileşenler ve yapısal özelliklere sahip olduğundan, vernik uygulamaları bu türlere göre değişen renk etkileri yaratabilir. Bu nedenle, farklı ağaç türlerinde, özellikle zebrano, ekaba, lotofa, sapelli ve adi gürgen gibi türlerde vernik uygulamalarının renk parametrelerine olan etkilerini anlamak önemlidir. Bu tür çalışmalar, mobilya ve dekorasyon sektöründe kullanılan ahşap malzemelerin estetik özelliklerini iyileştirmek adına önemli bilgiler sunar. Vernik uygulamalarının hangi ağaç türlerinde nasıl renk değişimlerine neden olduğu, tasarımcıların ve üreticilerin daha bilinçli seçimler yapmalarına olanak sağlar. Sonuç olarak, bu araştırma, vernik uygulamalarının estetik açıdan nasıl daha etkili kullanılabileceğine dair değerli bilgiler sunarak, daha kaliteli ve estetik açıdan tatmin edici ahşap ürünlerin üretilmesine katkıda bulunacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, lotofa (*Sterculia Rhinopetala*), zebrano (*Microberlinia brazzavillensis*), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), ekaba - ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.) ve adi gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarına ait deney örnekleri 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Numune sayısı 10'ar tane olmaktadır. Daha sonra, bu numuneler üzerinde 20±2°C ile %65 bağıl nemde olacak şekilde iklimlendirme uygulamaları yapılmıştır (ISO 554, 1976).

Araştırmada özel bir firmaya ait olan sentetik bazlı mobilya verniği (renksiz, katı madde miktarı: %48±10, özgül ağırlık: 0.90±1 gr/cm³) satın alınma yöntemiyle elde edilmiştir.

2.2. Metot

Bir titreşim zımpara makinesi ve 80, 100, 120 kum zımparaların kullanılması ile ahşap malzeme yüzeylerinde zımparalama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Verniklenmiş olan ahşap malzemelere ait yüzeyler kir, zımpara tozu ve yağdan arındırılmıştır. Ahşap malzemeye ait yüzeyin nemli, ıslak olmamasına özen gösterilmiştir. Yüzeylere 2 kat uygulama bir fırça yardımıyla gerçekleştirilmiştir (uygulama alanı: 10-12 m²/lt, kuruma süresi: toz tutmama kuruması 8 saat, sert kuruma 24 saat). Uygulamada firma önerileri doğrultusunda uygulama yapılmıştır. Vernikleme işlemi, ASTM D3023-98 (2017) standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Renk, maddenin kendine özgü bir özelliği olmayıp, ışığın neden olduğu ve gözlemcinin gözü ve beyni tarafından işlenen algısal bir olgunun etkisidir. Objektif ölçümü için, bir nesneyi veya aydınlatıcıyı aydınlatan ışık miktarının belirtilmesi gerekir. Kroma değeri (C^*) merkezde sıfırdır ve merkezden uzaklaştıkça artar. Renk tonu açısı (h°) tanım gereği $+a^*$ yarı ekseninden başlar; 0° 'de kırmızı, 90° 'de sarı, 180° 'de yeşil ve 270° 'de mavi vardır (Cecchini, 2014). ΔC^* : kroma kısmı veya doygunluk farkı ve ΔH^* : ton bölümü veya gölge farkı olarak açıklanmıştır (Lange, 1999).

Renk değişimleri, CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8° /dağınık aydınlatma)] cihazı kullanılarak ölçülmüştür (ASTM D 2244-3, 2007). Renk ölçümleri her zaman numune üzerinde işaretlenen aynı noktalarda gerçekleştirilmiş olup, 10'ar ölçüm alınarak yapılmıştır. Ayrıca diğer parametrelere ait tanımlamalarda Tablo 1'de sunulmuştur (Lange, 1999).

Tablo 1. Δa^* , ΔL^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999).

Pozitif sonuç için	Parametre üzerinde referansa göre elde edilen durumda	Negatif sonuç için
Daha açık	ΔL^*	Daha koyu
Daha kırmızı	Δa^*	Daha yeşil
Daha sarı	Δb^*	Daha mavi
Daha net, daha parlak	ΔC^*	Mat, daha bulanık

ΔE^* kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Elde edilen ΔE^* için karşılaştırma kriterleri (DIN 5033, 1979).

Toplam renk farkı (ΔE^*)	Görsel renk puanı farkı	Toplam renk farkı (ΔE^*)	Görsel renk puanı farkı
<0.2	Algılanamaz	3.0 ile 6.0	Çok belirgin
0.2 ile 0.5	Çok zayıf	6.0 ile 12.0	Güçlü
0.5 ile 1.5	Zayıf	>12.0	Çok güçlü
1.5 ile 3.0	Belirgin		

Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

Bir istatistik programı ile standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri, ortalama değerleri, homojenlik grupları, varyans analizleri ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

L^* parametresi için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. L^* değeri için; ağaç türü (A), vernik uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. L^* parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (* anlamlı)
Ağaç türü (A)	3215.428	4	803.857	625.903	0.000*
Vernik uygulama (B)	2832.581	1	2832.581	2205.518	0.000*
Etkileşim (AB)	520.038	4	130.010	101.229	0.000*
Hata	115.588	90	1.284		
Toplam	273377.384	100			
Düzeltilmiş toplam	6683.636	99			

L^* değerlerine ait sonuçlar Tablo 4’de sunulmaktadır. Sentetik bazlı mobilya verniği uygulaması sonucunda, çalışmada yer alan tüm ağaç türlerinin L^* (açıklık) değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Lotofa ağacında L^* değeri vernik uygulanmadan önce 53.31 iken, vernik uygulandıktan sonra 43.42’ye düşmüş ve bu değişim %18.55 oranında gerçekleşmiştir. Zebrano ağacında ise L^* değeri 61.31’den 42.00’ye düşmüş, bu da %31.50 ile en yüksek renk açıklığı kaybı olarak dikkat çekmiştir. Sapelli ağacında 47.86 olan L^* değeri, vernik sonrası 38.32’ye inmiş ve %19.93’lük bir azalma meydana gelmiştir. Ekaba ağacında L^* değeri 59.99’dan 51.36’ya düşerek %14.39 oranında bir azalma göstermiştir. Adi gürgen ise en az değişimi gösteren tür olmuş; 62.35 olan L^* değeri vernik sonrası 56.50’ye düşmüş ve değişim oranı %9.38 olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler, vernik uygulamasının her ağaç türünde yüzeyin daha koyu görünmesine neden olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Zebrano gibi türlerde renk değişimi oldukça belirgin olurken, Adi gürgen gibi türlerde bu etki daha sınırlı kalmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. L^* değerlerine ait sonuçlar.

Ağaç türü	İşlem	Ortalama	Değişim oranı (%)	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı
Lotofa	Verniklenmemiş	53.31		E	2.15	50.94	55.79	4.03
	Verniklenmiş	43.42	↓18.55	H	1.17	41.96	45.57	2.69
Zebrano	Verniklenmemiş	61.31		B	1.78	57.64	63.01	2.90
	Verniklenmiş	42.00	↓31.50	I	0.94	40.31	43.35	2.25
Sapelli	Verniklenmemiş	47.86		G	0.17	47.47	48.06	0.36
	Verniklenmiş	38.32	↓19.93	J*	0.41	37.66	38.77	1.06
Ekaba	Verniklenmemiş	59.99		C	0.98	58.74	61.34	1.63
	Verniklenmiş	51.36	↓14.39	F	0.89	49.84	52.48	1.73
Adi gürgen	Verniklenmemiş	62.35		A*	0.53	61.09	63.02	0.85
	Verniklenmiş	56.50	↓9.38	D	0.77	55.20	57.29	1.36

*En yüksek değer, **En düşük değer.

a^* parametresi için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. a^* parametresi için ağaç türü (A), vernik uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. a^* parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (* anlamlı)
Ağaç türü (A)	822.930	4	205.733	774.154	0.000*
Vernik uygulama (B)	553.237	1	553.237	2081.784	0.000*
Etkileşim (AB)	181.346	4	45.337	170.597	0.000*
Hata	23.918	90	0.266		
Toplam	17491.975	100			
Düzeltilmiş toplam	1581.432	99			

a^* değerlerine ait sonuçlar Tablo 6’da gösterilmektedir. Verilen tablo, sentetik bazlı mobilya verniği uygulanmış ve uygulanmamış farklı ağaç türlerinde a^* (kırmızı-yeşil renk eksen) parametresindeki değişimi göstermektedir. a^* değerinin artması, yüzeyin kırmızı tonlarının arttığını, yani rengin daha sıcak ve kırmızıya yakın bir hale geldiğini ifade eder. Sentetik bazlı mobilya verniği uygulaması sonucunda, tüm ağaç türlerinde a^* değeri artmıştır. Bu durum, verniğin ahşap yüzeylerde kırmızımsı tonları belirginleştirdiğini göstermektedir. Lotofa ağacında a^* değeri vernik uygulanmadan önce 11.46 iken, vernik uygulaması

sonrası 16.21'e yükselmiş ve bu da %41.45 oranında bir artışla sonuçlanmıştır. Zebrano ağacında ise a^* değeri 7.85'ten 15.66'ya çıkarak %99.49 gibi oldukça yüksek bir artış göstermiştir. Bu, vernik uygulamasının Zebrano ağacında kırmızılık tonunu neredeyse iki katına çıkardığını göstermektedir. Sapelli ağacında 11.13 olan a^* değeri, vernik uygulamasıyla birlikte 11.80'e yükselmiş ve sadece %6.02 oranında sınırlı bir artış meydana gelmiştir. Ekaba ağacında ise a^* değeri 13.63'ten 21.02'ye çıkarak %54.22'lik bir artış göstermiştir. Adi gürgen ağacında ise 7.24 olan a^* değeri, vernik sonrası 10.15'e yükselmiş ve %40.19 oranında bir artış gerçekleşmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. a^* değerlerine ait sonuçlar.

Ağaç türü	İşlem	Ortalama	Değişim oranı (%)	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı
Lotofa	Verniklenmemiş	11.46		EF	0.30	11.05	11.83	2.62
	Verniklenmiş	16.21	↑41.45	B	0.45	15.51	16.98	2.81
Zebrano	Verniklenmemiş	7.85		H	0.35	7.29	8.28	4.44
	Verniklenmiş	15.66	↑99.49	C	0.37	15.15	16.28	2.36
Sapelli	Verniklenmemiş	11.13		F	0.25	10.83	11.75	2.27
	Verniklenmiş	11.80	↑6.02	E	0.31	11.36	12.19	2.65
Ekaba	Verniklenmemiş	13.63		D	1.09	12.52	15.70	7.97
	Verniklenmiş	21.02	↑54.22	A*	0.74	19.73	22.31	3.51
Adi gürgen	Verniklenmemiş	7.24		I**	0.23	6.90	7.52	3.21
	Verniklenmiş	10.15	↑40.19	G	0.41	9.66	10.91	4.01

*En yüksek değer, **En düşük değer.

b^* parametresi için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir. b^* parametresi için ağaç türü (A), vernik uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak tespit edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. b^* parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (*) anlamlı)
Ağaç türü (A)	396.002	4	99.001	247.180	0.000*
Vernik uygulama (B)	38.639	1	38.639	96.471	0.000*
Etkileşim (AB)	230.400	4	57.600	143.813	0.000*
Hata	36.047	90	0.401		
Toplam	43154.394	100			
Düzeltilmiş toplam	701.088	99			

b^* değerlerine ait sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. b^* değerlerine ait sonuçlar.

Ağaç türü	İşlem	Ortalama	Değişim oranı (%)	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı
Lotofa	Verniklenmemiş	20.38		D	0.40	19.65	20.92	1.98
	Verniklenmiş	19.89	↓2.40	D	1.16	18.67	21.75	5.81
Zebrano	Verniklenmemiş	21.47		C	0.82	20.02	22.27	3.82
	Verniklenmiş	19.98	↓6.94	D	0.97	18.39	21.38	4.85
Sapelli	Verniklenmemiş	18.28		E	0.30	17.82	18.65	1.66
	Verniklenmiş	16.67	↓8.81	F**	0.31	16.23	17.00	1.83
Ekaba	Verniklenmemiş	20.98		C	0.63	20.30	22.12	3.01
	Verniklenmiş	26.43	↑25.98	A*	0.41	25.87	26.95	1.54
Adi gürgen	Verniklenmemiş	18.81		E	0.35	18.11	19.28	1.85
	Verniklenmiş	23.17	↑23.18	B	0.17	22.84	23.43	0.71

*En yüksek değer, **En düşük değer.

Sentetik bazlı mobilya verniği uygulaması sonrasında, b^* değerleri bazı ağaç türlerinde artarken bazılarında düşüş göstermiştir. Bu durum, verniğin ağaç türüne bağlı olarak yüzeyin sarı tonlarını ya daha belirgin hale getirdiğini ya da baskıladığını göstermektedir. Lotofa ağacında b^* değeri vernik öncesi 20.38 iken, uygulama sonrası 19.89 seviyesine gerileyerek %2.40 oranında hafif bir azalma sergilemiştir. Zebrano'da ise b^* değeri 21.47'den 19.98'e düşmüş ve bu düşüş %6.94 seviyesinde gerçekleşmiştir. Sapelli ağacında da benzer bir eğilim gözlemlenmiştir; 18.28 olan b^* değeri, vernik uygulamasıyla birlikte 16.67'ye inmiş ve %8.81 oranında azalma kaydedilmiştir. Bu üç türde, vernik uygulaması yüzeydeki sarı tonları bir miktar geri planda bırakmıştır. Öte yandan ekaba ağacında b^* değeri 20.98'den 26.43'e yükselerek %25.98 oranında dikkat çekici bir artış göstermiştir. Adi gürgen ağacında da benzer şekilde, vernik öncesi 18.81 olan b^* değeri 23.17'ye çıkmış ve %23.18 oranında yükselmiştir.

Bu iki türde vernik, yüzeye daha sıcak ve sarıya yakın bir ton kazandırmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, vernik uygulamasının ağaç türüne göre farklı etkiler yarattığı; bazı türlerde sarılığı artırırken, bazılarında ise azaltıcı bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu değişkenlik, dekoratif uygulamalarda istenen tonlara ulaşmak adına malzeme seçiminde dikkate alınmalıdır (Tablo 8).

C* parametresi için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 9'da sunulmaktadır. C* parametresi için ağaç türü (A), vernik uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur (Tablo 9).

Tablo 9. C* parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (* anlamlı)
Ağaç türü (A)	801.198	4	200.299	454.901	0.000*
Vernik uygulama (B)	314.282	1	314.282	713.767	0.000*
Etkileşim (AB)	262.781	4	65.695	149.201	0.000*
Hata	39.628	90	0.440		
Toplam	60649.766	100			
Düzeltilmiş toplam	1417.888	99			

C* değerlerine ait sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Lotofa ağacında C* değeri verniklenmemiş durumda 23.39 iken, vernik uygulamasıyla birlikte 25.67'ye yükselmiş ve %9.75'lik bir artış göstermiştir. Bu durum, vernik uygulamasının Lotofa ağacındaki renk doygunluğunu artırdığını, yani daha canlı bir renk elde edildiğini göstermektedir. Zebrano ağacında ise C* değeri verniklenmemiş halde 22.86 iken, vernik uygulaması sonrasında 25.39'a çıkarak %11.07'lik bir artış kaydetmiştir. Bu artış, Zebrano'nun renginin daha doygun hale geldiğini ve daha etkileyici bir görünüm kazandığını göstermektedir. Sapelli ağacında ise C* değeri 21.39'dan 20.43'e düşerek %4.49'luk bir azalma göstermiştir. Bu, vernik uygulamasının Sapelli'nin renk doygunluğunu bir miktar azalttığını ve daha mat bir görünüm ortaya çıkardığını ifade eder. Ekaba ağacında ise oldukça dikkat çekici bir artış görülmektedir; 25.03 olan C* değeri, vernik sonrasında 33.77'ye çıkarak %34.92'lik bir artış göstermiştir. Bu, vernik uygulamasının ekaba ağacındaki renk yoğunluğunu oldukça belirgin şekilde artırdığını ve ağacın renginin çok daha canlı ve zengin hale geldiğini ortaya koymaktadır. Adi gürgen ağacında ise 20.16 olan C* değeri vernik sonrası 25.30'a çıkarak %25.50'lik bir artış göstermiştir. Bu da vernik uygulamasının Adi gürgenin rengini daha doygun ve parlak hale getirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, vernik uygulamasının çoğu ağaç türünde renk doygunluğunu artırdığı gözlemlenmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. C* değerlerine ait sonuçlar.

Ağaç türü	İşlem	Ortalama	Değişim oranı (%)	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı
Lotofa	Verniklenmemiş	23.39	↑ 9.75	C	0.24	22.94	23.69	1.02
	Verniklenmiş	25.67		B	0.92	24.59	27.11	3.59
Zebrano	Verniklenmemiş	22.86	↑ 11.07	C	0.86	21.32	23.75	3.77
	Verniklenmiş	25.39		B	0.93	24.17	26.87	3.65
Sapelli	Verniklenmemiş	21.39	↓ 4.49	D	0.24	20.98	21.72	1.11
	Verniklenmiş	20.43		E	0.17	20.22	20.79	0.85
Ekaba	Verniklenmemiş	25.03	↑ 34.92	B	1.10	23.85	27.13	4.40
	Verniklenmiş	33.77		A*	0.60	32.91	34.41	1.77
Adi gürgen	Verniklenmemiş	20.16	↑ 25.50	E**	0.39	19.38	20.70	1.94
	Verniklenmiş	25.30		B	0.30	24.85	25.85	1.18

*En yüksek değer, **En düşük değer.

h^o parametresine ait hesaplanmış olan varyans analizi sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. h^o parametresi için, ağaç türü (A), vernik uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur (Tablo 11).

Tablo 11. h^o parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (* anlamlı)
Ağaç türü (A)	2323.698	4	580.925	501.739	0.000*
Vernik uygulama (B)	1594.085	1	1594.085	1376.797	0.000*
Etkileşim (AB)	781.907	4	195.477	168.831	0.000*
Hata	104.204	90	1.158		
Toplam	353319.378	100			
Düzeltilmiş toplam	4803.894	99			

h° değerlerine ait sonuçlar Tablo 12’de gösterilmektedir. Vernik uygulamasının, çeşitli ağaç türlerinin h° parametresi üzerindeki etkisi incelendiğinde, her türde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Lotofa ağacında verniklenmiş yüzeyin h° değeri, verniklenmemiş yüzeye kıyasla %16.26 oranında azalarak 60.64’ten 50.78’e düşmüştür. Zebrano ağacında ise bu azalma daha belirgindir, %25.80’lik bir düşüşle 69.91’den 51.87’ye gerilemiştir. Sapelli ağacında, vernik uygulaması h° değerini %6.83 oranında düşürerek 58.71’den 54.70’e indirmiştir. Ekaba ağacında da benzer şekilde %9.68’lik bir azalma yaşanmış ve h° değeri 57.03’ten 51.51’e gerilemiştir. Adi gürgen ağacında ise en düşük azalma gözlemlenmiş olup, %3.63’lük bir düşüşle 68.86’dan 66.36’ya inmiştir. Genel olarak, vernik uygulaması tüm ağaç türlerinde h° parametresinde bir azalmaya neden olmuştur (Tablo 12).

Tablo 12. h° değerlerine ait sonuçlar.

Ağaç türü	İşlem	Ortalama	Değişim oranı (%)	Homojenlik grubu	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı
Lotofa	Verniklenmemiş	60.64		D	1.09	58.98	62.02	1.79
	Verniklenmiş	50.78	↓16.26	I**	1.86	48.24	53.78	3.67
Zebrano	Verniklenmemiş	69.91		A*	0.57	69.10	70.82	0.82
	Verniklenmiş	51.87	↓25.80	H	1.04	49.52	52.94	2.00
Sapelli	Verniklenmemiş	58.71		E	0.75	57.20	59.86	1.28
	Verniklenmiş	54.70	↓6.83	G	1.13	53.24	56.04	2.06
Ekaba	Verniklenmemiş	57.03		F	1.38	54.64	58.78	2.42
	Verniklenmiş	51.51	↓9.68	H	1.01	49.59	53.16	1.95
Adi gürgen	Verniklenmemiş	68.86		B	0.49	68.15	69.65	0.71
	Verniklenmiş	66.36	↓3.63	C	0.73	65.03	67.37	1.10

*En yüksek değer, **En düşük değer.

Bu çalışmada kullanılan vernik ile seçilen ahşap malzemelere ait renk parametrelerinde değişimler elde edilmiştir. Çalışma amacına ulaşmıştır. Literatürde farklı ağaç türlerine ait odunlar üzerinde çeşitli vernik türlerinin uygulanması sırasında farklı renk parametrelerinin elde edildiği bildirilmiştir [sipo ve maun (Ayata ve ark., 2024a), yalancı akasya (Ayata ve ark., 2024b), İsveç çamı (Ayata ve Bal, 2024), rubber, keranji, niové, keruing ve berangan (Çamlıbel ve Ayata, 2024)].

Ulay ve ark., (2025) tarafından yapılan çalışmada, sentetik bazlı mobilya verniği (renksiz ve parlak) aşağıdaki ağaç türlerine iki katman halinde fırça ile uygulanmıştır: limon, karaçam, kotibé, iroko ve Malta eriği. Verniklenmiş ve verniklenmemiş yüzeylerin renk parametreleri karşılaştırılmıştır. Renk parametreleri için yapılan varyans analizi, ağaç türü, vernik uygulaması ve bunların etkileşimlerinin anlamlı etkiler yarattığını göstermiştir. ΔE^* değerleri, renk formüllerine göre en düşükten en yükseğe sıralandığında şu şekilde dizilmiştir: limon, karaçam, kotibé, Malta eriği ve iroko. Vernik uygulamasından sonra, tüm ağaç türlerinde L^* değerlerinde azalma gözlemlenirken, b^* ve C^* değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. Karaçam ağacında ise a^* ve h° değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca, iroko, kuşburnu ve kotibé ağaçlarında a^* parametresinde artış gözlemlenirken, h° değerlerinde azalma yaşanmıştır. Genel olarak, vernik uygulaması ağaç malzemelerinde renk değişikliklerine yol açmıştır.

Peker ve ark., (2025) tarafından yapılan çalışmada, sentetik bazlı mobilya verniği uygulananmış doğu çınarı, doussié, mersawa, bilinga ve sucupira odunlarında L^* ve h° parametrelerinde azalmalar bulunurken, a^* parametresinde artışlar elde edilmiştir. Doussié, sucupira ve bilinga odunlarında vernik uygulamaları ile b^* ve C^* parametrelerinde azalışlar elde edilirken, doğu çınarında ise artışlar görülmüştür. Mersawa odununda vernik uygulaması ile b^* parametresinde azalış tespit edilirken, C^* parametresinde artış görülmüştür.

Farklı reçine şeffaf üst yüzey koruma sıvıları, üst yüzey koruma sıvılarının kalınlığına bağlı olarak yansıma özelliklerini değiştirebildiği bildirilmiştir (Csanady ve ark., 2015).

Açık gözeneklerin, örneğin lif lumenlerinin (iğne yapraklılar) ve damar gözeneklerinin (sert yapraklılar) varlığı, ışığın dağılmasına yol açar ve bu da L^* değerinin artmasına neden olur. Ancak vernik uygulaması, bu gözeneklerin bir kısmını, odunun kırılma indisiyle benzer bir maddelerle doldurur. Bu, ışık dağılmasını azaltır. Sonuç olarak, L^* değeri düşer ve odun daha zengin bir renkte görünür. Diğer bir deyişle, daha fazla reçine odun yüzeyine yakın gözenekleri doldurduğunda, a^* ve b^* değerlerinin sıfırdan daha uzak olacağına dair genel bir eğilim olacaktır, çünkü ışık dağılması azalır (Ulay ve ark., 2025).

Vernik katmanlarının yapısal özellikleri, üretiminde kullanılan bileşenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Özellikle, ana bağlayıcılar ve katman oluşumuna katkı sağlayan diğer

bileşenlerin türü ve miktarı, bu farklılıkların ortaya çıkmasında büyük rol oynamaktadır (Sönmez, 1989).

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 13'te gösterilmektedir. ΔE^* değerleri zeb-rano odunu için 20.88, ekaba odunu için 12.60, lotofa odunu için 10.98, sapelli odunu için 9.71 ve adi gürgen odunu için 7.85 olarak bulunmuştur. Bütün ΔL^* değerleri negatif (daha koyu) ve Δa^* değerleri ise pozitif (daha kırmızı) olarak hesaplanmıştır. ΔC^* değerleri sapelli ahşabında negatif (mat, daha bulanık) olarak tespit edilirken, diğer bütün ahşap türlerinde pozitif (daha net, daha parlak) olarak bulunmuştur. Δb^* değerlerine bakıldığında ise, lotofa, sapelli ve zebrano odunlarında negatif (daha mavi) olarak elde edilirken, ekaba ve adi gürgen odununda pozitif (daha sarı) olarak tespit edilmiştir. Renk kriterleri (DIN 5033, 1979) için verilen tabloyla sonuçlar kıyaslandığında, zebrano ve ekaba odunlarında “çok güçlü (> 12.00)” kriteri ve lotofa, sapelli ve adi gürgen odunlarında ise “güçlü (6.0 ila 12.0)” kriteri elde edilmiştir (Tablo 13).

Tablo 13. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar.

Ağaç türü	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk kriterleri (DIN 5033, 1979)
Zebrano	-19.31	7.81	-1.49	2.53	7.54	20.88	Çok güçlü (> 12.00)
Ekaba	-8.63	7.39	5.45	8.75	2.79	12.60	
Lotofa	-9.89	4.74	-0.49	2.28	4.19	10.98	
Sapelli	-9.55	0.67	-1.61	-0.96	1.46	9.71	Güçlü (6.0 ila 12.0)
Adi gürgen	-5.85	2.91	4.36	5.14	1.02	7.85	

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı ağaç türlerinde sentetik bazlı mobilya verniği uygulamasının renk parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ağaç türlerine ve verniklenmiş / verniklenmemiş durumlarına göre elde edilen sonuçlar şu şekilde yorumlanabilir:

Lotofa: Vernik uygulanmayan bu ağaç türünde L^* değeri oldukça yüksekken, vernik uygulaması sonrası bu değer belirgin şekilde düşmüştür. Bu, verniğin renk tonunu koyulaştırdığına işaret eder. a^* parametresi, vernik uygulaması ile artarken, b^* değeri hafif bir azalma göstermektedir. C^* parametresi ve h° değeri ise vernik uygulaması sonrasında belirgin bir artış göstermiştir. Bu, verniğin ağacın renk doygunluğunu artırdığı ve tonların zenginleştiği anlamına gelir.

Zebrano: bu ağaç türünde vernik uygulanmamış durumda daha açık ve sarı tonlar görülürken, vernik sonrası bu tonlar kırmızısı ve kahverengimsi renklere kaymaktadır. L^* değeri önemli bir azalma gösterirken, a^* ve C^* değerlerinde artış yaşanmıştır. Bu değişiklik, verniğin ağacın doğal rengini daha koyu ve doymuş hale getirdiğini göstermektedir.

Sapelli: Bu ağaca ait odunlarına vernik uygulaması L^* değerinde önemli bir düşüşe neden olurken, diğer renk parametrelerinde küçük değişiklikler gözlemlenmiştir. a^* parametresi hafif bir artış gösterse de, genel olarak vernik uygulamasının bu türde belirgin bir renk değişimi yaratmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, renk tonunun daha derin ve zenginleştiği görülmektedir.

Ekaba: Bu ağaç türünde vernik uygulandıktan sonra L^* değeri düşerken, a^* ve C^* parametrelerinde belirgin bir artış yaşanmıştır. b^* değeri ise hafif bir artış gösterilmiştir. h° parametresi de vernik uygulaması ile birlikte düşmüştür. Bu, verniğin ağacın daha zengin, koyu ve canlı renklere bürünmesine neden olduğunu göstermektedir.

Adi gürgen: Bu ağaç türünde ise vernik uygulaması, L^* değerini düşürürken, a^* ve b^* parametrelerinde belirgin artışlar görülmektedir. Bu da verniğin, ağacın daha sıcak ve derin renk tonlarına dönüşmesine neden olduğunu gösteriyor. C^* parametresi ve h° değeri de vernik sonrası artmış, bu da ağacın rengindeki doygunluğun arttığını ve daha zengin bir görsel etki sağladığını ortaya koymaktadır.

Vernik uygulamaları, genellikle ağacın doğal renk tonlarını koyulaştırır ve daha derin renk tonları elde edilir.

Yüzey sertliği ve dayanıklılığını test etmek için aşınma direnci ve sürtünme testleri kullanılabilir. Isı dayanıklılığı testleri ile sıcaklığa karşı direnç, kimyasal dayanıklılık testleri ile asidik ve alkali çözeltilere karşı direnç ölçülmelidir. Ayrıca, su ve yağ dayanıklılığı testleri ile sıvılara karşı direnç değerlendirilmeli ve nem emme testleri ile nemli ortamlara karşı dayanıklılık test edilmelidir.

Yazar Katkıları: Birden fazla yazarlı araştırma makaleleri için, bireysel katkılarını belirten kısa bir paragraf sağlanmalıdır. Aşağıdaki ifadeler kullanılmalıdır “Kavramsallaştırma, H.P., Ü.A., G.U. ve O.Ç.; metodoloji, Ü.A.; yazılım, H.P., G.U. ve Ü.A.; doğrulama, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; içerik analizi, Ü.A., G.U. ve O.Ç.; araştırma, H.P., Ü.A., G.U. ve O.Ç.; çalışma olanakları, H.P. ve Ü.A.; veri düzenleme, H.P., Ü.A. ve O.Ç.; yazma—orijinal taslak hazırlama, H.P. ve Ü.A.; yazma—inceleme ve düzenleme, H.P., Ü.A., G.U. ve O.Ç.; görselleştirme, Ü.A.; süpervizyon, H.P., G.U. ve Ü.A.; proje yönetimi, H.P., Ü.A., G.U. ve O.Ç.; fon sağlama, H.P., Ü.A., G.U. ve O.Ç. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.” Yazarlık, çalışmaya önemli ölçüde katkıda bulunan kişilerle sınırlı olmalıdır.

Fon Desteği: Bu çalışmada herhangi bir dış finansmandan maddi destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International. West Conshohocken. PA.
- ASTM D 3023-98, (2017). Standard practice for determination of resistance of factory-applied coatings on wood products to stains and reagents. ASTM International.
- Ayata, Ü., Bilginer, E.H., Çamlıbel, O., ve Ayata, A., (2024a). Sipo (*Entandrophragma utile*) ve maun (*Swietenia mahagoni* L.) odunlarında yat verniği uygulamasının renk değişikliği üzerine etkisinin araştırılması, *Technological Applied Sciences*, 19(2): 16-22. DOI: 10.12739/NWSA.2024.19.2.2A0197.
- Ayata, Ü., Bilginer, E.H., Çamlıbel, O., ve Kaplan, Ş., (2024b). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ahşabı yüzeylerine uygulanmış solvent bazlı yat verniği katmanlarında bazı yüzey özellikleri üzerine kat sayısının etkileri, *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 41-49.
- Ayata, Ü., ve Bal, B.C., (2024). İsvaç çamı (*Pinus contorta*) ahşabında bazı vernik türlerinin uygulanması, *Avrasya 10. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*, 2-5 Mayıs 2024, Tiflis, Gürcistan, 106-113.
- Bekhta, P., Krystofiak, T., Lis, B., & Bekhta, N. (2022). The impact of sanding and thermal compression of wood, varnish type and artificial aging in indoor conditions on the varnished surface color. *Forests*, 13(2), 300. DOI: 10.3390/f13020300.
- Broman, N.O., (2000). Means to measure the aesthetic properties of wood, PhD Thesis, wood Technology, Lulea University of Technology.
- Camerano, S.R.A., (2021). Resine bio-based da oli vegetali: applicazioni industriali in prodotti vernicianti rinnovabili a basso impatto ambientale [Laurea magistrale, Università di Bologna, Corso di Studio in Chimica industriale [LM-DM270]]. Università di Bologna.
- Cecchini, D., (2014). Cambiamento di colore del legno durante l'invecchiamento naturale: confronto fra alcune specie e trattamenti usati per serramenti in Italia, Università Degli Studi Di Padova, Territorio e Sistemi Agro-forestali, Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria, Scienze Forestali E Ambientali, Tesi, Lauree magistrali.
- Csanady, E., Magos, E., & Tolvaj, L. (2015). Gloss of Colour Surfaces. *Quality of Machined Wood Surfaces*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 109-181.
- Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2024). Keranji, niöv, rubber, keruing ve berangan odunlarında solvent bazlı akrilik reçine esaslı mat verniğin uygulanması ve renk parametrelerinin karşılaştırılması, *Latin Amerika 8. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi* 1-5 Mayıs 2024, Havana, Küba, 756-763.
- De Hernandez, R. E., & Cool, J. (2008). Evaluation of three surfacing methods on paper birch wood relation to water and solvent borne coatings performance, *Wood and Fiber Science*, 40, 459-469.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV. Beuth, Berlin März.
- Guo, H.W., Wang J.L., and Li, C.S., (2009). *Sci. Sil. Sinicae*. 45(5), 121-125.
- Hu, J., Liu, Y., & Wu, Z. (2020). Structural color for wood coloring: A Review. *BioResources*, 15(4), 9917-9934. DOI:10.15376/biores.15.4.Hu.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing. International Standardization Organization. Geneva. Switzerland.
- Lange, D.R., (1999). *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York. NY. USA.
- Liu, Y., Gao, J. M., Fu, Z., Zhang, Y. C., & Guo, H. W. (2012). The inhibition effects of wood light induced discoloration coating with water-based acrylic varnish. *Applied Mechanics and Materials*, 184, 1323-1327. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.184-185.1323.
- Lomax, S.Q., and Fisher, S.L., (1990). An investigation of the removability of naturally aged synthetic picture varnishes, *Journal of the American Institute for Conservation*, 29(2): 181-191. DOI: 10.1179/019713690806046037.
- Lyons, A., (2012). *Materials for architects and builders*, Routledge.
- Merlin, A., George, B., Malassenet, L., and Podgorski, L., (2018). Durable protection of the surface of wood used outdoors: material constraints, problems and approaches to solutions. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 149, p. 01016). EDP Sciences. DOI: 10.1051/mateconf/201814901016.
- Mitan, A., Ntalos, G., Koutsianitis, D., & Ninikas, K. (2019). Aging effect of some varnish coated wood species on color difference and surface roughness, *Pro Ligno*, 15(4): 173-178.
- Pallotta, P., (2019). *Studio della fotodegradazione accelerata di vernici acriliche all'acqua per esterno = Study of the accelerated photo-degradation of acrylic waterborne coatings for outdoor* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- Peker, H., Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2025). Mersawa, sucupira, bilinga, doğu çınarı ve doussié odunlarında renk özellikleri üzerine sentetik bazlı mobilya verniği uygulamasının etkileri, *Latin Amerika 10. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi* 1-4 Mayıs 2025, Havana, Küba.

- Salca, E. A., Krystofiak, T., Lis, B., & Hiziroglu, S. (2021). Glossiness evaluation of coated wood surfaces as function of varnish type and exposure to different conditions. *Coatings*, 11(5), 558. DOI: 10.3390/coatings11050558.
- Schaller, C., & Rogez, D. (2007). New approaches in wood coating stabilization. *Journal of Coatings Technology and Research*, 4(4), 401-409.
- Sönmez, A. (1989). Durability of varnishes used on surfaces of wooden furniture against important physical mechanical and chemical effects, Ph.D. Dissertation, Gazi University, Ankara, Turkey.
- Ulay, G., Peker, H., and Ayata, U. (2025). Application of synthetic-based furniture varnish to various wood species: Comparison of color parameters, *BioResources* 20(2), 3703–3713. DOI: 10.15376/biores.20.2.3703-3713.
- Zhu, X., Liu, Y., Dong, N., and Li, Z. (2017). Fabrication and characterization of reversible thermochromic wood veneers, *Scientific Reports*, 7(1), 16933. DOI: 10.1038/s41598-017-17238-9.
- Zhu, X., Liu, Y., Li, Z., and Wang, W. (2018). Thermochromic microcapsules with highly transparent shells obtained through in-situ polymerization of urea formaldehyde around thermochromic cores for smart wood coatings, *Scientific Reports*, 8(1), 4015. DOI: 10.1038/s41598-018-22445-z.

Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.



Research Article

Air Pollution Estimation and Trends in Mainz (2017–2022): A Case Study

Sahar Gerandanesh ¹, Felien Tee ² and Håkan Lane ^{3,*}¹ Jensen Education, Sweden² HAS Green Academy, Netherlands³ Johannes Gutenberg University, Staudingerweg 9, 55128, Mainz/Germany

* Correspondence: hlane@uni-mainz.de

Abstract: Air pollution is a pressing global environmental challenge, with PM_{2.5} (particulate matter with a diameter of less than 2.5 micrometers) being recognized as one of the most hazardous pollutants to human health. Prolonged exposure to PM_{2.5} has been linked to respiratory diseases, cardiovascular conditions, and premature mortality. It has been shown that 99% of the world population is exposed daily to pollutant concentrations exceeding the World Health Organization's recommended safe levels. This study compares PM_{2.5} levels measured by satellite data from the Atmospheric Composition Analysis Group at Washington University in St. Louis with ground-based measurements from the Sensor Community initiative using SDS011 sensors deployed in Mainz, Germany. In addition, we investigated whether Mainz has achieved a positive trend in reducing PM_{2.5} concentrations and assessed how well the city complies with WHO standards. Our results indicate that: (a) satellite measurements consistently record higher PM_{2.5} values than ground-based sensors, (b) Mainz has experienced a decreasing trend in PM_{2.5} levels in recent years, although some of this reduction may be attributed to pandemic-related lockdowns, and (c) pollution levels in Mainz remain significantly above WHO guideline limits.

Keywords: PM_{2.5}; air pollution; satellite data; ground sensors; Mainz

Mainz Şehrinde Hava Kirliliği Tahmini ve Eğilimleri (2017–2022): Bir Vaka Çalışması

Citation: Gerandanesh, S., Tee, F. and Lane, H. Air Pollution Estimation and Trends in Mainz (2017–2022): A Case Study. *Journal of GreenTech* 2023, 3(1): 18–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15441950>.

Received: 03.04.2025

Revised: 20.04.2025

Accepted: 10.05.2025

Published: 30.06.2025



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Öz: Hava kirliliği, PM_{2.5}'in (çapı 2,5 mikrometreden küçük partikül madde) insan sağlığı için en tehlikeli kirlenmelerden biri olarak kabul edilmesiyle acil bir küresel çevre sorunudur. PM_{2.5}'e uzun süre maruz kalmanın solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve erken ölüme bağlantılı olduğu gösterilmiştir. Dünya nüfusunun %99'unun her gün Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği güvenli seviyeleri aşan kirlenici konsantrasyonlarına maruz kaldığı gösterilmiştir. Bu çalışma, St. Louis'deki Washington Üniversitesi'ndeki Atmosferik Kompozisyon Analiz Grubu'ndan alınan uydu verileriyle ölçülen PM_{2.5} seviyelerini, Almanya, Mainz'de konuşlandırılan SDS011 sensörlerini kullanan Sensör Topluluğu girişiminin yer tabanlı ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca, Mainz'in PM_{2.5} konsantrasyonlarını azaltmada olumlu bir eğilim elde edip etmediğini araştırdık ve şehrin DSÖ standartlarına ne kadar uyduğunu değerlendirdik. Sonuçlarımız şunları göstermektedir: (a) uydu ölçümleri sürekli olarak yer tabanlı sensörlerden daha yüksek PM_{2.5} değerleri kaydetmektedir, (b) Mainz'da son yıllarda PM_{2.5} seviyelerinde bir düşüş eğilimi görülmüştür, ancak bu düşüşün bir kısmı pandemiyle ilgili karantinalara bağlanabilir ve (c) Mainz'daki kirlilik seviyeleri DSÖ kılavuz limitlerinin önemli ölçüde üzerinde kalmaya devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: PM_{2.5}; hava kirliliği; uydu verileri; yer sensörleri; Mainz

1. Introduction

Air pollution comprises a complex mixture of airborne substances that pose risks to environmental quality and human health. Among these, fine particulate matter (PM_{2.5}) has gained special attention due to its capacity to penetrate deep into the respiratory tract, potentially causing a variety of adverse health outcomes including cardiovascular disease, respiratory disorders, and premature death. The World Health Organization (WHO) revised its air quality guidelines in 2021, setting the annual PM_{2.5} exposure limit at 5 µg/m³ due to growing evidence of its health impacts (WHO, 2021).

While global efforts to monitor and mitigate PM_{2.5} levels have increased, localized assessments remain essential for designing effective policy interventions. The city of Mainz, situated in the federal state of Rheinland-Pfalz in Germany, presents a unique case due to its urban-industrial environment, its proximity to high-traffic areas, and the availability of both official and citizen-led monitoring networks. This study capitalizes on these resources to assess local pollution dynamics through the comparison of satellite- and ground-based PM_{2.5} data sources.

Previous research has highlighted the benefits and drawbacks of both ground-based and satellite-based air quality monitoring. Ground sensors offer real-time, high-resolution data at specific locations but often suffer from limited spatial coverage and variability due to maintenance or calibration issues (Microcontrollers Lab, 2024). In contrast, satellite-based monitoring provides broader spatial information, yet struggles to capture localized pollution fluctuations due to lower spatial resolution and atmospheric interference (Hsu et al., 2019; Wang et al., 2020).

The central objectives of this study are to investigate the differences between these data sources in measuring PM_{2.5} levels in Mainz and to examine whether a significant trend in air quality improvement is evident over the observed time period. By applying robust statistical methods and spatial matching techniques, the study contributes to a more nuanced understanding of air quality monitoring and offers valuable insights for future environmental policy design.

2. Theory

2.1. Particulate Matter and Health

Particulate matter, particularly PM_{2.5}, refers to fine particles that are less than 2.5 micrometers in diameter. These particles are significant due to their small size, which allows them to penetrate deep into the respiratory system and enter the bloodstream, causing severe health effects such as respiratory diseases, heart conditions, and even premature death (Mushtaq et al., 2019). PM_{2.5} originates primarily from combustion processes, including emissions from vehicles, industrial facilities, power plants, and natural sources like wildfires and dust storms (Xue et al., 2019). Due to their health implications, PM_{2.5} levels are closely monitored globally (Brook et al., 2010; Mushtaq et al., 2024). The WHO (2021) sharpened their guidelines considerably in 2021 and has now established a maximum of 5 µg/m³ as the threshold for damage to human health, based on widespread evidence of the link between exposure and adverse health outcomes.

2.2. PM2.5 Sensing

2.2.1. Ground-based sensors

Ground-based sensors offer real-time measurements of air quality at localized points, providing detailed data on specific areas. Their reliance on fixed locations and potential calibration issues may introduce challenges in data accuracy. Despite these limitations, ground sensors contribute valuable information for urban air quality monitoring. Mushtaq (Mushtaq et al., 2024) discussed the comparison between satellite and ground-based measurements for PM_{2.5} and other pollutants, emphasizing the importance of evaluating the accuracy of each method in the context of their health implications, arguing that sensors could have a value for detecting local hotspots (Wang et al., 2020). An example of the lower grade SDS011 sensor is shown in Figure 1.

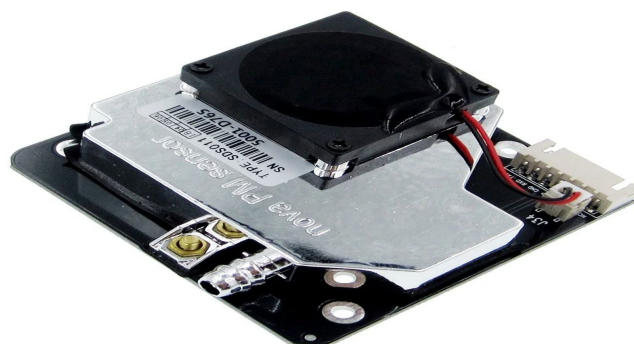


Figure 1. SDS011 PM_{2.5} Sensor. Source: Microcontrollers Lab (2024).

2.2.2. Satellite observations

Satellite-based measurements, like those provided by the Atmospheric Composition Analysis Group at Washington University in St. Louis (Shen et al., 2024), offer a broader, regional perspective on PM_{2.5} pollution levels. Satellites capture a vast array of data, providing a global overview of air quality trends and regional pollution patterns. The measurement method is based on air dispersion, and remote and displayed in (Figure 2).

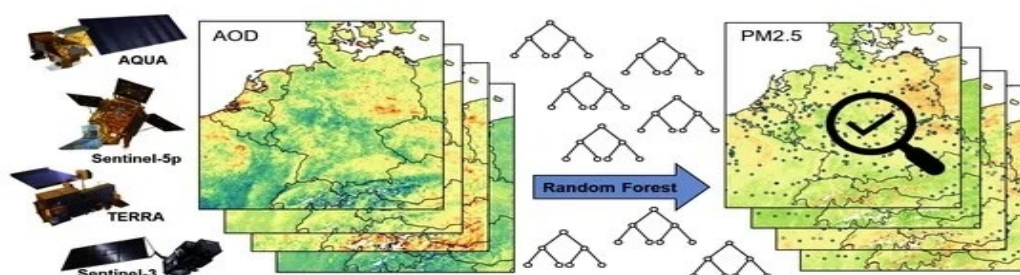


Figure 2. Remote Sensing. Copied with a CC-BY license from (Handschuh et al., 2023).

However, the spatial resolution of satellite measurements is typically lower compared to higher grade ground sensors, which can result in less precise data when assessing small-scale local pollution (Hsu et al, 2019). Additionally, satellite data may not capture transient pollution events or localized emissions (Wang et al, 2020).

2.3. Geospatial Alignment

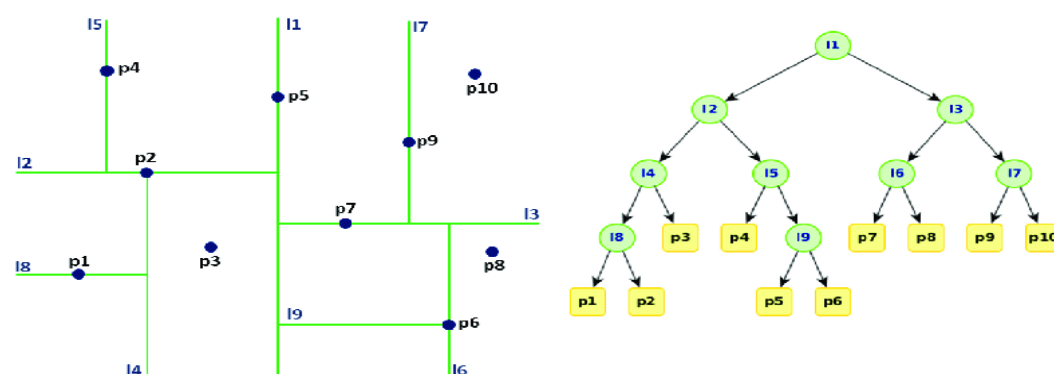
To compare the effectiveness of satellite and sensor data, it is crucial to align both data sources spatially. Geospatial alignment ensures that satellite data points are compared to the nearest sensor locations, enabling meaningful comparisons. Additionally, temporal alignment is necessary, as satellite data may be available on a monthly or annual basis, while sensor data can provide more frequent, real-time readings. In this study, the KDTree method was employed to achieve precise spatial alignment between satellite and ground-based measurements (Xue et al, 2019).

KDTree is a spatial data structure used for organizing points in a k -dimensional space, allowing for fast nearest-neighbor searches (Bentley, 1975). This method is particularly useful when handling large geospatial datasets, such as air pollution measurements, where precise location matching is required. The KDTree (K-dimensional tree) is a space-partitioning data structure that is widely utilized in various contexts, including nearest neighbor searches, range searches, and multi-dimensional data indexing. It organizes points in a k -dimensional space efficiently by recursively dividing the space into two half-spaces, allowing for faster queries than a naive linear search.

A KDTree is constructed by recursively dividing the data points along one of the k dimensions. The basic algorithm for building a KDTree involves selecting a dimension (often cyclically) and a pivot point (typically the median of the chosen dimension). This pivot acts as the boundary between points that will reside in the left subtree and those that will

go into the right subtree. The construction process can be summarized in the following steps:

- Choose the dimension to split by, based on the depth of the node in the tree;
- Sort the points based on the selected dimension;
- Select the median point from the sorted list to minimize the number of comparisons in future searches.
- Recursively apply the same process to the left and right subsets of points.



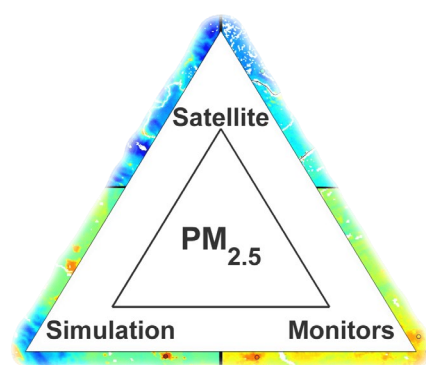


Figure 4 Washington University St. Louis ACAG System (WUSTL, 2025).

3.1.1. Sensor community

Ground-based PM_{2.5} measurements were obtained using SDS011 sensors deployed by volunteers in Mainz, Germany, as part of the citizen science initiative sensor.community (sensor.community, 2025). These sensors provide real-time measurements of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations, uploaded to the public web site daily.

3.1.2. Official city data

The state (bundesland) Rheinland-Pfalz provides public access to particulate matter via their central emission net infrastructure. Rheinland-Pfalz State Environmental Agency's PM_{2.5} data (ZIMEN; 2023). The city uses sensors of the type shown in Figure 8.

4. Results

4.1. Geographical Alignment

The proximities of studied sensor and satellite points are seen in Figure 5 and Table 1.

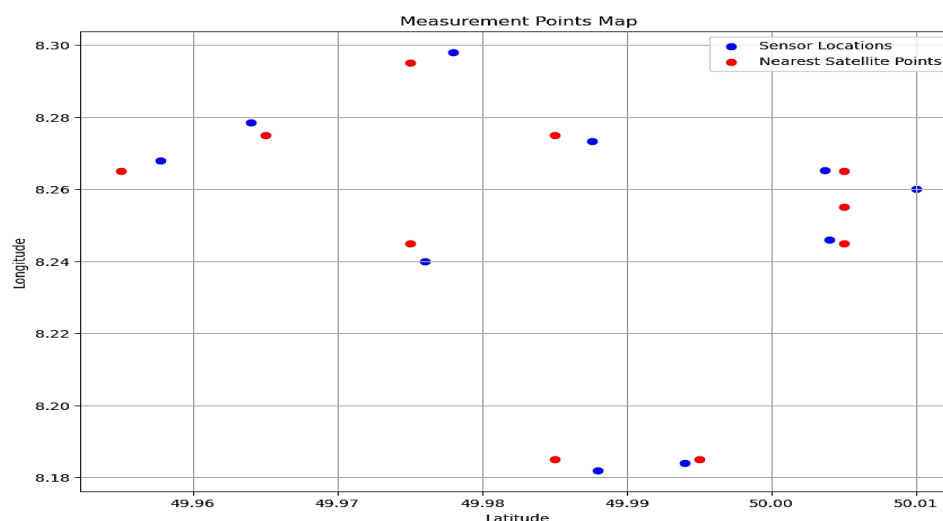
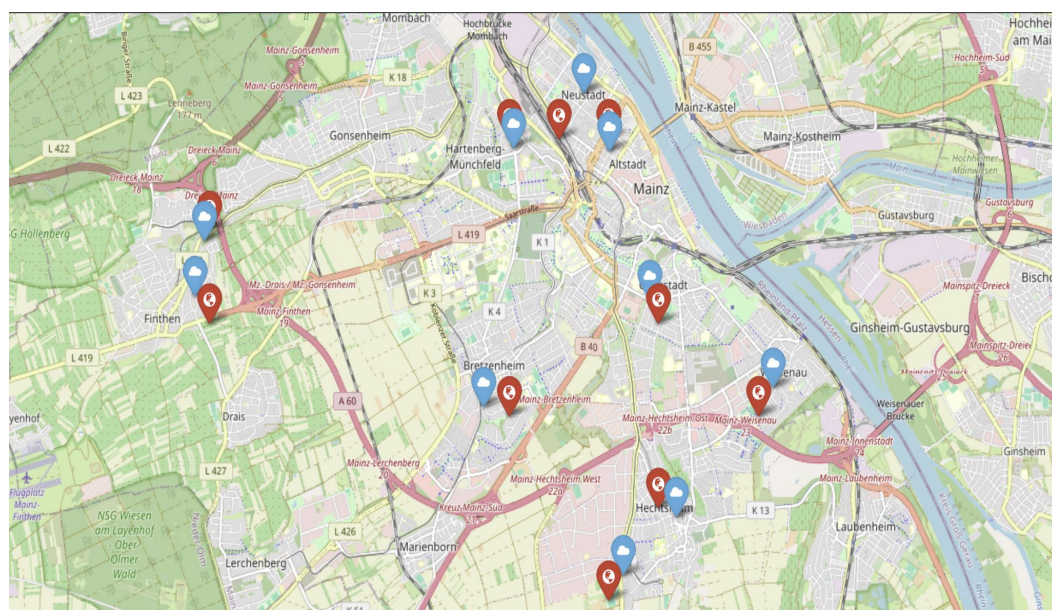


Figure 5 Locations of satellite and sensor points by the KDTree algorithm

Table 1. This is a table. Tables should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Longitude	Nearest Satellite Point (lat, lon)	Distance (km)
8.240	(49.975, 8.245)	0.38
8.246	(50.005, 8.245)	0.13
8.182	(49.985, 8.185)	0.40
8.298	(49.975, 8.295)	0.40
8.260	(50.005, 8.255)	0.66
8.268	(49.955, 8.265)	0.37
8.279	(49.965, 8.275)	0.27
8.273	(49.985, 8.275)	0.31
8.265	(50.005, 8.265)	0.15
8.184	(49.995, 8.185)	0.13

The observed distances had a mean of 0.32 km (standard deviation 0.2 km). All points are depicted on the overview map of Mainz in Figure 6.

**Figure 6.** Locations of satellite and sensor points by the KDTree algorithm

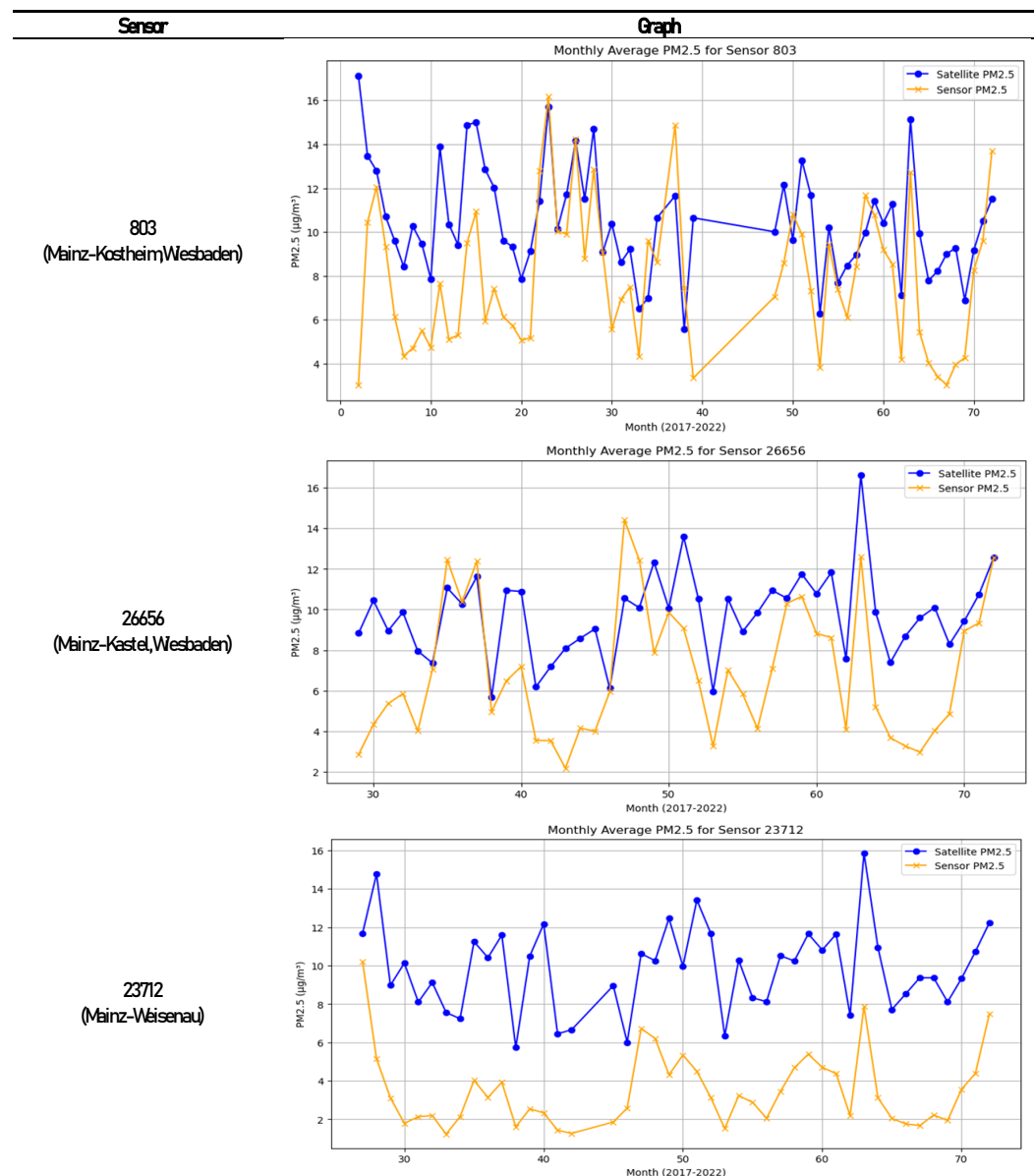
4.2. PM_{2.5} Results by Measurement Source

Two of the sensors were discarded due to unreliable results, and (Table 2) presents the recorded total average of all monthly measurements at the corresponding locations.

Table 2. Total average of monthly measurements

Sensor ID	Satellite	Sensor	Difference
803	10.3	8.3	2.0
10701	10.4	4.6	5.8
21886	9.1	3.7	5.5
23712	9.9	3.3	6.6
26656	10.0	7.1	3.0
47739	10.0	3.7	6.3
48807	9.6	7.3	2.2
772200	10.6	8.0	2.0

The applied two sample Mann Whitney test revealed a mean difference of 4.16 micrograms per cubic meter (Satellite: 9.91, Sensor 5.75) and a p value < 0.001. The discrepancies between the satellite and sensor are further illustrated by the line graphs of the monthly averages of three randomly chosen points out of the eight locations in Table 3.

Table 3. Graphical comparison of satellite vs. sensor measurements.

4.3. Comparison to City Official Sources

The state (bundesland) Rheinland-Pfalz, where Mainz is located, provides public access to pollution data measured at a number of points as shown in Figure 7. However, only two of these stations ("Mainz Zitadelle" and "Mainz Parcusstraße") specifically measure $PM_{2.5}$ concentrations. These stations are highlighted in red on the map (Figure 7).

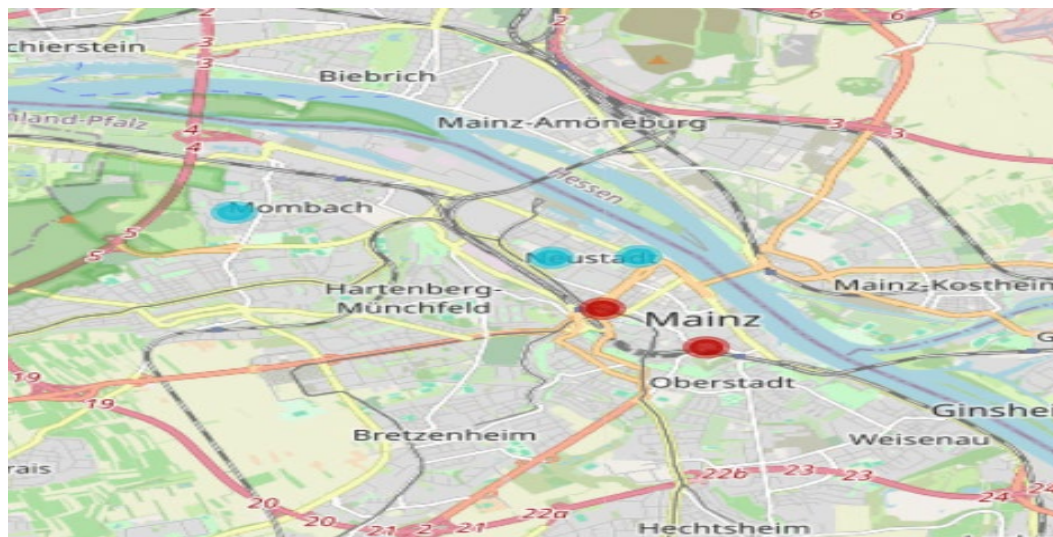


Figure 7. A map of the city sensor stations.

At the two locations where $PM_{2.5}$ is measured, the city has utilized a sensor of the type shown in Figure 8.



Figure 8. Particulate monitor model SHARP5030 (Thermo Fisher Scientific Inc., 2018).

We show the yearly average from all three measurement sources in (Table 4).

Table 4. Yearly average $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$).

Year	Satellite	City	Sensor
2017	9.6	12.9	9.0
2018	10.0	12.7	9.0
2019	8.4	11.2	9.9
2020	10.1	10.0	10.5
2021	11.5	10.7	9.9
2022	12.2	10.5	8.0

4.4. Pollution Trends

A regression model was fitted for the yearly means of each of the satellite locations. This table shows the coefficients of the sensors in Mainz. The data used is the air pollution PM_{2.5} from the period 2017 to 2022 as measured by the satellite system.

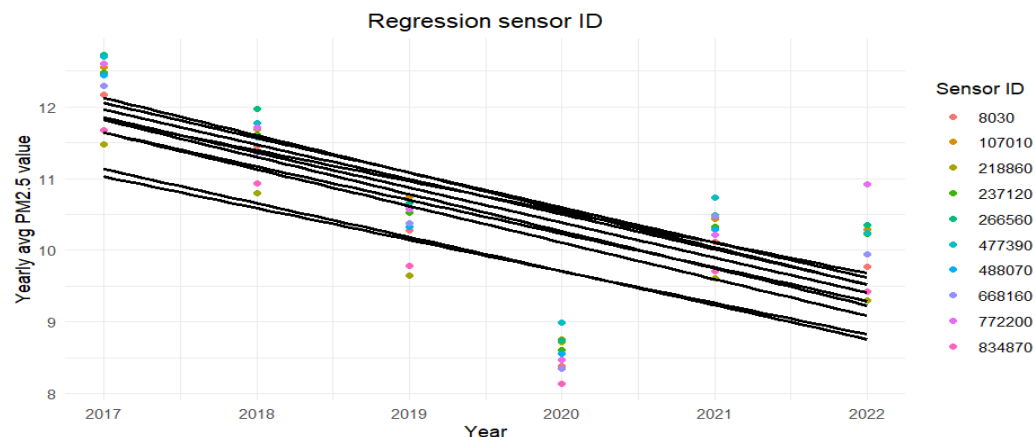


Figure 9. A regression analysis on air pollution PM_{2.5} between the period of 2017 and 2022

This figure illustrates the decline in PM_{2.5} air pollution in Mainz, based on the statistical analysis presented in Table 5. The trend exhibits an almost linear decrease in air pollution levels, with the exception of 2020. The significant drop in 2020 can likely be attributed to the impact of the COVID-19 pandemic.

Table 5. Reducing air pollution PM_{2.5} between 2017 to 2022

Data Point (sensor.community ID)	Slope / (microg/m ³ /year)	PValue
803	-0.511	0.107
10701	-0.488	0.119
21886	-0.440	0.0527
23712	-0.489	0.130
26656	-0.521	0.119
47739	-0.487	0.113
48807	-0.518	0.108
66816	-0.470	0.155
772200	-0.428	0.238
834870	-0.474	0.107

4.5. Levels Compared to WHO Safe Thresholds

The histogram of the recorded yearly mean values from every satellite station (10 points over six years) is shown in Figure 10.

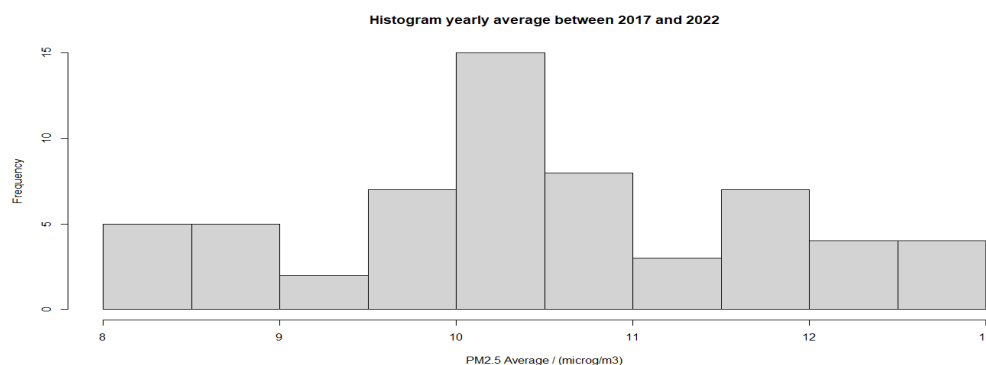


Figure 10. Histogram of recorded PM_{2.5} measurements all satellite points.

It was noted that the range of the yearly average concentration was 8.1 - 12.7 g/m³ or that in other words all points had levels at least 60 % above what the WHO deems as safe. In the final year, only three out of ten stations even had a level below twice the WHO guidelines.

5. Discussion

The comparison between satellite-derived and ground-based PM_{2.5} measurements demonstrates a consistent pattern: satellite data typically reports higher concentrations than those recorded by ground-level sensors. This discrepancy, while statistically significant according to the Mann-Whitney U test, is not uniform across all time periods or measurement locations. Such variation implies that localized environmental conditions—including microclimatic effects, traffic density, and land use—play an important role in modulating air quality and can affect the performance and readings of different measurement systems. One primary source of variation arises from methodological differences in data collection. Ground-based sensors, such as those used in the Sensor Community initiative, provide high-frequency, localized measurements. These sensors are highly sensitive to immediate pollution sources such as road traffic, construction sites, or nearby industrial activity. However, their readings can be affected by environmental variables like temperature and humidity, as well as inconsistencies in device calibration and maintenance. The relatively low cost and simplicity of these sensors—while valuable for citizen science—also limit their technical precision.

In contrast, satellite-based measurements, such as those from the Atmospheric Composition Analysis Group, offer consistent regional coverage and incorporate sophisticated algorithms to estimate surface-level PM_{2.5} from aerosol optical depth. These measurements inherently smooth out short-term or hyper-local pollution events due to their larger spatial footprint. Consequently, while satellites may more accurately reflect regional air quality trends, they are less responsive to acute local variations. This fundamental difference in resolution and methodology is likely a major contributor to the observed disparities between the datasets. Interestingly, comparisons with official data from the Rheinland-Pfalz State Environmental Agency revealed stronger alignment with satellite-derived values than with data from individual ground sensors. This may reflect the standardized maintenance and calibration of official stations, making them more compatible with the generalized estimates provided by satellite platforms. Some sensor locations exhibited strong correlation with satellite values, while others displayed weak or inconsistent relationships. These differences further support the hypothesis that environmental context, sensor placement, and maintenance quality significantly influence measurement agreement.

The linear regression analysis conducted on annual PM_{2.5} averages across all measurement systems indicated a modest but clear downward trend in pollution levels, with an average annual reduction of approximately 0.5 µg/m³. These findings align with regional reports and suggest that local air quality has improved, potentially due to enhanced environmental regulations and the temporary decline in emissions during COVID-19 lockdowns. It matches similar findings where a falling trend has been observed in Europe (Aas et al., 2024).

Despite some positive trends, the persistent exceedance of WHO's recommended PM_{2.5} limits across all data sources underscores a critical public health concern. The results suggest that current mitigation efforts are insufficient to achieve safe air quality levels in Mainz. In light of this, the implementation of stronger regulatory frameworks and long-term urban planning strategies is imperative. It should have a very high sense of urgency given that exposure to PM_{2.5} has been estimated to cause as much as 3 % of all deaths in Germany (Hahad et al., 2024). Finally, the study emphasizes the value of hybrid monitoring approaches that integrate satellite data with ground-level sensor observations and meteorological inputs. Such models, as demonstrated in previous studies (Wang et al., 2020), can substantially improve the spatial and temporal resolution of air quality estimates and provide a more accurate foundation for public health decision-making and environmental policy design.

6. Conclusions

This study provides a comprehensive assessment of PM_{2.5} concentrations in Mainz from 2017 to 2022 by comparing satellite, citizen sensor, and official measurement systems. The findings show a general decline in PM_{2.5} levels over time, but all measurements continue to exceed WHO guidelines. Discrepancies between data sources highlight the strengths and limitations of each method and emphasize the need for hybrid approaches that integrate multiple data streams. Future research should focus on enhancing data harmonization and improving the resolution of both satellite and ground-based monitoring to better capture the complex spatial and temporal dynamics of urban air pollution.

Author Contributions: Conceptualization, H.L.; methodology, S.D. and F.T.; software, all.; validation, H.L.; formal analysis, S.D. and F.T.; investigation, all.; resources, H.L.; data curation, S.D. and F.T.; writing—original draft preparation, all.; writing—review and editing, all.; visualization, S.D. and F.T.; supervision, H.L.; project administration, H.L.; funding acquisition, none. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The project was funded by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF) with the grant number 03ZU120212.

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

References

- Aas, W., Fagerli, H., Alastuey, A., Cavalli, F., Degorska, A., Feigenspan, S., Brenna, H., Gliß, J., Heinesen, D., Christoph Hueglin, Adéla Holubová, Jean-Luc Jaffrezo, Mortier, A., Marijana Murovec, Jean-Philippe Putaud, Rüdige, J., Simpson, D., Solberg, S., Tsyro, S. and Kjetil Tørseth (2024). Trends in Air Pollution in Europe, 2000–2019. *Aerosol and Air Quality Research*, 24, pp.230237–230237. doi:<https://doi.org/10.4209/aaqr.230237>.
- Anzola, J., Pascual, J., Tarazona, G., & González Crespo, R. (2018). A clustering WSN routing protocol based on k-d tree algorithm. *Sensors* (Basel, Switzerland), 18(9), 2899. <https://doi.org/10.3390/s18092899>.
- Bentley, J. L. (1975). Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the ACM*, 18(9), 509–517. <https://doi.org/10.1145/361002.361007>.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L., & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbecce1>.
- Hahad, O., Lelieveld, J., Al-Kindi, S., Schmitt, V. H., Hobohm, L., Keller, K., Rössli, M., Kuntic, M., & Daiber, A. (2024). Burden of disease in Germany attributed to ambient particulate matter pollution. *Herz*. <https://doi.org/10.1007/s00059-024-05269-8>.
- Handschuh, J., Erbertseder, T., & Baier, F. (2023). Systematic evaluation of four satellite AOD datasets for estimating PM_{2.5} using a random forest approach. *Remote Sensing*, 15(8), 2064. <https://doi.org/10.3390/rs15082064>.
- Hsu, N. C., Tsay, S. C., King, M. D., Herman, J. R., Holben, B. N., Eck, T. F., Smirnov, A., Chatenet, B., & Procureur, J. (2019). Enhancing satellite-derived PM_{2.5} estimations. *Remote Sensing of Environment*, 227, 312–324. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.019>.
- Krittanawong, C., Qadeer, Y. K., Hayes, R. B., Wang, Z., Thurston, G. D., Virani, S. S., & Lavie, C. J. (2023). PM_{2.5} and cardiovascular diseases: State-of-the-art review. *International Journal of Cardiology. Cardiovascular Risk and Prevention*, 19, 200217. <https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200217>.
- Microcontrollers Lab. (2024). Nova PM SDS011 Dust Sensor – Pinout, Working & Interfacing. Retrieved from <https://microcontrollers-lab.com/nova-pm-sds011-dust-sensor-pinout-working-interfacing-datasheet/>
- Mushtaq, Z., Shah, A., & Younis, M. S. (2024). Satellite or ground-based measurements for air pollutants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12462-z>.
- Rheinland-Pfalz State Environmental Agency. (2023). PM_{2.5} Pollution Trends in Mainz. Retrieved from <https://www.lfu.rlp.de>.
- Shen, S., Li, C., van Donkelaar, A., Jacobs, N., Wang, C., & Martin, R. V. (2024). Enhancing global estimation of fine particulate matter concentrations by including geophysical a priori information in deep learning. *ACS ES&T Air*, 1(5), 332–345. <https://doi.org/10.1021/acsestair.3c00054>.
- Sensor Community. (2024). Sensor.community | Build your own sensor and join the worldwide civic tech network. Retrieved from <https://sensor.community>.
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2018). Model 5030i SHARP instruction manual. Retrieved from <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/manuals/epm-model-5030i-sharp-manual-en.pdf>.
- Washington University in St. Louis (WUSTL). (2022). Atmospheric Composition Analysis Group. Retrieved from <https://sites.wustl.edu/acag>.
- World Health Organization. (2021). Air quality guidelines. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.
- Wang, Y., Li, L., Chen, X., Liu, Y., & Zhang, Q. (2020). A hybrid model for improving PM_{2.5} concentration estimation. *Atmospheric Environment*, 223, 117290. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117290>.
- Xue, T., Zheng, Y., Geng, G., & He, K. (2019). Evaluation of PM_{2.5} concentrations derived from satellite-based aerosol optical depth over China. *Environmental Research*, 173, 476–486. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.06>.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s). *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Review Article

Biomass Carbonization, Briquetting and Briquette Characterization: A Review

Munashe Maposa ^{1,*}, Marko Chigondo ¹, Charles Rashama ¹, Delroy Nyadenga ¹,
Tapiwa Nancy Madziwa ¹, Placxedes Sigauke ² and Charis Gratitude ³

¹ Manicaland State University of Applied Sciences, Faculty of Engineering, Department of Chemical and Processing Engineering, Fern Hill Campus, Mutare/Zimbabwe

² University of South Africa, Christian de Wet and Pioneer Avenue, Private Bag X6, Florida, 1710, Johannesburg/ South Africa

³ Research and Innovation, Midlands State University, Gweru/Zimbabwe

* Correspondence: munashe.maposa@staff.msuas.ac.zw

Abstract: Briquetting is a contemporary means of converting waste biomass into a high calorific value solid fuel through densification of biomass-binder mixture. The process of briquetting is carried out in different ways depending on the type of biomass, binder or desired properties of the briquettes, the economic value and heating efficiency of the biomass as a fuel. This review paper aims at demonstrating the research achievements attained so far in the use of various forms and sources of biomass, the different binders and binder formulations, biomass carbonization, briquetting techniques and the characterization methods used to study the qualities of briquets. The future of biomass recycling to solve world energy crisis is a topical issue. Conversion of biomass into fuel briquettes can be a sustainable endeavour if research directs its focus on availability and renewable nature of raw materials given the seasonal nature of some types of biomass and binders.

Keywords: biomass; binder; briquette; carbonization; characterization

Biyokütle Karbonizasyonu, Briketleme ve Briket Karakterizasyonu: Bir İnceleme

Citation: Maposa, M., Chigondo, M., Rashama, C., Nyadenga, D., Madziwa, T.N., Sigauke, P. and Gratitude, C. Biomass Carbonization, Briquetting and Briquette Characterization: A Review. *Journal of GreenTech* 2025, 3(1): 30-44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15387682>.

Received: 10.03.2025

Revised: 09.05.2025

Accepted: 11.05.2025

Published: 30.06.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Öz: Briketleme, biyokütle-bağlayıcı karışımının yoğunlaştırılması yoluyla atık biyokütleyi yüksek kalorifik değere sahip katı yakıtla dönüştürmenin güncel bir yoludur. Briketleme işlemi, biyokütlenin, bağlayıcının veya briketlerin istenen özelliklerinin türüne, biyokütlenin yakıt olarak ekonomik değerine ve ısıtma verimliliğine bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleştirilir. Bu derleme makale, çeşitli biyokütle formlarının ve kaynaklarının kullanımında, farklı bağlayıcılarda ve bağlayıcı formülasyonlarında, biyokütle karbonizasyonunda, briketleme tekniklerinde ve briketlerin niteliklerini incelemek için kullanılan karakterizasyon yöntemlerinde bugüne kadar elde edilen araştırma başarılarını göstermeyi amaçlamaktadır. Dünya enerji krizini çözmek için biyokütle geri dönüşümünün geleceği güncel bir konudur. Biyokütlenin yakıt briketlerine dönüştürülmesi, bazı biyokütle ve bağlayıcı türlerinin mevsimsel doğası göz önüne alındığında, araştırmacının odak noktasını ham maddelerin bulunabilirliği ve yenilenebilir doğasına yöneltmesi durumunda sürdürülebilir bir çaba olabilir.

Anahtar Kelimeler: biyokütle; bağlayıcı; briket; karbonizasyon; karakterizasyon

1. Introduction

Biomass, especially waste by-products originating from timber industry are generated at a high rate, especially in countries where such industries are economically important like Zimbabwe. Recently, more and more attention has focused on utilizing saw dust potential from timber industries as resources for fuel production owing to both composition and abundance, achievement of sustainable energy for heating applications, reduction of environmental impact, creation of bio-economies, reduction of over reliance on fossil fuels, improvement of quality of rural and urban life as well as production of several biofuels (Pellera et al. 2021; Obi et al. 2022). On the other hand, the using wood as a fuel either directly or for making charcoal has exhausted national forest resource as exploitation far surpasses reforestation and growth rate. There necessitates diversity on energy resources by incorporating sawdust as domestic fuel and a lot of work has been done in that regard (Obi et al. 2022; Rotich, 1998).

Direct combustion of sawdust yields little energy as sawdust tends to hold high moisture in its loose natural state, nonuniform and poor feeding into gasifiers and boilers and has low bulk density leading to poor combustion efficiency (Obi et al. 2022; Olugbade et al. 2019). A further approach will be to densify the sawdust into briquettes to improve its handling, transport, and combustion characteristics and provides a favourable economic option for saw-millers to dispose of the environmentally hazardous. Many studies have been reported in this regard where several binders have been tested in the production of briquettes from different biomass; rice husk/cassava peel gel, rice husk/banana peel, maize cob/cassava peel gel, maize cob/banana peel, groundnut shell/cassava peel gel, groundnut shell/banana peel, sugarcane bagasse/cassava peel gel, sugarcane bagasse/banana peel with encouraging bulk densities calorific values and other properties (Idah, & Mopah, 2013). Nevertheless, burning of sawdust briquettes does not eliminate air pollution, has low heating value, high ash and mineral content as well as inadequately improved combustion efficiency briquettes hence the need for an alternative approach (Ghani et al. 2014; Rotich, 1998). One such approach is carbonization prior briquetting and limited studies are available on this (Ghani et al. 2014).

Most studies have mainly focused on direct briquetting of biomass, characterization and evaluation for relative density, shatter index, ignition time, burning rate, yield and proximate analysis, ultimate analysis, specific surface area and bulk density as so on. Combustion, liquefaction, gasification and pyrolysis are the thermochemical technologies available for converting sawdust into fuel products with pyrolysis being preferred for large scale energy conversion of biomass into solid fuel (Ghani et al. 2014). This carbonization technology depends on pyrolysis of feedstock to produce bio-char which is then bound into a solid fuel using a binding agent and subsequently briquetted by casting and pressing. Carbonization of biomass, followed by briquetting of the charcoal with a binder would be the most attractive alternative for energy utilization of sawdust to improve its calorific value and combustion properties (Rotich, 1998). Justifiably, during the utilization carbonization there would be low emissions of the oxides of the combustible elements, biomass can also be densified into pellets, logs or briquettes to improve its handling, transport, and combustion characteristics as a domestic fuel. Despite some studies on carbonization and briquette production and utilization, there is ample scope for further study and attention.

2. Sources of Biomass for Carbonization

Biomass refers to carbon based complex polymers derived from animal and plant remains. It is also composed of a mixture of organic molecules containing hydrogen, oxygen, and also small quantities of other atoms (Suryaningsih et al. 2017). The constituents of biomass are carbohydrates, lignin, starch, proteins and lipids and their compositions vary depending upon the geographical condition and source (Thomas et al. 2019). Typical sources of biomass include agricultural and industrial residues, animal wastes, wood wastes, energy crops, municipal solid waste, bagasse, sawdust, waste paper, waste from food processing, bio-solids, aquatic plants and algae (Ighalo et al. 2021).

In general, biomass as a source of fuel is densified by briquetting in order to increase the energy content per unit volume. The biomass may be carbonized before briquetting or be briquetted without carbonization. Yank et al. (2015) used rice husk and bran to produce briquettes, without carbonizing the biomass. Thulu et al. (2016) produced briquettes from a blend of raw banana peels and sawdust as binder. Setter et al. (2020) produced briquettes

from sugarcane bagasse and kraft lignin, with the lignin improving the properties of the briquettes. A proximate analysis documented by Promdee et al. (2017) showed that the fixed carbon content of rice husk is 18.88 % and that of bagasse is 5.86 %, thus this biomass has the potential to be carbonized.

A lot of research work has been done on production of activated carbon from biomass. Prior to producing activated carbon, the biomass is carbonized. Activated carbon has been synthesised from coconut shell (Promdee et al. 2017), *Jatropha curcas* fruit pericarp and seed coat (Okeola et al. 2012). Waste tea was utilized by Gurten et al. (2012) in the production of activated carbon. Mahat, & Shamsudin (2019) produced carbon quantum dots from oil palm empty fruit bunches.

Charcoal briquettes were produced from residues of banana peels, sugar cane bagasse, coconut husks and rattan waste by Bot et al. The resulting briquettes had satisfactory physicochemical properties (Bot et al. 2021). In other developing countries, various types of waste have been used in order to develop biomass briquettes such as wheat straw, rice straw and husk, waste paper and a mixture of coconut husk and maize cob. Other materials can be used like banana leaves, rice straw and rice bran, coffee residues and eucalyptus leaves (Bot et al. 2021). Lubwama, & Yiga (2018) developed briquettes from carbonized rice husk and coffee husk using cassava starch and clay as binders. Briquettes produced from rice husk and coffee husk by Lubwama, & Yiga (2018) showed a higher fixed carbon content and lower volatile matter than those produced from banana peels, sugar cane bagasse, coconut husk and rattan waste by Bot et al. (2021). These findings show that carbon content of briquettes vary depending on the type of biomass used and this in turn affects the properties of briquettes.

Wheat straw, maize straw and rice straw was carbonized before briquetting by (Guo et al. 2020) with part of their study being on pollutant emission reduction during combustion of the charcoal briquettes. Suryaningsih et al. (2017) did a comparison of charcoal briquettes made from coconut husk, sawdust from acacia tree, rice husk and coffee husk using tapioca starch as binder. The observed calorific for carbonized sawdust obtained in their research is 4 247 cal/g, which approximately 18 MJ/kg. Mopoung, & Udeye (2016) produced charcoal briquettes from banana peels and banana bunch using clay as a binder. The banana peel charcoal briquette exhibited a higher calorific value than that obtained by Bot et al. (2021) maybe due to differences in briquetting pressure, which affects the energy density of the fuel. Wu et al. (2018) investigated the properties of briquettes made from cotton stalk and wood sawdust. In this study, the biomass was pretreated by dry torrefaction and hydrothermal process and then briquetted prior to carbonization. The calorific value of the charcoal briquette from sawdust that underwent the hydrothermal pretreatment process of approximately 30 MJ/kg (Wu et al. 2018) is significantly higher than that obtained by Suryaningsih et al. (2017) apparently due to the thermal pretreatment process. Akowuah et al. (2012) did a physico-chemical analysis of sawdust charcoal briquettes produced in Kumasi, Ghana. They concluded that the briquettes met the recommended briquette characteristics.

3. Carbonization Techniques

The terms “slow pyrolysis” and “carbonization” are often used interchangeably, however slow pyrolysis can be considered a broader term, which covers both carbonization (i.e., pyrolysis of biomass into highly carbonaceous, charcoal-like material) as well as torrefaction (i.e., a low temperature pyrolysis process that serves as a pretreatment process) (Basu, 2013). Similarly, “char” refers to any solid product obtained from slow pyrolysis, whereas “charcoal” refers to the char obtained from carbonization and with intended use as a fuel. Carbonization is the oldest form of pyrolysis known to humankind for the production of charcoal from woody biomass (Antal, & Grønli, 2003).

The characteristic feature by which carbonization differs from other, dry thermochemical conversion techniques is the heating time being significantly longer than the pyrolysis reaction time (Basu, 2013). It is often carried out in an oxygen-limited rather than an oxygen-free environment. The limited amount of oxygen serves to partially combust the biomass (fuel), thus providing the required heat for the pyrolysis reactions to take place (Ronsse et al., 2013). In addition, certain carbonization processes, such as the flash carbonization process as described by Antal et al. (2003) are carried out at elevated pressures (up to 1 MPa). Process equipment for carbonization ranges from simplistic kilns (which are still used

where manual labor is cheap) toward complex and highly automated processes such as continuously operating retorts.

Hydrothermal carbonization (HTC) is considered an attractive and constantly expanding eco-friendly methodology for thermochemical processing of different types of biomass in energy, carbonaceous materials, structured hybrids, and other chemical products and method for converting lignocellulosic biomass into different value-added products (Fang et al. 2018; Kumar et al. 2018).

The hydrothermal carbonization (HTC) is a thermochemical conversion process that occurs in hot water (subcritical) and produces gases, liquids, and solids fractions. Among the many biomass conversion technologies, the advantage of hydrothermal carbonization is that wet biomass with a water content of 70–90 % by weight can be converted without prior drying (Kruse, & Dahmen, 2018). The main product is hydrochar (solid fraction) with great applications in the agricultural, medicinal, environmental, energy, etc. (Fang et al. 2018; Heidari et al. 2018; Kambo, & Dutta, 2015). However, liquid (water-soluble) and gaseous (mainly CO₂) by-products are also produced (Heidari et al. 2018; Kambo, & Dutta, 2015; Liu et al. 2018). The method has been proving versatile to obtain various products from different types of biomass, using lower temperatures and reactional conditions lighter compared to other thermal conversion processes (Gallifuoco et al. 2017), thus being considered an eco-friendly methodology. Although described with a sustainable methodology, hydrothermal carbonization needs to overcome some challenges to fit clean production processes.

One of the main problems associated with hydrothermal carbonization concerns the excessive use of water during the process. Considering that one of the greatest challenges facing humanity today is the shortage of drinking water, due to the degradation of aquatic environments and the constant irregular discharges of contaminants from various sources (Anumol et al. 2016; Sophia, & Lima, 2018), the process faces a double challenge to adapt to the processes of clean production. Initially, it is necessary to create alternatives for reducing excessive water expenditure. It is important to give an appropriate destination to the aqueous fraction originated after hydrothermal treatment. An alternative that has been presented to reduce the mentioned problems concerns the recirculation of process water (Chen et al. 2018; Kambo et al. 2018).

The variables involved in (HTC) include temperature which is one of the main variables in (HTC) which significantly influences the biomass conversion process from the degradation of the structural components. This process occurs due to the breaking of the chemical bonds of the biomass structural components, which occurs by the joint action of hydrothermal reactions as a consequence of the temperature (Zhang et al. 2019). The higher the temperature, the higher the carbonization and the more intense will be the dehydration and decarboxylation reactions. This occurs in a relatively slow reaction process. Current publications report responses in processes occurring in a time interval between 30 min and 12 hr (Chen et al. 2017), and residence times of 1 and 2 hr are the most used. In addition, to yield, the textural features such as surface area and porous structure of the produced hydrochars are also exposed to the significant effects of residence time. This deficiency is due in large part to the low specific surface areas observed in the hydrochar because of the weak porous structure established. In this respect, the specific surface areas observed are generally attributed to the external surface area. Another parameter which is less discussed in the HTC literature are the catalysts. The use of catalysts has the drive of accelerating reaction rates, modifying or adapting the reaction path and acting on the biomass decomposition. Studies show that the use of catalysts reduces the activation energy in the hydrolysis of biomass, and at the same time, favors the production of high-oxygenated functional groups, even in biomass with high lignin content, low temperatures and lower reaction periods.

3.1. Factors Affecting Carbonization

Charcoal density and biomass density, or the ratio of dry mass to saturated volume, have a positive correlation (Assis et al. 2016). Charcoal's tensile modulus, gravimetric yield, and resistance to parallel compression of charcoal fibers all increase with density (Moutinho, 2013). Density changes between hardwood and softwood, for instance, are highly dependent on the species engaged in carbonization (Assis et al. 2016). Temperature significantly increases density loss. According to the species, the average density loss is 40

%, with variances ranging from 33 % to 50 % (Chrzazvez et al. 2014). According to laboratory experiments, the humidity of charcoal's moisture content has a significant impact on the particles produced in drum testing (Rousset et al. 2011).

The particle size of the pieces for carbonization is also related to the friability of charcoal. Larger diameters will be more negatively affected by carbonization process because the carbonization front will have to shift across the piece as it moves toward the center (Assis et al. 2016). In wood, the main components are cellulose, hemicellulose and lignin. In addition to the solid portion, charcoal, condensable and non-condensable gases are produced during carbonization. The way these precursors interact affects the solid material's properties (Assis et al. 2016). Consequently, the quantity and arrangement of each component have a direct impact on the mechanical characteristics of wood and the quality of the charcoal that is produced after carbonization. For instance, lignin is technically more stable and is therefore the primary component that influences the creation of charcoal. Charcoal formation and mechanical properties are influenced by the quantity and configuration of its anatomical components, biomass proportions, the ratio of early to late biomass in the rings and the variations throughout the radius (Chrzazvez et al. 2014).

Klar (1925) emphasized that charcoal preserves the shape and structure of the biomass it is made from to the point that its look can be utilized to determine where it comes from. According to Chrzazvez et al. (2014), the porosity of charcoal is directly related to the carbonization temperature, the density of the biomass it came from, and the rate of carbonization. The findings of research conducted by de Oliveira et al. (1982) demonstrated how the carbonization temperature affected the charcoal's compression strength. In an eight-year-old *Eucalyptus grandis*, the scientists found that when the temperature rose from 300 to 900 °C, the charcoal's resistance to compression increased.

The product weight yields (dry wood base) from various wood pyrolysis modes are significantly impacted by the heating rate (Assis et al. 2016). The formation of liquids is favored by fast and intermediate pyrolysis, which happens in a matter of seconds or less. Carbonization, gasification, combustion, and torrefaction can all be seen in the event of slow pyrolysis (10–60 min to days) (Bridgwater, 2012). Lower heating rates may smooth the drying process and the carbonization gas output, minimizing flaws and cracks in the carbonized samples (de Oliveira et al. 1982). There is a condensation of volatiles in the solid matrix when the carbonization process is carried out in reactors under high pressure (Assis et al. 2016). A more stable structure known as secondary charcoal is created when highly reactive compounds undergo secondary reactions, increasing the fixed carbon content and gravimetric solids yield (Manya et al. 2014). According to Assis et al. (2016), high pressures enhance heat transference inside the reactor, resulting in more homogeneous charcoal and a shorter heating time.

4. Binders for Briquette Processing

Binders are extensively used in processing coal and biomass fines into solid fuel briquettes although binderless briquettes with an inferior quality to those having binders have also been previously produced (Taulbee et al. 2009; Manyuchi et al. 2018; Olugbade et al. 2019). The main role of the binders in briquetting is to ensure that solid particles constituting the briquette remain strongly bound to each other during processing, transportation and use of the briquettes. This bonding ensures a consistent briquette density and shape as well as reducing variability on other important solid fuel characteristics along the supply chain for customer satisfaction (Borowski et al. 2017). In cases where the biomass undergoing briquetting contains adequate natural binders as part of its chemical composition, it will not be necessary to add more binders during the briquette processing since an optimal binder concentration applies for best briquette performance. Higher or lower than optimal binder concentration in the briquette affects the economics and briquette mechanical performance as well as the briquette heating properties (Zanella et al. 2017). There are many different materials that have been successfully evaluated as binders for biomass briquette processing (Rejdak et al. 2020). Properties vary across these binders in terms of binding effectiveness, quantity required and environmental friendliness. Some binders are more expensive than others. The choice of a binder for each specific briquetting application is therefore dependent on many factors that may be dictated by the material being briquetted, the briquette end use, the binder properties, etc (Taulbee et al. 2009). It is therefore necessary

to run laboratory or pilot plant tests as part of binder evaluations for each specific application.

4.1. Binders Classification

Binders are classified into organic, inorganic and compound binders. Organic binders contain mainly carbon and hydrogen atoms while inorganic binders contain substantial amounts of inorganic elements in their chemical structure. The sub-classifications for both organic and inorganic binders are depicted in Figure 1 where examples for each binder type are also displayed. Organic binders are more popular than inorganic ones because of their strong bonding capabilities but they also present some disadvantages such as high emissions generation. The detailed list of advantages and disadvantages of using any binder type in briquetting are spelt out in Figure 1. Most of these extreme disadvantages specific to inorganic or organic binders are addressed by blending different ratios of inorganic and organic binders to produce what are termed compounded/blended binders.

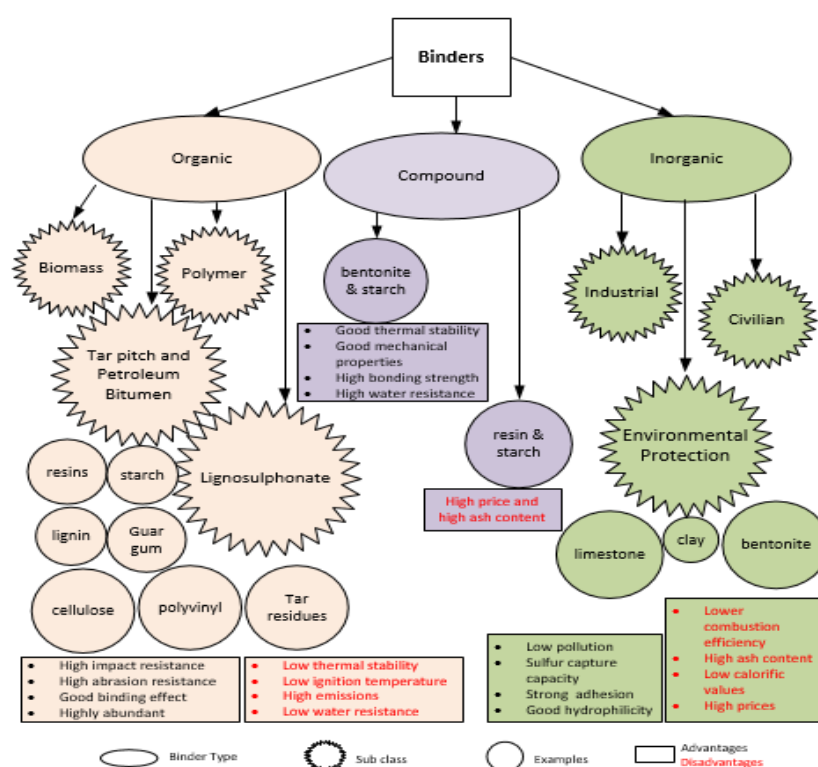


Figure 1. Binder types and examples including their advantages and disadvantages.

4.2. Binder Selection Factors

The key considerations in choosing a binder for briquetting and the significance of the factor are reported in Table 1. Some factors may be more important than others depending on the end use of the briquette. As previously stated in this review, desired binder properties can be formulated from blending two or more binders. This strategy can also be used to address unfavourable binder characteristics.

Table 1. Factors affecting the choice of binders used in biomass briquetting.

Binder Factor	Significance of the factor in briquetting production	References
Desired bonding strength	A binder offering strong bonding tends to have better mechanical properties hence generate less fines and is therefore desirable than a binder with weak bonding properties.	(Naude 2015)
Effect on emissions generation	If briquettes are to be used indoors, undesirable odours or unhealthy fumes introduced into briquettes by using certain binders especially those originating from fossil sources should be avoided through binder selection or chemical additions.	(Olugbade et al. 2019)
Effect on moisture	Some binders alter the moisture retaining capacity of briquettes, a characteristic that affects mechanical properties hence storability of briquettes.	(Aransola et al. 2019)
Effect on combustion performance	Certain binders increase or decrease the calorific value of the briquette. Further binder effects can be introduced on the burn rate of the briquette.	(Olugbade et al. 2019)
Effect on environmental friendliness	Environmental protection types of inorganic binders are more favorable in stringent environmental conditions. These have sulphur retaining capacity. Despite price and bonding benefits from organic binders that may be discouraging on pollution grounds.	(Zhang et al. 2018)
Sustainability	The carbon footprint, economic and social impacts of sourcing a binder contribute towards the briquette's sustainability ranking hence the binder choices especially in societies where sustainability issues are highly valued.	(Salah and El-Haggag 2007)
Economics and availability	The binder price which adds to the briquette costs affect binder choices for business competitiveness.	(Adeleke et al. 2019)

4.3. The Future of Binders in Briquetting Process

More research work is required towards the formulation of a wider spectrum and advanced performing compound binders. These formulations must be based on locally available resources. If such research efforts address most of the binder selection factors, then these formulations will form a basis to guide local strategies for briquetting binder choices in future. If a reputable database of biomasses compatible with certain compound binders could be developed with the support of empirical evidence, it will act as a driver for promoting briquetting technology as a cleaner fuel processing route for the globally abundant biomass. There are still several on-going debates on binding mechanisms and this area is still open for more research.

5. Briquetting Techniques

Briquetting is a densification technique involving the use of high pressure to compact loose biomass so as to increase the density of biomass residues. Briquetting techniques may vary depending on whether a binder has been used or not, the compaction methods used and also whether the biomass is carbonized prior to briquetting or after briquetting. Briquetting process can be done with or without the use of binders (Ajimotokan et al. 2019; Yang et al. 2016). Briquetting without binder can be of economic value since it lowers the cost of processing of briquettes but may require high compaction pressure for biomass densification (Yang et al. 2016; Papin et al. 2015). Low to moderate densification pressures are necessary during binder-based briquetting because higher pressures beyond 5.0 MPa may result in the collapse of cell walls of the biomass (Olorunnisola, 2004).

Binders give the briquettes some plastic deformation and act as cement between biomass particles (Papin et al. 2015). The purpose of densification or compaction of material biomass is to reduce the bulk so that transportation becomes easier and cheaper, increase energy density by squeezing out moisture during compaction, obtain a homogeneous product with the same physical properties, ensure uniformity in terms of energy quantity per unit mass of feedstock, create a highly cohesive fuel material from loose particulate material

that is otherwise difficult to process and also to increase particles' shutter resistance during transportation, handling and storage (Olorunnisola, 2004).

Sotannde et al. (2010) carried out batch experiments on production sawdust briquetting. In each batch, 100 g of dried sawdust was mixed thoroughly with either cassava starch or gum arabic as binders to obtain a uniform mixture. The sawdust-binder mixture was hand loaded into the PVC pipe that served as a mold and covered at both ends with the wooden disk before compacting at a pressure of 10.70 kg-cm⁻² using a press. The mixture was kept under pressure of the press for 5 minutes (Olorunnisola, 2004) to consolidate the shape and size of the briquettes by perhaps preventing spring back effect (Ajimotokan, 2019). Sawdust was briquetted without carbonization perhaps as a way of reducing the cost of production although the briquettes will have a lot of smoke and ashy during combustion, contributing to pollution. Uncarbonized briquetting may require a thorough cost benefit analysis since the products can contribute to pollution during combustion and the high compaction pressure required can make the process expensive and hence unsustainable.

Emerhi (2011) also briquetted uncarbonized sawdust using a hand pressing machine. The sawdust was first sun dried to reduce the moisture content to just about 12 %. Different proportions of binding agents were added to the mixtures before feeding them into a hand press machine where high pressure was applied to form the briquettes. The pressing method is almost similar to the use of screw press machine reported by Akowuah et al. (2012) and Aina et al. (2009) in production of quality briquettes with no other additives or binder.

Lela et al. (2015) also reported on the use of a special experimental rig for uncarbonized briquette production which consisted of a mold, punch and pressing plate. The bores in the mold were 38.6 mm in diameter and a height of 110 mm. Cardboard/sawdust mixture was used as the biomass. The mixture was loaded into the bores and compressed in the rig using a minimum compressing force of about 100 kN to obtain briquettes with satisfactory strength or mechanical properties (Lela et al. 2015). The benefit of both binder and biomass used is that they are both factory wastes which become part of clean up system and a renewable energy source.

Biomass can be carbonized first before briquetting as was reported by Ofori, & Akoto (2020) in their work on carbonized cocoa pod husks. The biomass was ground and sieved with a mesh size of <2 mm. 400 g of carbonized, sieved cocoa pod husks was thoroughly mixed with starch gel made from cassava in the ratio of 4 kg to 1 L to form a paste. The paste was then loaded into a metallic extrusion briquetting press where it was compacted into briquettes. Sieving was done perhaps to achieve smaller particle size which can effectively pack together during compaction (Yaman et al. 2001).

Stolarski et al. (2013) reported on the production of briquettes from agricultural and forest biomass using a specially designed briquetting machine. Separate biomass of each type, as well as their mixtures of different proportions were briquetted using a Polish piston-briquetting machine BT86M (WAMAG, Walbrzych). The main components of the device were a horizontal crank-and-piston briquetting press, a briquetting unit consisting of a briquetting bush, a pre-forming bush, a piston and a two-part clamping bush with a pneumatically adjustable clamping pressure component. The device had also a material feeding-compacting worm unit and a briquette conveyor, 5 m long, on which the briquette thermal and strength stabilization took place. The device also had a storage and dispensing container, a cyclone for automated pneumatic transport of material and a control cabinet (Aina et al. 2009). The machine was fitted with three electric motors to make the process automatic (Stolarski et al. 2013). The machine is a multi-component and complex one which can be ideal for bulky and large-scale commercial production of carbonized and uncarbonized briquettes in an automated way so as to increase consistence in the quality and properties of the briquettes.

Lignite fines as a biomass were reported by Tosun (2007). The biomass was mixed with each magnesia and gypsum as binders to produce different types of briquettes. The mixture of lignite, water and binder was poured into cylindrical iron molds and kept in the chamber at ambient temperature for 2 days to allow setting. No compaction was reported because these binders have a tendency of solidifying in water as a way of binding the particles. The uniqueness of the technique is on the use of inorganic substances to bind biomass and the ability of the briquettes to dry into a hard combustible solid without compaction. Test on compression strength and water resistance were measured for both types of briquettes. It was found that the compression strength of magnesia bonded briquettes reached 800 N at 20 % magnesia content when compared to gypsum bonded lignite briquettes which had a

compression strength of 300 N at 10 % gypsum content (Tosun, 2007). This method of briquetting cannot meet commercial standards due to the long setting time which delays the production line.

5.1. Briquetting Machines

Briquetting machines come in various shapes, sizes and applying different mechanisms of compaction. They can be broadly classified into three categories namely screw presses, piston presses and roller presses.

5.1.1. Screw presses

Material to be briquetted is continuously fed to a screw which forces the material to a cylindrical die. The briquette is formed as the material is compacted in the die and then exits at the other end of the die. Screw presses can be applied for high pressure compaction as well as for low pressure compaction. For high pressure compaction, heat is added to the die to facilitate lignin flow, with lignin acting as the binder. For low pressure compaction, no heat is added to the die and the material is often mixed with an external binder prior to feeding to the screw conveyer (Oladeji, 2015).

5.1.2. Piston presses

Piston presses are operated in a discontinuous, stroke mode, where material is added in a cylinder and then compressed by a reciprocating piston into a slightly tapering die. Frictional forces heat the material as it is being compressed in the die, facilitating the flow of lignin which binds the material. The briquettes produced exit at the other end of the die. Piston presses are classified according to the mechanism used to drive the piston. Mechanical piston presses use an electric motor geared down through a belt coupling whilst hydraulic piston presses transmit energy from the electric motor using a high-pressure hydraulic system (Marreiro et al. 2021; Oladeji, 2015).

5.1.3. Roller presses

Material is fed continuously through a gap between two rotating cylindrical rollers. The rollers rotate horizontally, in opposite directions and on parallel axes. As the material is forced through the gap, it is compressed and simultaneously agglomerated to form briquettes that come out at the opposite side (Dinesha et al. 2018; Kpallo et al. 2020). Table 2 shows the advantages and disadvantages of each briquetting machine type.

Table 2 Advantages and disadvantages of briquetting machines

Type of machine	Advantages	Disadvantages	References
Screw press	- The briquette making is continuous - The briquettes from screw presses are often denser and stronger than those produced by piston presses - Briquettes produced are usually homogeneous - Screw presses usually process material with very low moisture content, between 4 and 8 % - They require low capital costs	- Wear of contact parts are high - They are associated with higher maintenance costs than piston presses	(Oladeji, 2015) (Kpallo et al. 2020) (Kapeyushin, 2023)
Piston press	- Piston presses can process material with a higher moisture content, usually ranging from 10 to 15 % - The wear of contact parts is low - The power consumption rates are lower than those associated with screw presses	- High level of maintenance is required - Briquettes produced are usually non-homogeneous - The briquette making process is not continuous	(Kpallo et al. 2020) (Marreiro et al. 2021) (Oladeji, 2015)
Roller press	- Briquette making process is continuous - Roller presses can process material with a higher moisture content, usually ranging from 10 to 15 % - The wear of contact parts is low	- The briquettes produced are usually non-homogeneous	(Dinesha et al. 2018) (Kpallo et al. 2020)

5.2. Current Briquetting Techniques Versus Energy Demands

The world population and industrial technology are fast growing, increasing the volume of waste and the demand for energy. The conversion of organic waste into fuel briquettes can augment the current energy infrastructures as well as offering a means of waste management. Robust automated briquetting techniques have to be developed to increase output so as to meet the ever-increasing energy demand as well as to prevent accumulation of waste. This will go a long way in creating significant economic value to waste material and conserving forests which are being exploited for firewood. Currently there is a very big energy deficit which calls for tremendous research in the possible ways of enhancing briquetting productivity from different forms of biomass. The future of biomass densification as a sustainable energy solution depends on the universal research approach in dealing with diversified forms of waste and the successes in large scale production.

6. Characterization of Briquettes

Different characterization methods can be carried out on briquette samples to get an insight of their properties. The properties of the briquettes determine the performance qualities of the briquettes. The purpose of characterization is to obtain proximate and ultimate qualities or information on the briquettes. Ultimate analysis provides elemental composition of the briquettes while proximate analysis gives other general properties of a fuel like ash content, moisture content, volatile matter content etc. Thermogravimetric analysis (TGA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning electron microscopy (SEM) and X-Ray diffraction (XRD) are of critical importance in understanding the structural, chemical and thermal performance of the briquette.

6.1. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Thermogravimetric analysis (TGA) helps to understand the combustion behavior of the briquette by revealing the thermal decomposition stages of the samples. In the first stage, mass loss is due to dehydration, which is equivalent to the removal of moisture content. Occasionally, it is accompanied by the loss of extremely minute quantities of volatile substances. It results in a mass loss of 5.7 % and is initiated at 30 °C and ends at 150 °C. The next stage is regarded as the primary stage of reaction during combustion. It involves burning of volatile materials produced when cellulose and hemicellulose break down. A temperature range of 150 to 345 °C is suitable for this thermal degradation, which accounts for 48.79 % of the mass loss. The third stage, which requires temperatures between 345 and 510 °C accounts for a mass loss of 33.88 %, is brought on by the char that remained after the samples were devolatilized (Liu et al. 2021). Typical rice husk briquettes exhibited a mass loss associated with moisture that is valued at 9.25 % leaf, 10.27 % pseudostem and 7.94 % rice husk. Briquettes ignited at temperature 180 °C. The briquettes' peak temperature during their burning profile was established as 280 °C for banana leaf, as 276 °C for banana pseudostem, and as 315 °C for rice husk (de Oliveira Maia et al. 2018). Nyakuma et al. (2014) inferred that the decomposition of Empty Fruit Bunch briquettes happens in four stages: drying (A), heating (B), devolatilization (C), and char aggregation (D).

6.2. Fourier Transform Infra-red Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analyzes the chemical composition of binders or carbonization products. Briquettes from bagasse charcoal showed a number of distinct peaks at particular wavelengths, including the CO groups at 1050–1300 cm⁻¹, the C = C alkenes groups at 1610–1680 cm⁻¹, and the C-H alkane group at 2850–2970 cm⁻¹. The wavelength at which the CO₂ C = O group is presently active is 2991.59 cm⁻¹ (Veeresh, & Narayana, 2012). Because they can form hydrogen interactions, oxygen-containing functional groups, like the carboxyl group (1740–1650 cm⁻¹), have a significant impact on strength (Sun et al. 2014). Bands forming in the 3700 and 2300 cm⁻¹ regions, could be related to CO₂ and H₂O, respectively (de Oliveira et al. 2017).

6.3. Scanning electron microscope (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) allows observation of the surface morphology of the briquette and the distribution of binders among the particles. Charcoal briquettes demonstrated a consistent morphology and distribution along with the ongoing presence of pores (de Oliveira et al. 2017). Particles covered in a layer of natural binders, as evidenced by the SEM images of the briquettes and under light microscopy, these coatings looked to be glassy or white sugar-like coatings on the particles, and significant accumulation of these binding components are seen where the particles joined (Kaliyan, & Morey, 2010).

6.4. X-ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) allows the identification of the mineral structures that constitute the ash content. The XRD spectrum analysis results demonstrate that the sample forms a soft peak in the 20° - 30° spectra, suggesting that it is amorphous (Rahman et al., 2021). Peak increases in intensity until 1000 at a frequency of 2θ , after which it somewhat decreases as ash is formed by partial dissolution. According to Raju et al. (2014), the minerals found in cocopeat briquette are called fizelyite ($\text{Ag}_5\text{Pb}_{14}\text{Sb}_2\text{S}_4\text{S}_8$) and anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). The peak intensifies until 2600 at a resolution of 4 cm^{-1} , at which point it somewhat diminishes as ash from partial dissolution forms (Raju et al. 2014).

6.5. Proximate Analysis And Heating Values for Different Briquettes

Table 3 is a brief summary of research studies on proximate analysis and high heating values of briquettes. The volatile matter content of briquettes, which is correlated with the energy released during combustion, is a crucial factor in briquette combustion. Fuels with higher volatility will burn more quickly because they are more reactive and readily flammable (Fernandes et al. 2013) and will volatilize and burn as gas in combustion chambers due to the high volatile matter content.

Table 3. Research studies on proximate analysis and high heating values of briquettes

Type of Briquette	Volatile Matter (%)	Ash Content (%)	Moisture Content (%)	HHV(MJ/kg)	References
Corn straw briquette	69.65	8.84	10.20	16.79	(Liu et al. 2021)
Sawdust	54.59	10.30	15.71	-	(Raju et al. 2014)
Badam leaves	47.30	15.80	18.20	-	(Raju et al. 2014)
Cocopeat	53.55	9.80	18.65	-	(Raju et al. 2014)
Rice husk	34.38	30.05	7.90	18.57	(Deshannavar et al. 2018)
Rice husk	68.20	16.10	12.67	15.17	(Feng et al. 2006)
Dry leaves	74.50	25.50	10.30	10.24	(Kaur et al. 2017)
Palm kernel shell	76.50	2.70	3.50	-	(Sunny et al. 2023)
Corn cob	73.80	3.90	4.10	-	(Sunny et al. 2023)
Sawdust	70.60	3.20	5.90	-	(Sunny et al. 2023)
Rice husk	67.10	6.80	5.50	-	(Sunny et al. 2023)
Bagasse	28.90	10.99	5.10	10.44	(PallaviHV et al. 2013)
Coffee husk	23.00	13.10	3.50	11.39	(PallaviHV et al. 2013)
Rice straw	70.00	10.00	8.00	16.33	(Jittabut, 2015)
Sugarcane leaves	68.00	10.00	7.00	16.43	(Jittabut, 2015)
Rice straw	68.59	18.68	-	13.57	(Talukdar et al. 2014)
Waste wood charcoal	19.83	15.83	2.67	30.52	(Shiferaw et al. 2017)
Charcoal briquettes	16.67	8.33	8.33	19.24	(Hsan et al. 2017)

With a moisture content of 10 %, briquettes are suitable for burning (Liu et al. 2021) and a high-quality and stable briquette should have a moisture content of 5 % to 10 % (Oyelaran 2015; Pallavi et al. 2013). Ash content represents the proportion of impurities that will not burn both during and following combustion. Briquettes of low ash content are appropriate for thermal use and fuel's calorific value typically decreases as its ash content increases. High heating value of at least 15 KJ/kg is adequate to generate the heat needed for small-scale industrial applications and domestic cooking.

7. Conclusions

Various researches on briquette formation from biomass seem to share the same conclusion that biomass is a sustainable economic value addition process as well as a viable means of waste management. Different types of biomass have been researched on using different binders, biomass-binder ratios and densification methods producing briquettes of different performance qualities. Carbonized biomass briquettes have high carbon content, heating efficiency, low ash content and volatile matter but they are associated with high costs of production when compared to the uncarbonized type. High energy pressing during compaction or densification remains key to briquette formation because it ensures easy handling and transport as well as high calorific values for the briquettes. Biomass-binder ratios differ from one biomass to another due to compatibility issues. Instead of allowing organic solid waste to pile up around industrial sites causing environmental and health hazards, the waste seems to have found a value chain mechanism which can augment the available energy supplies for industries and homes. More research needs to be done to come up with briquette formulations which are cost effective in their production but with very high calorific values to run thermal power stations for the increasing demand of electricity. The future of coal as a source of power in thermal power stations is bleak because of its non-renewable and polluting nature. Biomass briquettes are the future source of hope for thermal energy. However, if the process of converting biomass into fuel briquettes is to become a sustainable energy source for the future, it's more imperative to focus on localized processes which exploit the available forms of waste or raw material within homes and industries so as to prevent accumulation of waste. Researchers should also focus on viability studies such as cost-benefit analysis as well as making briquette formation process automated for mass production in order to meet the ever-increasing demand of energy as well as preventing piling up of organic waste in homes, municipalities and industries.

Author Contributions: Conceptualization, M.M. and M.C.; writing—original draft preparation, P.S., C.R., T.N.M., M.C., M.P. and D.N.; writing—review and editing, C.G. and C.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

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

References

- Adams, P., Bridgwater, T., Lea-Langton, A., Ross, A., & Watson, I. (2018). Biomass conversion technologies. In *Greenhouse gas balances of bioenergy systems* (pp. 107–139). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00008-2>.
- Adeleke, A. A., Odusote, J. K., Lasode, O. A., Ikubanni, P. P., Malathi, M., & Paswan, D. (2019). Densification of coal fines and mildly torrefied biomass into composite fuel using different organic binders. *Heliyon*, 5(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02160>.
- Aina, O. M., Adetogun, A., & Iyiola, K. A. (2009). Heat energy from value-added sawdust briquettes of *albizia zygia*. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 2(1). <https://doi.org/10.4314/ejesm.v2i1.43501>.
- Ajimotoke, H. A., Ehindero, A. O., Ajao, K. S., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., & Shuaib-Babata, Y. L. (2019). Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African*, 6, e00202. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00202>.
- Akowuah, J. O., Kemausuor, F., & Mitchual, S. J. (2012). Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3, 1–6. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-3-20>.
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & engineering chemistry research*, 42(8), 1619–1640. <https://doi.org/10.1021/ie0207919>.
- Antal, M. J., Mochidzuki, K., & Paredes, L. S. (2003). Flash carbonization of biomass. *Industrial & engineering chemistry research*, 42(16), 3690–3699. <https://doi.org/10.1021/ie0301839>.
- Anumol, T., Vijayanandan, A., Park, M., Philip, L., & Snyder, S. A. (2016). Occurrence and fate of emerging trace organic chemicals in wastewater plants in Chennai, India. *Environment international*, 92, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.022>.
- Aransiola, E. F., Oyewusi, T. F., Osunbitan, J. A., & Ogunjimi, L. A. O. (2019). Effect of binder type, binder concentration and compaction pressure on some physical properties of carbonised concorb briquette. *Energy Reports* 5:909–918.
- Assis, M. R., Brancheriau, L., Napoli, A., & Trugilho, P. F. (2016). Factors affecting the mechanics of carbonized wood: literature review. *Wood Science and Technology*, 50, 519–536. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0812-6>.
- Basu, P. (2018). Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory. Academic press.
- Borowski G, Stepniewski W, Wojcik-Oliveira K (2017) Effect of starch binder on charcoal briquette properties. *Int Agrophysics* 31:571–574. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0077>.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and bioenergy*, 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>.
- Chen, X., Lin, Q., He, R., Zhao, X., & Li, G. (2017). Hydrochar production from watermelon peel by hydrothermal carbonization. *Biorenewable technology*, 241, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.012>.

- Chen, X., Ma, X., Peng, X., Lin, Y., Wang, J., & Zheng, C. (2018). Effects of aqueous phase recirculation in hydrothermal carbonization of sweet potato waste. *Bioresource Technology*, 267, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.032>.
- Chrzaszcz, J., Théry-Parisot, I., Fiorucci, G., Terral, J. F., & Thibaut, B. (2014). Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. *Journal of Archaeological Science*, 44, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.006>.
- de Oliveira Maia, B. G., de Oliveira, A. P., de Oliveira, T. M., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2018). Characterization and production of banana crop and rice processing waste briquettes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(4), 1266–1273. <https://doi.org/10.1002/ep.12798>.
- de Oliveira, J. B., Gomes, P. A., & de Almeida, M. R. (1982). Preliminary studies for normalization of charcoal quality control tests. *Serie de Publicacoes Tecnicas-Fundacao Centro Tecnologico de Minas Gerais (Brazil)*, (6).
- de Oliveira, R. S., Palácio, S. M., da Silva, E. A., Mariani, F. Q., & Reinehr, T. O. (2017). Briquettes production for use as power source for combustion using charcoal thin waste and sanitary sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10778–10785. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8695-0>.
- Deshannavar, U. B., Hedge, P. G., Dhalayat, Z., Patil, V., Gavas, S. (2018). Production and characterization of agro-based briquettes and estimation of calorific value by regression analysis: An energy application. *Materials Science for Energy Technologies*, 1(2), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.07.003>.
- Dinesha, P., Kumar, S., & Rosen, M. A. (2018). Biomass Briquettes as an Alternative Fuel: A Comprehensive Review. *Energy Technology*. <http://dx.doi.org/10.1002/ente.201801011>.
- Emerhi, E. A. (2011). Physical and combustion properties of briquettes produced from sawdust of three hardwood species and different organic binders. *Advances in Applied Science Research*, 2(6), 236–246.
- Fang, J., Zhan, L., Ok, Y. S., & Gao, B. (2018). Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 57, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.026>.
- Feng, X., Wu, H., Grossman, J. M., Hanvivadhanakul, P., FitzGerald, J. D., Park, G. S., Dong, X., Chen, W., Kim, M. H., Weng, H. H., Furst, D. E., Gorn, A., McMahon, M., Taylor, M., Brahn, E., Hahn, B. H., and Tsao, B. P. (2006). The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of Rice Husk Briquettes Produced from a Vibratory Block Mould Briquetting Machine. *Arthritis and Rheumatism*, 54(9), 2951–2962.
- Fernandes, E. R. K., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, 75, 603–608. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.008>.
- Gallifuoco, A., Taglieri, L., Scimia, F., Papa, A. A., & Di Giacomo, G. (2017). Hydrothermal carbonization of Biomass: New experimental procedures for improving the industrial Processes. *Bioresource technology*, 244, 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.114>.
- Hasan, E. S., Jahiding, M., Mashuni, Ilmawati, W. O. S., Wati, W., & Sudiana, I. N. (2017). Proximate and the Calorific Value Analysis of Brown Coal for High-Calorie Hybrid Briquette Application. *Journal of Physics: Conference Series*, 846(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/846/1/012022>.
- Heidari, M., Dutta, A., Acharya, B., & Mahmud, S. (2019). A review of the current knowledge and challenges of hydrothermal carbonization for biomass conversion. *Journal of the Energy Institute*, 92(6), 1779–1799. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.12.003>.
- Idah, P. A., & Mopah, E. J. (2013). Comparative assessment of energy values of briquettes from some agricultural by-products with different binders.
- Jittabut, P. (2015). Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. *Energy Procedia* 79, 2 – 9. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.452>.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2010). Natural binders and solid binding type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 101(3), 1082–1090. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.064>.
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359–378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.050>.
- Kambo, H. S., Minaret, J., & Dutta, A. (2018). Process water from the hydrothermal carbonization of biomass: a waste or a valuable product? *Waste and Biomass Valorization*, 9, 1181–1189. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9914-0>.
- Kapelyushin, Y. E. (2023). Comparative review on the technologies of briquetting, sintering, pelletizing and direct use of fines in processing of ore and technogenic materials. *Preparation of Raw Materials, CIS Iron and Steel Review*, 26, 4–11. doi:10.17580/cisr.2023.02.01.
- Kaur, A., Kumar, A., Singh, P., & Kundu, K. (2017). Production, Analysis and Optimization of Low Cost Briquettes from Biomass Residues. *Advances in Research*, 12(4), 1–10. <https://doi.org/10.9734/air/2017/37630>.
- Klar, M. (1925). The technology of wood distillation: with special reference to the methods of obtaining the intermediate and finished products from the primary distillate. Chapman & Hall.
- Kpalo, S. Y., Zainuddin, M. F., Manaf, L. A., & Roslan, A. M. (2020). A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustainability*, 12(4609). doi:10.3390/su12114609.
- Kruse, A., & Dahmen, N. (2018). Hydrothermal biomass conversion: Quo vadis?. *The Journal of Supercritical Fluids*, 134, 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.12.035>.
- Kumar, M., Oyedun, A. O., & Kumar, A. (2018). A review on the current status of various hydrothermal technologies on biomass feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1742–1770. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.270>.
- Lela, B., Barišić, M., & Nižetić, S. (2016). Cardboard/sawdust briquettes as biomass fuel: Physical–mechanical and thermal characteristics. *Waste management*, 47, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.035>.
- Lima, E. C. (2018). Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. *Ecotoxicology and environmental safety*, 150, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.026>.
- Liu, F., Dai, Y., Zhang, S., Li, J., Zhao, C., Wang, Y., ... & Sun, J. (2018). Modification and application of mesoporous carbon adsorbent for removal of endocrine disruptor bisphenol A in aqueous solutions. *Journal of Materials Science*, 53(4), 2337–2350. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1705-2>.

- Liu, J., Jiang, X., Cai, H., & Gao, F. (2021). Study of Combustion Characteristics and Kinetics of Agriculture Briquette Using Thermogravimetric Analysis. *ACS Omega*, 6(24), 15827–15833. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01249>.
- Manyà, J. J., Laguarda, S., Ortigosa, M. A., & Manso, J. A. (2014). Biochar from slow pyrolysis of two-phase olive mill waste: effect of pressure and peak temperature on its potential stability. *Energy & fuels*, 28(5), 3271–3280. <https://doi.org/10.1021/ef500654t>.
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2018) Value addition of coal fines and saw dust to briquettes using molasses as a binder. *South African J Chem Eng* 26:70–73. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2018.09.004>.
- Marreiro, H. M., Peruchi, R. S., Lopes, R. M., Andersen, S. L., Eliziário, S. A., & Rotella Junior, P. (2021). Empirical studies on biomass briquette production: A literature review. *Energies*, 14(8320), 1–40. <https://doi.org/10.3390/en14248320>.
- Moutinho, V. H. P., & Tomazello Filho, M. (2013). Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia* sp. na qualidade do carvão (Doctoral dissertation, Tese apresentada para título de doutor em ciências, programa: recursos florestais. Piracicaba).
- Nyakuma, B. B., Johari, A., Ahmad, A., & Abdullah, T. A. T. (2014). Thermogravimetric analysis of the fuel properties of empty fruit bunch briquettes. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 67(3), 79–82. <https://doi.org/10.1111/jt.v67.2768>.
- Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. J. (2022). A review of biomass briquette binders and quality parameters. *Energies*, 15(7), 2426. <https://doi.org/10.3390/en15072426>.
- Ofori, P. (2020). Production and characterisation of briquettes from carbonised cocoa pod husk and sawdust. *Open Access Library Journal*, 7(02), 1. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106029>.
- Oladeji, J. T. (2015). Theoretical Aspects of Biomass Briquetting: A Review Study. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 5(3).
- Olorunnisola, A. O. (2004). Briquetting of rattan furniture waste. <https://doi.org/10.1163/156915904774195133>.
- Olugbade, T., Ojo, O., & Mohammed, T. (2019). Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: A recent review. *BioEnergy Research*, 12, 241–259. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>.
- Oyeleran, O. A. (2015). Evaluating the Bio-Energy Potential of Groundnut Shell and Sugarcane Bagasse Waste Composite. *KKU Engineering Journal*, 42(4), 306–310. <https://doi.org/10.14456/kkuenj.2015.36>.
- Pallavi, H. V., Srikantaswamy, S., Kiran, B. M., Vyshnavi, D. R., & Ashwin, C. A. (2013). Briquetting Agricultural Waste as an Energy Source. *Journal of Environmental Science*, 2(1), 160–172. www.jecet.org.
- Papin, A. V., Ignatova, A. Y., Nevedrov, A. V., & Cherkasova, T. G. (2015). Fuel briquetting using finely dispersed waste of coal mining and processing. *Journal of Mining Science*, 51, 895–900. <https://doi.org/10.1134/S1062739115050052>.
- Pellera, F. M., Regkouzas, P., Manolikaki, I., & Diamadopoulos, E. (2020, May). Biochar production from waste biomass: Characterization and evaluation for potential applications. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 9694. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020EGUGA.22.9694P/doi:10.5194/egusphere-egu2020-9694.
- Pepejal, B. (2014). Physico-chemical characterizations of sawdust-derived biochar as potential solid fuels. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18(3), 724–729.
- Rahman, N. A., Anggorowati, D. A., Rastini, F. E. K., Mustiadi, L., & Ajiza, M. (2021). Characteristics of briquettes from bagasse charcoal using XRD and FTIR analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2384(December). <https://doi.org/10.1063/5.0071778>.
- Raju, C. A. I. R. (2014). Studies on Development of Fuel Briquettes for Household and Industrial Purpose. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(02), 54–63. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0302011>.
- Rejdak, M., Robak, J., Czardybon, A., Ignasiak, K., & Fudala, P. (2019). Research on the production of composite fuel on the basis of fine-grained coal fractions and biomass - The impact of process parameters and the type of binder on the quality of briquettes produced. *Minerals*, 10(1), 31.
- Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 104–115. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12018>.
- Rotich, P. K. (1998). Carbonization and briquetting of sawdust for use in domestic cookers (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Rousset, P., Figueiredo, C., De Souza, M., & Quirino, W. (2011). Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. *Fuel processing technology*, 92(10), 1890–1897. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.005>.
- Shiferaw, Y., Tedla, A., Melese, C., Mengistu, A., Debay, B., Selamawi, Y., Merene, E., & Awoi, N. (2017). Preparation and evaluation of clean briquettes from disposed wood wastes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 39(20), 2015–2024. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1399175>.
- Sotande, O. A., Oluyeye, A. O., & Abah, G. B. (2010). Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica*. *Journal of Forestry research*, 21, 63–67. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0010-6>.
- Stolarski, M. J., Szczukowski, S., Tworowski, J., Krzyżaniak, M., Gulczyński, P., & Mleczek, M. (2013). Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. *Renewable energy*, 57, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.005>.
- Sun, B., Yu, J., Tahmasebi, A., & Han, Y. (2014). An experimental study on binderless briquetting of Chinese lignite: Effects of briquetting conditions. *Fuel Processing Technology*, 124, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.03.013>.
- Sunnu, A. K., Adu-Poku, K. A., & Ayetor, G. K. (2023). Production and Characterization of Charred Briquettes from Various Agricultural Waste. *Combustion Science and Technology*, 195(5), 1000–1021. <https://doi.org/10.1080/00102202.2021.1977803>.
- Talukdar, A., Das, D., & Saikia, M. (2014). Study of Combustion Characteristics of Fuel Briquettes. *International Journal of Computational Engineering Research*||Vol, 04, 1–3.
- Taulbee, D., Patil, D. P., Honaker, R. Q., & Parekh, B. K. (2009) Briquetting of coal fines and sawdust part 1: Binder and briquetting parameters evaluations. *Int J Coal Prep Util* 29:1–22. <https://doi.org/10.1080/19392690802628705>.
- Tosun, Y. I. (2007). Clean fuel-magnesia bonded coal briquetting. *Fuel Processing Technology*, 88(10), 977–981. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.05.008>.
- Veeresh, S. J., & Narayana, J. (2012). Assessment of Agro-Industrial Wastes Proximate, Ultimate, SEM and FTIR analysis for Feasibility of Solid Bio-Fuel Production. *Universal Journal of Environmental Research & Technology*, 2(6), 575–581. <http://www.environmentaljournal.org/2-6/ujert-2-6-13.pdf>.

- Venter, P., & Naude, N. (2015) Evaluation of some optimum moisture and binder conditions for coal fines briquetting. *South African Inst Min Metall*.
- Yaman, S., SahanŞahan, M., Haykiri-Açma, H., Şeşen, K., & Küçükbayrak, S. (2001). Fuel briquettes from biomass-lignite blends. *Fuel processing technology*, 72(1), 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(01\)00170-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00170-9).
- Zanella, K., Concentino, V. O., & Taranto, O. P. (2017) Influence of the type of mixture and concentration of different binders on mechanical properties of green charcoal briquettes. *Chem Eng Trans* 57:199–204. <https://doi.org/10.3303/CET1757034>.
- Zhang, G., Sun, Y., & Xu, Y. (2018) Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renew Sustain Energy Rev* 477–487. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.072>.
- Zhang, C., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Chen, M., Cheng, M., ... & Wang, R. (2019a). Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts. *Chemical Engineering Journal*, 373, 902–922. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.139>.
- Zhang, S., Zhu, X., Zhou, S., Shang, H., Luo, J., & Tsang, D. C. (2019). Hydrothermal carbonization for hydrochar production and its application. In *Biochar from biomass and waste* (pp. 275–294). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00015>.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s). *Journal of Green Technology and Environment*, and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Araştırma Makalesi

Antik ve Tarçınlı Doğal Ahşap Yağları ile Muamele Edilmiş Keranji (*Dialium indum* L.) Odununda Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin BelirlenmesiFatih Tuncay Efe ¹, Ümit Ayata ², Abdi Atılğan ³, Hüseyin Peker ^{4*} ve Göksel Ulay ⁵¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yenice Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Böl., 17550, Çanakkale/Türkiye² Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Böl., 69000, Bayburt/Türkiye³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Böl., 03200, Afyon/Türkiye⁴ Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin/Türkiye⁵ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Pr., 65090, Van/Türkiye

* Sorumlu yazar: peker100@artvin.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, keranji (*Dialium indum* L.) odununun, antik ve tarçınlı doğal ahşap yağları ile muamele edilerek, yüzey özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Farklı yağ türlerinin, odunun renk parametreleri, parlaklık ve beyazlık indeksi üzerindeki etkileri ölçülmüştür. Yapılan testler sonucunda, her iki yağ türünün de ahşap yüzeyinde belirgin değişikliklere yol açtığı gözlemlenmiştir. Uygulanan her iki yağ türüyle h^o , C^* , b^* ve L^* değerlerinin azaldığı, a^* değerlerinin ise arttığı görülmüştür. ΔE^* değerleri, antik yağ uygulaması ile 16.62, tarçınlı yağ uygulaması ile ise 11.60 olarak elde edilmiştir. Beyazlık indeksi değerlerinde ise her iki yağ türü de düşüş göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, ahşap yüzeylerine uygulanan doğal yağların, ahşabın estetik ve fiziksel özelliklerini nasıl etkileyebileceği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, çevre dostu ve sürdürülebilir malzeme kullanımı açısından bu tür doğal yağların potansiyeli vurgulanmıştır. Bu çalışma, gelecekte yapılacak araştırmalara katkı sağlamanın yanı sıra, ahşap işleme endüstrisinde estetik ve fonksiyonel özellikleri geliştirmeye yönelik çevre dostu alternatif yüzey işlemlerine de ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: keranji ağacı; antika yağı; tarçın yağı; renk parametreleri; parlaklık; beyazlık indeksi**Determination of Selected Surface Properties of Keranji (*Dialium indum* L.) Wood Treated with Antique and Cinnamon Natural Wood Oils**

Atıf: Efe, F.T., Ayata, Ü., Atılğan, A., Peker, H. ve Ulay, G. Antik ve Tarçınlı Doğal Ahşap Yağları ile Muamele Edilmiş Keranji (*Dialium indum* L.) Odununda Seçilmiş Bazı Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi. Journal of GreenTech 2025, 3(1): 45-52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15476831>.

Geliş: 28.04.2025

Revizyon: 19.05.2025

Kabul: 20.05.2025

Yayın: 30.06.2025



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: In this study, the surface property changes of keranji (*Dialium indum* L.) wood treated with antique and cinnamon natural wood oils were investigated. The effects of different oil types on the wood's color parameters, brightness, and whiteness index were measured. The results of the tests showed that both oil types caused significant changes on the wood surface. It was observed that the h^o , C^* , b^* , and L^* values decreased, while the a^* value increased with the application of both oils. The ΔE^* values were 16.62 for the antique oil application and 11.60 for the cinnamon oil application. Both oil types also caused a decrease in whiteness index values. The results provide important insights into how the application of natural oils on wood surfaces can affect the aesthetic and physical properties of the wood. Additionally, the potential of these natural oils is emphasized in terms of environmentally friendly and sustainable material usage. This study serves as a fundamental source for future research and offers new alternatives for more efficient and aesthetically pleasing surface treatments in the wood processing industry.

Keywords: keranji wood; antique oil; cinnamon oil; color parameters; brightness; whiteness index

1. Giriş

Keranji (*Dialium indum* L.), Endonezya'ya özgü bir bitki türü olup özellikle Aceh ve bazı diğer bölgelerde doğal olarak bulunmaktadır. Aceh halkı bu meyveyi genellikle "Seuradi" olarak adlandırmaktadır. Keranji, genellikle Ağustos ile Aralık ayları arasında hasat edilen mevsimlik bir bitkidir (Faizah, 2020).

Doğal habitatında, deniz seviyesinden 1.200 metreye kadar olan yüksekliklerde, bozulmamış karışık dipterokarp ve alt-montan tropikal ormanlarda bulunmaktadır. Genellikle yamaçlarda ve kumlu ila killi topraklarda, ancak aynı zamanda ultrabazik ve kireçtaşı üzerinde de yer almaktadır. İkincil ormanlarda, genellikle bozulma öncesi kalan bir ağaç olarak bulunmaktadır. İyi drene edilmiş, organik madde açısından zengin verimli topraklarda ve nemli gölgeli ortamlarda veya kısmi gölgede iyi büyümektedir. Ağaç hem verimli hem de verimsiz topraklara tolerans göstermektedir (Lim, 2012).

Ağaç, 43 metreye kadar uzayabilen uzun ve ince bir yapıya sahiptir. Büyük, ince kök destekleri ve 95 cm çapında silindirik bir gövdesi, yoğun ve kompakt bir tacı vardır. Yaralandığında kırmızı reçine salgılayan, pürüzsüzden kaba yapıya değişen gri kabuğu bulunmaktadır. Dış odunu sarımsı renktedir (Lim, 2012).

Keranji meyvesi misket şeklinde olup, kabuğu siyah renkte sert, meyve eti turuncu veya siyah renkte olan, ekşi tatlı bir tada ve açık kahverengi sert bir tohuma sahiptir (Osman ve ark., 2018).

Bu ağaçtan elde edilen odun, ev ve tekne yapımında, cetvel, yağ presleri, dişliler, tomruk taşımada kullanılan kızaklar ve alet sapları üretiminde kullanılmaktadır (Lim, 2012).

Ağaç, özellikle iyi drene edilmiş toprağa sahip muson bölgelerinde, tropikal bölgelere iyi uyum sağlar. Hem verimli hem de verimsiz topraklara tolerans göstermektedir. Ağaç, özellikle küçükken, oldukça gölge toleranslı olma eğilimindedir. Meyve vermeye başlaması genellikle yavaş olabilir; yerel çiftçiler, bu sürenin 15-17 yıl olduğunu belirtmektedir (Subhadrabandhu, 2001).

Bir ağacın 40 yıldan fazla bir süre aldığı bilinirken, açık hava tuvaleti yakınındaki azot açısından zengin toprakta dikilen iki diğer ağaç, sadece 5 yıl içinde meyve vermeye başlamıştır. Bu meyve ağacı, Baklagiller (*Leguminosae*) familyasına aittir. Ağaç, Tayland'ın güneyi ile Malezya'da yabani olarak bulunmaktadır. Tayland'da "yee" ve Malezya'da "keranji" olarak bilinmektedir. Meyve, tadı itibarıyla biraz demirhindiye andıran karakteristik bir lezzete sahiptir. Bu nedenle İngilizce'de "velvet tamarind" (kadife demirhindi) olarak adlandırılmaktadır (Subhadrabandhu, 2001). Bu bitki, toprakta bulunan bazı bakterilerle simbiyotik bir ilişki geliştirir. Bu bakteriler, köklerde nodüller oluşturarak atmosferdeki azotu sabitletler. Sabitlenen azotun bir kısmı, bitkinin gelişimi için kullanılırken, geri kalan kısmı çevredeki diğer bitkiler tarafından da faydalanılabilir (Huxley ve Griffiths, 1992).

Keranji ahşabında radyal yönde daralma %2.30, teğet yönde daralma %3.70 (Jayamani ve ark., 2020) olarak bulunmuştur.

Literatürde çeşitli ağaç türlerine farklı özellikte koruyucu yağların uygulandığı bildirilmiştir (Peker ve ark., 2024, 2025; Ayata ve ark., 2024; Ulay ve Ayata, 2024). Ama literatürde keranji odununda herhangi bir koruyucu yağın uygulanmadığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada, antik ve tarçınlı doğal yağların keranji (*Dialium indum* L.) odunu yüzeyindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel ölçümlerle, bu yağların ahşap yüzeyinin renk, parlaklık ve beyazlık indeksi gibi fiziksel ve estetik özellikler üzerindeki değişimleri belirlenmiştir. Çalışmada, her iki yağın da odunun renk parametrelerini ve yüzey parlaklık seviyelerini nasıl etkilediği, ayrıca beyazlık indeksindeki değişimler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu tür bir çalışma, ahşap yüzeylerinin estetik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Ahşap malzemelerin doğal yağlarla işlenmesi hem estetik açıdan hem de korunma açısından önemli değişiklikler yaratabilir. Özellikle antik ve tarçınlı yağların ahşap yüzeyi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu yağların rengini, parlaklık ve beyazlık indeksini nasıl değiştirdiğini anlamak adına kritik bir öneme sahiptir. Ahşap, doğal yapısı gereği çevresel faktörlere karşı duyarlı bir malzemedir; dolayısıyla, yüzey modifikasyonu ile ahşabın estetik özelliklerinin yanı sıra dayanıklılığı da artırılabilir. Ayrıca, doğal yağlar kullanılarak yapılan bu tür çalışmalar, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesine katkı sağlar. Doğal yağlar, sentetik malzemelere kıyasla daha çevre dostu seçenekler sunarak, ahşap endüstrisinde doğaya zarar vermeyen malzeme kullanımını teşvik eder. Sonuç olarak, bu çalışma, ahşap yüzeylerindeki renk, parlaklık ve beyazlık değişimlerini inceleyerek hem endüstriyel uygulamalar için hem de bilimsel literatürdeki boşlukları doldurmak amacıyla önemli bilgiler sunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Keranji (*Dialium indum* L.) odunları, çalışmada kullanılmak üzere 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Numuneler, deneysel uygulamalardan önce, 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve %65 bağıl nem ortamında iklimlendirilmiştir (ISO 554, 1976). Çalışmada kullanılan tarçınlı doğal ahşap yağı ve antik ahşap yağı, satın alma yoluyla temin edilmiştir. Uygulamalarda kullanılan üstüğü (bez parçası) de aynı şekilde satın alınarak elde edilmiştir.

2.2. Metot

Ahşap yüzeyler, titreşimli bir zımpara makinesi ve farklı zımpara türleri (80, 120 ve 150 numara) kullanılarak zımparalanmıştır. Zımparalama işleminin ardından, tozdan temizlenen ahşap yüzeyler, üstüğü ile dairesel hareketlerle uygulanarak, yağların sürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

Whiteness Meter BDY-1 cihazının kullanılması beyazlık indeksi (WI^*) değerleri belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015). Parlaklık, bir yüzeyin ışığı yansıtma yeteneğini tanımlayan bir optik olgudur. Bir nesnenin parlaklığını ölçme ihtiyacı, estetik bir mesele olup, görünüm önemli bir rol oynamaktadır. Parlaklık, yüzeyin özellikleri, aydınlatma türü ve gözlemci gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bir gözlemciye bağlı olarak değişen bu sensör gözlem nedeniyle, bu varyasyonlara karşı dayanıklı yöntemlere başvurmak gereklidir. Farklı parlaklık dereceleri vardır. Yansıma açısı, aydınlatma açısına eşit olan yüzeyler parlak yüzeyler olarak kabul edilmektedir (Sousa, 2008). Parlaklık testleri, ETB-o833 model gloss meter cihazında üç farklı açıda (20° , 60° ve 85°) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır (ISO 2813, 1994). Renk parametreleri, CS-10 (CHN Spec, Çin) (ASTM D 2244-3, 2007) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıkları belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

Cividini ve ark., (2007) tarafından verilen ΔE^* değerleri [görünmez fark ($0.2 < \Delta E^*$), küçük fark ($0.2 < \Delta E^* < 2$), düşük kaliteli ekranda görünen renk farkı ($2 < \Delta E^* < 3$), orta kalite ekranla görülebilen renk farkı ($3 < \Delta E^* < 6$), yüksek renk farkı ($6 < \Delta E^* < 12$) ve farklı renk ($\Delta E^* > 12$)] ile çalışmadaki sonuçlar kıyaslanmıştır. Δa^* , ΔC^* , Δb^* ve ΔL^* tanımlamaları (Lange, 1999) Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo1. Δa^* , ΔC^* , Δb^* ve ΔL^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999).

Test	Pozitif durumda	Negatif durumda
Δa^*	Referanstan daha sarı	Referanstan daha mavi
ΔC^*	Referanstan daha net, daha parlak	Referanstan daha bulanık, mat
Δb^*	Referanstan daha kırmızı	Referanstan daha yeşil
ΔL^*	Referanstan daha açık	Referanstan daha koyu

2.3. İstatistiksel Analiz

Bir istatistiksel yazılım ve çalışmaya ait ölçüm verileri kullanılarak, minimum ve maksimum ortalama değerler, homojenlik grupları, ölçüm sonuçları, varyans analizleri, standart sapmalar ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Varyans analizi sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Yağ türü faktörü $\perp 20^\circ$ ’de parlaklık değeri anlamsız olarak bulunurken, diğer bütün testler üzerinde yağ türü faktörü anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo2 L^* parametresine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (% anlamlı)
Yağ Türü	Işıklılık (L^*)	1052.070	2	526.035	2634.771	0.000*
	Kırmızı (a^*) renk tonu	17.614	2	8.807	34.163	0.000*
	Sarı (b^*) renk tonu	393.717	2	196.859	1067.284	0.000*
	Kroma (C^*)	170.538	2	85.269	250.625	0.000*
	Ton (H^*) açısı	2257.097	2	1128.548	1097.585	0.000*
	$\perp 20^\circ$ ’de parlaklık	0.000	2	0.000		
	$\perp 60^\circ$ ’de parlaklık	1.841	2	0.920	138.535	0.000*
	$\perp 85^\circ$ ’de parlaklık	0.744	2	0.372	10.207	0.000*
	$\parallel 20^\circ$ ’de parlaklık	0.096	2	0.048	81.000	0.000*
	$\parallel 60^\circ$ ’de parlaklık	0.419	2	0.208	47.100	0.000*
	$\parallel 85^\circ$ ’de parlaklık	23.243	2	11.621	71.573	0.000*
	Beyazlık indeksi (L)	40.248	2	20.124	565.988	0.000*
	Beyazlık indeksi ($\parallel$)	174.368	2	73.684	1308.861	0.000*

Bu veriler, keranji odununun beyazlık indeksi (WI^*) üzerine antik ve tarçınlı yağların etkilerini göstermektedir (Tablo 3). Ölçümler, yüzeyin dik açıyla ($\perp$) ve paralel açıyla ($\parallel$) yapılan beyazlık indeksi değerleriyle değerlendirilmiştir. $WI^* \perp$ (dik açı) ölçümü sonuçlarına göre, kontrol grubu 7.08 değerinde bir beyazlık indeksi gösterirken, antik yağ uygulanan yüzey bu değeri %39.83 oranında bir düşüşle 4.26’ya indirmiştir. Tarçınlı yağ uygulanan yüzeyde ise beyazlık indeksi %23.73 azalmış ve 5.40’a gerilemiştir. Bu, her iki yağın da odunun yüzeyindeki beyazlık seviyesini azalttığını, ancak antik yağın bu etkiyi daha belirgin şekilde gösterdiğini ortaya koymaktadır. $WI^* \parallel$ (paralel açı) ölçümü açısından bakıldığında, kontrol grubu 5.34 değerinde bir beyazlık indeksi değerine sahipken, antik yağ uygulanan yüzey %92.51 oranında bir düşüşle 0.40’a gerilemiştir. Tarçınlı yağ uygulanan yüzey ise beyazlık indeksinde %82.77’lik bir azalma göstererek 0.92’ye düşmüştür. Bu sonuçlar, antik yağın yüzeyde beyazlık seviyesini çok daha fazla azalttığını, tarçınlı yağın ise beyazlık kaybını daha az seviyede tuttuğunu göstermektedir. Genel olarak, her iki yağ da odunun beyazlık indeksini azaltmış, ancak antik yağ daha güçlü bir etki yaparak beyazlık seviyesini belirgin şekilde düşürmüştür (Tablo 3).

Tablo3. Beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçları.

Test	Yağ Türü	Minimum	Maksimum	Ortalama	Değişim(%)	Homojenlik Grubu	Varyasyon Katsayısı	Standart Sapma
$WI^* (\perp)$	Kontrol	6.80	7.30	7.08	-	A*	3.45	0.24
	Antik	4.20	4.40	4.26	↓39.83	C**	1.98	0.08
	Tarçınlı	5.20	5.70	5.40	↓23.73	B	3.70	0.20
$WI^* (\parallel)$	Kontrol	4.90	5.70	5.34	-	A*	7.24	0.39
	Antik	0.30	0.50	0.40	↓92.52	C**	23.57	0.09
	Tarçınlı	0.80	1.00	0.92	↓82.77	B	11.23	0.10

Çalışmada, keranji (*Dialium indum* L.) odununun yüzey özellikleri üzerine antik ve tarçınli doğal ahşap yağlarının etkisi incelenmiştir. Renk ölçümleri, parlaklık ve beyazlık indeksi verileri kullanılarak, her iki yağın uygulandığı odun yüzeylerindeki değişiklikler karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, antika ve tarçınli yağların her ikisi de odunun renk parametrelerinde belirgin değişikliklere yol açmıştır. Bu sonuçlar Tablo 4’de verilmektedir (Tablo 4).

L^* (ışıklılık) değeri üzerinde yapılan ölçümler, her iki yağın da yüzeyi koyulaştırdığını göstermektedir. Kontrol örneğine kıyasla, antik yağ uygulanan odun %30.30 oranında koyulaşmış, tarçınli yağ uygulanan odun ise %21.41 oranında koyulaşmıştır. Bu sonuç, her iki yağın da odunun parlaklık seviyesini düşürdüğünü, ancak tarçınli yağın bu etkiyi daha hafif bir şekilde gösterdiğini ortaya koymaktadır (Tablo 4).

a^* (kırmızı-yeşil ton değişimi) değerine bakıldığında, antik yağın odunun kırmızımsı tonunu %6.44 oranında artırdığı görülürken, tarçınli yağın etkisi çok daha belirgindir ve %15.64 oranında bir artış sağlamıştır. Bu, tarçınli yağın yüzeyde daha fazla kırmızı ton oluşturduğunu ve böylece keranji odununun daha sıcak bir renk tonuna büründüğünü göstermektedir (Tablo 4).

b^* (sarı-mavi ton değişimi) parametresi ise her iki yağın da sarımsı tonu belirgin şekilde azalttığını ortaya koymaktadır. Antik yağ, sarılık tonunu %49.05 oranında, tarçınli yağ ise %31.47 oranında azaltmıştır. Bu da her iki yağın da yüzeydeki sarımsı tonları silerek daha soğuk, koyu bir renk oluşturduklarını göstermektedir (Tablo 4).

Son olarak, C^* (doygunculuk) ve h° (gölgeleme açısı) parametrelerine baktığımızda, her iki yağın da yüzeydeki doygunculuk ve gölgeleme açısını belirgin şekilde düşürdüğü görülmektedir. Antik yağ, C^* değerinde %27.13’lük bir azalma sağlarken, tarçınli yağda bu azalma %14.05’le daha düşük kalmıştır. Gölgeleme açısındaki azalma ise antik yağda %36.75, tarçınli yağda ise %26.09 olarak ölçülmüştür (Tablo 4).

Sonuç olarak, her iki doğal ahşap yağı da keranji odununun yüzey özelliklerini belirgin şekilde değiştirmiştir. Antik yağ, koyulaşma, kırmızılaşma ve sararmada daha yüksek etkiler yaratırken, tarçınli yağ ise daha hafif değişimlere yol açmıştır. Bu bulgular, her iki yağın da ahşap yüzeylerinde estetik değişiklikler sağlamak için etkili olduğunu, ancak etkilerinin yoğunluk açısından farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları.

Test	Yağ Türü	Minimum	Maksimum	Ortalama	Değişim(%)	Homojenlik Grubu	Varyasyon Katsayısı	Standart Sapma
L^*	Kontrol	46.06	47.34	46.56	-	A*	0.88	0.41
	Antik	31.82	32.97	32.45	↓ 30.30	C**	1.25	0.40
	Tarçınli	35.92	37.55	36.59	↓ 21.41	B	1.42	0.52
a^*	Kontrol	11.77	12.15	11.96	-	C**	0.95	0.11
	Antik	12.01	13.75	12.73	↑ 6.64	B	3.84	0.49
	Tarçınli	12.65	15.13	13.83	↑ 15.64	A*	5.22	0.72
b^*	Kontrol	17.54	18.20	17.86	-	A*	1.06	0.19
	Antik	8.27	9.91	9.10	↓ 49.05	C**	5.85	0.53
	Tarçınli	11.63	13.23	12.24	↓ 31.47	B	3.95	0.48
C^*	Kontrol	21.27	21.82	21.49	-	A*	0.72	0.16
	Antik	14.77	16.95	15.66	↓ 27.13	C**	4.36	0.68
	Tarçınli	17.57	19.69	18.47	↓ 14.05	B	3.95	0.73
h°	Kontrol	55.49	56.57	56.19	-	A*	0.73	0.41
	Antik	33.78	37.00	35.54	↓ 36.75	C**	2.45	0.87
	Tarçınli	39.67	44.24	41.53	↓ 26.09	B	3.54	1.47

*: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç, Ölçüm Sayısı: 10

Peker ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, iğde odununa her iki yağ uygulamasının ardından a^* değerlerinde bir artış gözlemlenirken, L^* , C^* , b^* , h° ve her iki yöndeki WI^* değerlerinde ise azalmalar tespit edilmiştir. L^* , C^* , b^* , h° değerleri ile her iki yöndeki WI^* değerlerindeki azalma, antik yağ uygulamasında tarçınli yağa kıyasla daha belirgin olmuştur.

Ayata ve ark., (2024) tarafından yapılan çalışmada, antik ve tarçınli doğal ahşap yağlarının, lale ağacının öz ve diri odunlarına uygulanması sonrasında meydana gelen renk parametreleri ile WI^* değerlerindeki değişimler belirlenmiştir. b^* ve C^* parametrelerinde, antik yağ uygulaması sonucunda hem öz hem de diri odunlarda azalışlar gözlemlenirken, tarçınli ahşap yağı uygulaması ile bu parametrelerde artışlar tespit edilmiştir. Her iki yönlü uygulamalarda, WI^* , L^* ve h° parametrelerinde azalışlar, buna karşılık a^* parametresinde artışlar kaydedilmiştir.

Peker ve ark., (2025) tarafından yapılan çalışmada, Sibiry çamı odununun yüzeylerine tarçınlı ve antik doğal ahşap yağları uygulandığında, C^* , b^* ve h^0 parametrelerinde antik yağ uygulaması ile azalmalar, tarçınlı yağ uygulaması ile ise artışlar gözlemlenmiştir. L^* değerlerinde, her iki yağ uygulamasıyla da azalmalar meydana gelirken, a^* değerlerinde her iki yağ uygulamasıyla da artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki yağın uygulandığı her iki yön-deki WI^* değerlerinde ise azalmalar belirlenmiştir.

Ulay ve Ayata (2024) tarafından yapılan çalışmada, tarçınlı ve antik doğal ahşap yağlarının uygulanmasının ardından, a^* değerlerinde farklı etkiler gözlemlenmiştir. Meranti red odununda antik yağ uygulamasıyla artış olurken, dut odununda ise azalma tespit edilmiştir. Tarçınlı yağ uygulaması ise her iki odun türünde de a^* değerlerinde artışlara yol açmıştır. b^* değerlerinde ise, antik yağ uygulaması azalma gösterirken, tarçınlı yağ uygulamasıyla farklı sonuçlar elde edilmiştir: meranti red odununda artış, dut odununda ise azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, her iki odun türünde de L^* ve h^0 değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. Son olarak, tüm WI^* değerlerinde azalma eğilimi gözlemlenmiştir.

Tablo 5'te verilen toplam renk farklılıklarına ait sonuçlara bakıldığında her iki yağ ile farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Her iki yağ ile yapılan uygulamalarda, ΔL^* değerleri negatif (referansa kıyasla daha koyu) olarak elde edilmiştir. ΔE^* değerleri, antik yağ uygulaması ile 16.62, tarçınlı yağ uygulaması ile ise 11.60 olarak bulunmuştur. ΔH^* değerleri, antik yağ uygulaması ile 6.57, tarçınlı yağ uygulaması ile ise 5.09 olarak tespit edilmiştir. Cividini ve ark. (2007)'ye göre tablo kullanıldığında, renk kategorisi açısından, tarçınlı yağ uygulamasında "yüksek renk farkı $6 < \Delta E^* < 12$ " kriterine, antik yağ uygulamasında ise "farklı renk ($\Delta E^* > 12$)" kriterine uyulmuştur. Her iki yağ uygulaması ile ΔC^* değerleri negatif (mat, referansa kıyasla daha bulanık) olarak bulunmuştur. Ayrıca, Δb^* değerleri de her iki yağ türü ile negatif (referansa kıyasla daha mavi) olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, Δa^* değerleri ise her iki yağ türü ile pozitif (referansa kıyasla daha kırmızı) olarak tespit edilmiştir (Tablo 5).

Ayata ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, antik ve tarçınlı doğal ahşap yağlarının, lale ağacının öz ve diri odunlarına uygulanması sonrasında elde edilen ΔE^* değerleri, öz odun için antik ahşap yağı uygulamasında 39.57, tarçınlı ahşap yağı uygulamasında ise 11.40 olarak belirlenmiştir. Diri odun için ise bu değerler, antik ahşap yağı uygulamasında 47.19, tarçınlı ahşap yağı uygulamasında ise 10.98 olarak tespit edilmiştir.

Peker ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, iğde odununa uygulanan antik ve tarçınlı ahşap yağlarının renk parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Antik yağ uygulaması sonucu ΔE^* değeri 19.48 olarak ölçülürken, tarçınlı yağ uygulaması ile bu değer 10.53 olarak bulunmuştur.

Peker ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada, Sibiry çamı odununun yüzeylerine uygulanan tarçınlı ve antik doğal ahşap yağlarının etkisiyle elde edilen ΔE^* değerleri, antik yağ uygulamasında 22.67, tarçınlı yağ uygulamasında ise 7.99 olarak ölçülmüştür.

Ulay ve Ayata (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dut odunu ve meranti red odunları üzerine uygulanan yağların etkisiyle elde edilen ΔE^* değerleri, dut odununda antik yağ ile 7.48, tarçınlı yağ ile ise 7.40 olarak bulunmuştur. Buna karşın, meranti red odununda antik yağ uygulamasıyla 18.85, tarçınlı yağ uygulamasıyla ise 11.52 değeri elde edilmiştir.

Tablo 5. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Yağ Türü	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk değişim kriterleri (Cividini ve ark, 2007)
Antik	-14.11	0.78	-8.76	-5.84	6.57	16.62	Farklı renk ($\Delta E^* > 12$)
Tarçınlı	-9.97	1.87	-5.62	-3.02	5.09	11.60	Yüksek renk farkı $6 < \Delta E^* < 12$

Yapılan parlaklık ölçümleri, antik ve tarçınlı yağların keranji odununun yüzey parlaklığı üzerindeki etkilerini göstermektedir (Tablo 6). 120° parlaklık açısıyla yapılan ölçümlerde, her iki yağ da yüzeyde herhangi bir parlaklık değişikliği yaratmamıştır, yani her iki yağın da kontrol grubuna etkisi olmamıştır. Ancak 160° parlaklık açısında, antik yağ, kontrol grubuna göre %10.38 oranında parlaklık kaybına yol açarken, tarçınlı yağ %17.92 oranında parlaklık artışı sağlamıştır. Bu, tarçınlı yağın yüzeyde parlaklık artırıcı bir etki yarattığını, antik yağın ise matlaştırıcı bir etki gösterdiğini ortaya koymaktadır. 185° parlaklık açısında, antik yağ %16.67 oranında parlaklık kaybı yaratırken, tarçınlı yağ ise %2.78 oranında bir kayıp göstermiştir. 20° parlaklık açısında her iki yağ da yüzeyde büyük bir parlaklık kaybı yaratmış ve %54.55'lik bir azalma meydana gelmiştir. Son olarak, 60° parlaklık

açısında, antik yağ %0.87 artış gösterirken, tarçınlı yağ %11.30 oranında parlaklık artışı sağlamıştır. $\parallel 85^\circ$ parlaklık açısında ise, antik yağ %32.86'lık bir parlaklık artışı yaratırken, tarçınlı yağ daha belirgin bir şekilde %49.77'lik bir artış sağlamıştır. Bu sonuçlar, tarçınlı yağın genellikle parlaklık artışı sağlarken, antik yağın ise yüzeyde parlaklık kaybına yol açtığını göstermektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Parlaklık değerlerine ait ölçüm sonuçları.

Test	Yağ Türü	Minimum	Maksimum	Ortalama	Değişim(%)	Homojenlik Grubu	Varyasyon Katsayısı	Standart Sapma
$\perp 20^\circ$	Kontrol	0.10	0.10	0.10	-	A	0.00	0.00
	Antik	0.10	0.10	0.10	0.00	A	0.00	0.00
	Tarçınlı	0.10	0.10	0.10	0.00	A	0.00	0.00
$\perp 60^\circ$	Kontrol	2.00	2.21	2.12	-	B	3.83	0.08
	Antik	1.80	2.00	1.90	↓10.38	C**	3.51	0.07
	Tarçınlı	2.40	2.60	2.50	↑17.92	A*	3.77	0.09
$\perp 85^\circ$	Kontrol	2.00	2.30	2.16	-	A*	6.62	0.14
	Antik	1.80	1.80	1.80	↓16.16	B**	0.00	0.00
	Tarçınlı	1.80	2.60	2.10	↓2.78	A	14.20	0.30
$\parallel 20^\circ$	Kontrol	0.20	0.30	0.22	-	A*	19.17	0.04
	Antik	0.10	0.10	0.10	↓54.55	B**	0.00	0.00
	Tarçınlı	0.10	0.10	0.10	↓54.55	B**	0.00	0.00
$\parallel 60^\circ$	Kontrol	2.30	2.30	2.30	-	B**	0.00	0.00
	Antik	2.30	2.40	2.32	↑0.87	B	1.82	0.04
	Tarçınlı	2.40	2.70	2.56	↑11.30	A*	4.20	0.11
$\parallel 85^\circ$	Kontrol	4.00	4.50	4.26	-	C**	4.85	0.21
	Antik	4.70	6.50	5.66	↑32.86	B	11.09	0.63
	Tarçınlı	6.10	6.70	6.38	↑49.77	A*	3.53	0.23

*: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç, Ölçüm Sayısı: 10

Farklı ağaç türlerinin yapısal ve kimyasal özellikleri, yağların bu yüzeylere nasıl etki ettiğini belirler. Ağaçların emilim kapasitesi, yüzey yapısı ve nem toleransı, uygulanan yağın etkinliğini farklılaştırabilir. Bu nedenle, aynı yağ türü farklı ağaçlarda değişik estetik ve fiziksel sonuçlar doğurur.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, antik ve tarçınlı doğal yağların keranji odunu üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre çeşitli yüzey değişiklikleri gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde, yağların uygulandığı yüzeylerin renk parametrelerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Beyazlık indeksi değerlerinde, her iki yağın da ahşabın yüzeyindeki beyazlık seviyesini azalttığı görülmüştür. Özellikle antik yağ, yüzeyin daha fazla kararmasına neden olmuş ve beyazlık indeksinde büyük bir düşüş göstermiştir. Her iki yağ türü de yüzeyin parlaklığını değiştirmiştir; ancak bu değişikliklerin yoğunluğu, kullanılan yağ türüne bağlı olarak farklılık göstermiştir. Tarçınlı yağ ise, beyazlık kaybını daha düşük oranda gerçekleştirmiştir. Bunun yanı sıra, parlaklık değerlerinde de değişiklikler gözlemlenmiştir. Her iki yağ türü de yüzeydeki parlaklığı değiştirmiş, fakat bu değişikliklerin yoğunluğu, kullanılan yağ türüne göre farklılık göstermiştir. Tarçınlı yağ, daha fazla parlaklık artışı sağlarken, antik yağ ise parlaklık seviyesinde daha az bir değişim meydana getirmiştir.

Bu sonuçlar, doğal yağların, ahşap yüzeyindeki estetik ve fiziksel özellikler üzerinde belirgin etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Antik yağ, daha belirgin bir renk değişimi ve beyazlık kaybına yol açarken, tarçınlı yağ yüzeydeki parlaklığı artırma konusunda daha etkili olmuştur. Ahşap endüstrisi ve mobilya üreticileri için, bu tür yağların seçiminde, yüzeyin istenilen estetik özelliklerine göre tercihler yapılabilir. Ayrıca, bu tür doğal yağların, çevre dostu alternatifler olarak kullanılabilirliği göz önüne alındığında, ahşap işleme endüstrisinde daha fazla araştırma ve uygulama yapılması gerektiği söylenebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı ahşap türleri ve yağ türlerinin kombinasyonlarıyla elde edilebilecek sonuçları daha ayrıntılı bir şekilde incelemelidir.

Yazar Katkıları: Birden fazla yazarlı araştırma makaleleri için, bireysel katkılarını belirten kısa bir paragraf sağlanmalıdır. Aşağıdaki ifadeler kullanılmalıdır “Kavramsallaştırma, H.P., F.T.E., Ü.A. ve G.U.; metodoloji, F.T.E. ve Ü.A.; yazılım, A.A., H.P., G.U. ve Ü.A.; doğrulama, H.P. ve Ü.A. içerik analizi, A.A., Ü.A. ve G.U.; araştırma, H.P., Ü.A. ve G.U.; çalışma olanakları, F.T.E., H.P. ve Ü.A.; veri düzenleme, H.P. ve Ü.A.; yazma—orijinal taslak hazırlama, F.T.E., A.A., H.P. ve Ü.A.; yazma—inceleme

ve düzenleme, H.P., Ü.A., A.A. ve G.U.; görselleştirme, Ü.A.; süpervizyon, H.P., GU. ve Ü.A.; proje yönetimi, F.T.E., H.P., Ü.A. ve G.U.; fon sağlama, F.T.E., H.P., A.A., Ü.A. ve G.U. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.” Yazarlık, çalışmaya önemli ölçüde katkıda bulunan kişilerle sınırlı olmalıdır.

Fon Desteği: Bu araştırmada herhangi bir dış finansmandan maddi destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1 (2015) Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayata, Ü., Efe, F.T., ve Bal., B.C., (2024). Antik ve tarçınlı doğal ahşap yağlarının lale ağacına (*Liriodendron tulipifera*) ait öz ve diri odunlarında uygulanması, Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Aktüel Yaklaşımlar, Duvar Yayınları, Editör: Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK, Eylül 2024, İzmir, 77-90. ISBN: 978-625-6069-69-5.
- Choo, K.T., Lim, S.C., and Gan, K.S., (1999). Timber Notes-Heavy Hardwoods II (Kekotong, Keranji, Merbau, Penaga, Resak). Timber Technology Bulletin, 12.
- Cividini, R., Travan, L., and Allegretti, O., (2007). White beech: A tricky problem in drying process. In International Scientific Conference on Hardwood processing, Quebec City, Canada.
- Faizah, S., (2020). Pengaruh pemberian ekstrak daging buah asam keranji (*Dialium indum* L.) terhadap kadar kolesterol mencit jantan (*Mus musculus*) Hiperlipidemia (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Banda Aceh).
- Huxley, A., and Griffiths, M., (1992). Dictionary of gardening (Vol. 1). Palgrave MacMillan.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Jayamani, E., Rahman, M. R., Hamdan, S., Kyari, M. I., Bakri, M. K. B., Sanaullah, K., and Khan, A., (2020). Dielectric properties of natural borneo woods: Keranji, kayu malam, and kumpang, BioResources, 15(4): 7815-7827. DOI: 10.15376/biores.15.4.7815-7827.
- Johansson, D., (2008). Heat treatment of solid wood: Effects on absorption, strength and colour, Luleå University of Technology, LTU Skellefteå, Division of Wood Physics. Doctoral dissertation.
- Kamarudin, M.S., Latiff, A., and Turner, I.M., (2013). Taxonomic realignment of Malaysian vascular plants in Burkill's monumental dictionary, Malayan Nature Journal, 65: 171-229.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Lim, T.K., (2012). *Dialium indum*, Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits, 624-626. ISBN: 978-94-007-1763-3.
- Osman, M., Mohd Hassan, N., Khatib, A., and Tolos, S., (2018). Antioxidant Activities of *Dialium indum* L. Fruit and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) of the Active Fractions, Antioxidants, 7(11): 154.
- Peker, H., Çamlıbel, O., Ayata, Ü., ve Ulay, G., (2024). İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine antik ve tarçınlı doğal ahşap yağlarının etkileri, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 38(2): 11-19. DOI: 10.47118/so-matbd.1599833.
- Peker, H., Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2025). Antik ve tarçınlı doğal ahşap yağları uygulanmış Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odununda renk ve beyazlık indeksi özelliklerinin araştırılması, Latin Amerika 10. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi 1-4 Mayıs 2025, Havana, Küba.
- Sousa, F.R.D.R., (2008). Estudo do envernizamento de madeiras exóticas com vernizes aquosos (Master's thesis, Universidade do Porto (Portugal)).
- Subhadrabandhu, S., (2001). Under-utilized tropical fruits of Thailand.
- Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2024). Dut ve meranti red odunlarında renk parametreleri üzerine ahşap koruyucu (antik ve tarçınlı) yağların etkileri, Orman Endüstri Mühendisliği Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler, Gece Kitaplığı, EDITÖR Doç. Dr. İlyas BOLAT, Sayfalar: 35-41. ISBN: 978-625-388-102-3.

Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.



GreenTech

JOURNAL OF GREEN TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT



www.journalgreentech.com