



Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi
Journal of Sustainable Engineering Applications and Technological Developments
2025, 8(1)

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Haziran-2025 8(1)

ISSN: 2651-3544

İçindekiler

	Makale Adı
1	Türkiye’de Sürdürülebilir Su Kaynakları Alanında Yapılmış Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi (1997-2024) Esra Karabalık, Emel Güven, Tamer Eren
2	İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Sektörel İş Kazalarının Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları Yönünden İncelenmesi Türkay Ercan Şengöz, Yahya Bozkurt
3	Türkiye’de Yeşil Bina Sertifikasyonu: LEED Verileri Üzerinden Bir Değerlendirme Sadık Akşar
4	Redefining Minimalism in Housing: Introducing the M1-13 Evaluation Framework via NLP and Multi-Scale Criteria Duygu Yıldız, Ilkim Markoc

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi uluslararası bilimsel hakemli bir dergidir.

Haziran ve Aralık Aylarında yılda 2 defa çevrimiçi olarak yayınlanır.

Taranmakta olunan indeks:



Eurasian
Scientific
Journal
Index



Baş Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör:

Dr. Çağrı AVAN

Dr. Gökhan EKİNCİOĞLU

Dr. Şerife ÖZATA

Kastamonu Ölçme Değerlendirme Merkezi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör Kurulu:

Prof. Dr. Uğur ÖZCAN

Prof. Dr. Bahattin AYDINLI

Prof. Dr. Mustafa KURT

Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Savaş CANBULAT

Prof. Dr. Serkan URANBEY

Prof. Dr. Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Abdullah CANDAN

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Doç. Dr. Ali SAYGIN

Doç. Dr. Arzuhan Burcu GULTEKİN

Doç. Dr. Burak ARICAK

Doç. Dr. Cennet YAMAN

Doç. Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN

Doç. Dr. Gökhan SURUCU

Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT

Doç. Dr. Lenka KOUŘIMSKÁ

Doç. Dr. Arch. Milena Nanova

Doç. Dr. Arch. Panayot SAVOV

Doç. Dr. Arch. Sonia PARVANOV-YONCHEVA

Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Doç. Dr. Süleyman GÖKÇE

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

Dr. Öğretim Üyesi Adem AHISKALI

Dr. Öğretim Üyesi Ali Kemal ÇAKIR

Dr. Öğretim Üyesi Asude ÇAVUŞ

Dr. Öğretim Üyesi Arzu ÇAĞLAR

Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR

Dr. Öğretim Üyesi Emin Sertaç ARI

Dr. Guang-jie Zhao

Dr. Öğretim Üyesi Melis ALPASLAN TAKAN

Dr. Mohamad Mazen HAMOUD-AGHA

Dr. Öğretim Üyesi Reza ABDİ

Dr. Öğretim Üyesi Tahir AKGÜL

Gazi Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Marmara Üniversitesi

Ege Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Ankara Üniversitesi

Süleyman Demirel Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Bursa Teknik Üniversitesi

Yozgat Bozok Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

Gazi Üniversitesi

Bayburt Üniversitesi

İskenderun Teknik Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Beijing Forestry University

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Institute Polytechnique UnilaSalle

University of Bonab

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Türkiye’de Sürdürülebilir Su Kaynakları Alanında Yapılmış Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi (1997-2024)

Bibliometric Analysis of Postgraduate Theses on Sustainable Water Resources in Türkiye (1997-2024)

Esra Karabalık¹, Emel Güven², Tamer Eren^{3*}

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye,

ÖZET

Dünyada artan nüfus, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bu küresel sorunlar, Türkiye gibi su kaynaklarının dikkatli yönetilmesi gereken ülkelerde de etkisini göstermekte ve bu alanda yapılan akademik çalışmaların önemini artırmaktadır. Suyun sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, gelecek nesillere temiz su bırakılması ve doğal kaynakların korunması hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, dünya genelinde artan nüfus, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörlerin su kaynakları üzerindeki baskıyı artırdığı bir dönemde, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinin önemini vurgulamak için ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki üniversitelerde “Sürdürülebilir Su Kaynakları” konusundaki lisansüstü tez çalışmalarını bibliyometrik özellikler doğrultusunda incelemektir. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veri tabanında, 1997-2024 yılları arasında bu alanda gerçekleştirilen 97 lisansüstü tez, doküman inceleme yöntemi ile analiz edilmiştir. Lisansüstü tezler; tezlerin türü, yıllara göre dağılımı, ana bilim dalı dağılımı, konu dağılımı, enstitü dağılımı, tezlerin yazılma yöntemi, yazıldıkları üniversiteler ve üniversite türleri şeklinde karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analizler, İstanbul Teknik Üniversitesi’nin bu alanda en fazla tez yazan üniversite olduğunu göstermiştir. Bu durum, üniversitenin çevre ve su yönetimi konularındaki uzmanlık ve araştırma kapasitesini ortaya koymaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi’ni sırasıyla Süleyman Demirel Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi takip etmektedir. Bu üniversiteler arasında yapılan karşılaştırmada, devlet üniversitelerinin bu alandaki literatüre daha fazla katkıda bulunduğu dikkat çekmektedir. Tezlerin çoğunlukla (%68) fen bilimleri enstitüsünde hazırlandığı ve çevre mühendisliği konularının (%28) diğer konulara kıyasla daha fazla ele alındığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, tezlerin büyük bir kısmının nicel yöntemlerle yazıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, Türkiye’de sürdürülebilir su kaynakları alanındaki akademik eğilimleri anlamak ve bu alandaki literatüre katkıda bulunmak için önemli bir referans niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler : Sürdürülebilir Su, Sürdürülebilir Su Kaynakları, Bibliyometrik Analiz, Lisansüstü Tezler

ABSTRACT

The increasing population in the world, rapid urbanization and climate change are increasing the pressure on water resources. These global problems are also showing their effects in countries such as Turkey, where water resources need to be managed carefully, and they increase the importance of academic studies in this field. Sustainable use of water, leaving clean water for future generations and protecting natural resources are of vital importance. The aim of this study is to examine postgraduate theses on “Sustainable Water Resources” in universities in Turkey in terms of bibliometric characteristics. In the database of

Başvuru: 05.12.2024 Revizyon Talebi: 15.01.2025 Son Revizyon: 00.00.2023 Kabul: 23.01.2025

Doi: 10.51764/smutgd.1596906

¹ E-mail: iesrakarabalik@gmail.com, ORCID No: 0009-0009-1199-6193

² E-mail: emel-gvn@hotmail.com, ORCID No: 0000-0001-6106-9720

^{3*}E-mail: tamereren@gmail.com, ORCID No: 0000-0001-5282-3138

the Council of Higher Education National Thesis Center (YÖKTEZ), 97 postgraduate theses conducted in this field between 1997-2024 were analyzed using the document review method. Postgraduate theses were analyzed by comparing the types of theses, distribution by year, distribution by main branch, distribution by subject, distribution by institute, the method of writing theses, the universities where they were written and the types of universities. The analyses showed that Istanbul Technical University is the university that has written the most theses in this field. This situation reveals the expertise and research capacity of the university in environmental and water management issues. Istanbul Technical University is followed by Süleyman Demirel University and Middle East Technical University, respectively. In the comparison made between these universities, it is striking that state universities contribute more to the literature in this field. It was observed that 68% of the theses were prepared in the institute of science and environmental engineering topics were discussed more than other topics, 28%. In addition, it was determined that a large part of the theses were written with quantitative methods. This study is an important reference to understand academic trends in the field of sustainable water resources in Turkey and to contribute to the literature in this field.

Keywords: Sustainable Water, Sustainable Water Resources, Bibliometric Analysis, Postgraduate Theses

1. GİRİŞ

Dünyanın %70'i insanlığın herhangi bir surette üretimini sağlayamadığı sudur. Bu suyun ise ancak %3'i tatlı su kaynağı iken ulaşılabilen su kaynağı ise yalnızca %1'dir (Doğan, 2023). Su kaynaklarının sınırlılığı ve artan tüketim, sürdürülebilir su yönetiminin önemini daha da artırmaktadır. Su, doğa ile uyumlu bir biçimde ve israf edilmeden kullanılmalıdır. Bu amaçla su tüketiminin azaltılması, suyun temizlenmesi ve yeniden kullanılmasına uygun yöntemlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir su yönetimi için önemli bir adımdır (Kırtorun ve Karaer, 2018). Türkiye, su kaynakları sınırlı olan bir bölgededir ve 2000'li yıllara kadar su zengini bir ülke olmasına rağmen, günümüzde su sorunu yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır (Aküzüm, Çakmak ve Gökalp, 2010). Yanlış su yönetimi uygulamaları ve küresel iklim değişiklikleri, Türkiye'deki su sorunlarının temel nedenleri olarak öne çıkmaktadır (Aküzüm, Çakmak ve Gökalp, 2010).

Sürdürülebilir su yönetimi, su kaynaklarını uzun vadede koruyarak verimli kullanılmasını sağlar ve su israfının önüne geçer. Su, hem günümüz hem de gelecekteki nesiller için kritik bir kaynak olup, bu kaynakların etkin yönetilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Dünya genelinde artan nüfus, iklim değişikliği, kirlilik ve aşırı kullanım nedeniyle su kaynaklarının kullanımı üzerindeki baskı giderek artmaktadır. Bu baskıya karşılık su yönetimi de büyük bir öneme sahiptir. Sanayilerde harcanan suyun kontrol altında tutulması, atık su arıtma ve yeniden kullanma gibi konularda stratejik yöntem sağlar. Türkiye'nin On İkinci Kalkınma Planı, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı için önemli hedefler belirlemiştir. Bu plan kapsamında, su kaynaklarının miktar, kalite ve ekosistemler açısından korunması ve iyileştirilmesi hedeflenmiş; sanayi kaynaklı su kirliliğinin önlenmesi için temiz üretim tekniklerinin hayata geçirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Aşağıda maddelerin bir kısmı belirtilmiştir (On İkinci Kalkınma Planı 2024-2028);

- Türkiye genelinde iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri güncel veri setleri ve senaryolar kullanılarak belirlenecektir (On İkinci Kalkınma Planı 877.2.).
- Su kaynakları miktar, kalite ve ekosistemler açısından korunacak ve iyileştirilecektir (On İkinci Kalkınma Planı 878).
- Sanayi kaynaklı su kirliliğinin önlenmesi için temiz üretim teknikleri hayata geçirilecektir (On İkinci Kalkınma Planı 878.3.).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki üniversitelerde sürdürülebilir su kaynakları konusundaki lisansüstü tez çalışmalarını bibliyometrik bir yaklaşım ile incelemektir. Çalışmada, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veritabanında yer alan tezler; tezlerin yazıldığı enstitüler, anabilim dalları, kullanılan yöntemler, tez konuları ve üniversite türleri gibi çeşitli bibliyometrik özellikler doğrultusunda analiz edilmiştir.

Bu analiz, sürdürülebilir su kaynakları konusundaki akademik çalışmaların mevcut durumunu ortaya koymayı ve literatürün desteklenmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Araştırma soruları şu şekilde belirlenmiştir:

1. Türkiye'deki üniversitelerde sürdürülebilir su kaynakları konusundaki lisansüstü tezlerin dağılımı nasıldır ve hangi üniversite türlerinde daha fazladır?
2. Bu tezlerin en fazla hangi üniversitelerde yazıldığı ve hangi enstitülerin daha fazla katkı sağlamıştır?
3. Sürdürülebilir su kaynakları ile ilgili tezlerde en fazla hangi konular ve hangi ana bilim dalında dağılımı

nasıldır?

4. Tezlerde kullanılan araştırma yöntemlerinin dağılımı nasıl bir eğilim göstermektedir?
5. Tezlerin yıllara göre dağılımı nedir?

Çalışmanın devamında, ikinci bölümde kuramsal çerçeve ele alınacak, üçüncü bölümde araştırma yöntemi açıklanacak, dördüncü bölümde elde edilen bulgular incelenecek ve beşinci bölümde sonuçlar tartışılacaktır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bibliyometri, bilimsel araştırmaların sonuçlarını istatistiksel ve sayısal analizlerle anlamak ve yorumlamak için matematiksel araçlardan faydalanan bir yaklaşımdır (Al, Sezen ve Soydal, 2019). Bu yöntem, araştırma çıktılarının derinlemesine değerlendirilmesine olanak tanıyarak, bilimsel üretkenliği ve akademik performansı anlamada önemli bir araç sunar. Bibliyometrik analiz, belirli bir zaman diliminde yayımlanan verileri veya bir yayın organının içeriklerini sayısal olarak inceleyerek bu alanlardaki eğilimleri ortaya koyar ve gelecekteki araştırmalara yön verir (Keçeli Erciyas, 2022). Özellikle bilimsel literatürün bir haritasını çıkarma ve gelişim süreçlerini analiz etme konusunda büyük bir öneme sahiptir.

"Bibliyometri" terimi, ilk kez Alan Pritchard tarafından 1969 yılında, bilimsel iletişim araçlarının matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi olarak tanımlanmıştır (Pınarcı ve Vuruşkan, 2024). Bu analiz yöntemi, yayınların alıntı sayıları, yazarlar, dergiler, ülkeler ve araştırma alanlarına göre gruplandırılmasını sağlar. Bunun yanı sıra, bilimsel alanda güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla sayısal ilişkiler, sosyal ağlar ve iş birliklerini de inceleme altına alır. Bu bağlamda, bibliyometrik analiz yalnızca literatürün mevcut durumunu değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda hangi alanların daha fazla ilgi gördüğünü ve hangi konuların ihmal edildiğini keşfetme imkânı sunar.

Bibliyometrik çalışmaların kullanım alanı oldukça geniştir. Bu yöntem, bilimsel dergilerin kendi iç değerlendirmelerini yaparak yayın ilkelerini geliştirmelerine yardımcı olurken, aynı zamanda araştırmacılar için değerli bir veri kaynağı sunar (Aslancı, 2022). Makaleler, yazarlar ve dergiler üzerine yapılan analizler, bir araştırma alanının genel çerçevesini ortaya koyar ve disiplinlerin gelişim süreçlerini anlamaya katkıda bulunur. Bununla birlikte, bibliyometrik analizler genellikle atıf dizinlerinden elde edilen verilerle yapılır ve bu dizinler, alanın kapsamını belirlemede kritik bir rol oynar (Savrun ve Mutlu, 2019).

Özellikle bilimsel literatürün evrimini ve araştırma alanlarındaki değişimleri anlamada güçlü bir yöntem olan bibliyometrik analiz, araştırma süreçlerinin yönünü belirlemede de büyük kolaylık sağlar (Karademir ve Akın, 2021). Bu analizler, bir alandaki araştırmaların zaman içindeki gelişimini, yeni eğilimleri ve değişen odakları ortaya koyarak bilimsel iletişimin dinamiklerini daha net bir şekilde görmeyi mümkün kılar.

Özetle, bibliyometrik analiz, bir konu üzerindeki yayın sayısının zaman içerisindeki değişimini, bu değişimin sebeplerini ve hangi yıllarda konu üzerine daha çok yayın yapıldığını belirlemek için kullanılır. Tüm akademik bilimsel çalışmalarda, ele alınan konunun mevcut araştırmalarla ilişkilendirilmesi ve bu bilgilerden yola çıkarak geliştirilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir. Literatürde yapılan bu tür analizler, akademik dünyada bilgi üretimi ve dağılımına dair önemli bir farkındalık yaratır. Bibliyometrik analiz, yalnızca mevcut araştırmaların durumunu değerlendirmekle kalmayıp, gelecekteki bilimsel çalışmalar için yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır. Ayrıca, çeşitli alanlarda bibliyometrik analizler yapılmıştır. Bunlardan bazıları literatür bölümünde verilmiştir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Sürdürülebilir Su Literatürü

Karcıoğlu ve Öztürk (2023), sürdürülebilir su yönetimi ve muhasebesi üzerine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Su yönetimindeki hatalı uygulamalar, artan su ihtiyacı ve iklim değişikliğinin etkileri, Türkiye'yi su kaynakları açısından riskli bir konuma taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, su muhasebesi konusunun uluslararası akademik literatürdeki yerini bibliyometrik yöntemlerle inceleyerek bu alandaki çalışmaların durumunu değerlendirmektir. Kırtorun ve Karaer (2018), su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği konularını detaylı bir şekilde ele almıştır. Güvenli içme ve kullanma suyuna erişim üzerindeki baskıları azaltmak için mevcut su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi, su tasarrufu modellerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir su kullanımına yönelik yöntemlerin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Aksungur ve Firidin(2008), Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik konusunu ele almışlardır. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunması için etkili yönetim stratejilerini incelemişlerdir.

Börü ve Toprak (2022), yağmur suyu hasadı literatürü üzerine bir inceleme yapmışlardır. Yağmur suyu hasadının

uygulama yöntemlerini, avantajlarını ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlama potansiyelini güncel literatür ışığında incelemiştir. Yeniçeri (2018), yağmur sularının hasadı ve aktif olarak tarımsal sulamada kullanılması ele alınmıştır. Çalışma yağmur suyu hasadı su kaynaklarının tükenmesi ve su kıtlığına karşı tarımsal sulama için etkili bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca yağmur suyu hasadının, su kaynaklarının korunmasına ve su israfının önlenmesine katkı sağlamadaki rolü incelemişlerdir.

Bahadır Koca, Terzioğlu, Didinen ve Yiğit (2011), su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek, bu etkilerin azaltılması için önlemleri belirlemek ve sürdürülebilir yetiştiricilik uygulamalarını teşvik etmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için yönetmelik ve stratejilere rehberlik etmeyi hedeflemiştir. Doğan (2023), suyun sınırlı bir doğal kaynak olarak önemini vurgulamak, artan tüketim ve azalan kullanılabilir tatlı su kaynaklarının küresel ve ulusal ölçekteki etkilerine dikkat çekmek, ayrıca sürdürülebilir su yönetiminin gerekliliğini ortaya koymayı hedeflemiştir. Tarım ve tekstil gibi yoğun su tüketimi yapan sektörler üzerinde durularak, su krizinin önlenmesi için alınabilecek önlemler ve farkındalık oluşturulması üzerine çalışmıştır. Özkan, Aydın, Hurma ve Aktaş(2013), Türkiye’de tarımsal sulama yönetimlerinin performansını ve çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada Edirne, Kırklareli, Tekirdağ ve Çanakkale’deki sulama barajları ve göletlerinde yapılan anketlerle, sulama kooperatifleri, birlikler ve belediyelerin yönetim becerileri karşılaştırılmıştır. Sulama kooperatiflerinin daha etkili olduğu, ancak çevresel sürdürülebilirlikte tüm yönetim türlerinde eksiklikler bulunduğu belirlenmiştir. Küçüksümbül, Akar ve Tarcan (2020), Bafa Gölü ve çevresindeki hidrojeolojik özellikleri, yüzey ve yeraltı suyu ilişkilerini ve kirlilik durumunu incelemişlerdir. Bölgede su kaynaklarının kimyasal özellikleri analiz edilmiş, deniz suyu girişi ve jeotermal etkilerin göl ekosistemine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, su kaynaklarının farklı kullanımlar için uygunluğu belirlenmiş ve sürdürülebilir yönetim önerileri sunulmuştur.

Olugboye, Dayo (2017), Nijerya’da sürdürülebilir su temini sağlamak için yenilikçi bir su temini yaklaşımını keşfetmek ve bu yaklaşım için rehber bir çerçeve sunmuşlardır. Mourad (2012), Suriye’deki su kıtlığına çözüm bulmak için yenilikçi su hizmeti teslim yöntemlerini incelemiştir. Çalışma, gri suyun yeniden kullanımı, yağmur suyu toplama ve sanal su kavramlarının tarımsal üretimle entegrasyonunu ele alarak, kişi başına düşen su kaynaklarının artırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca, WEAP (Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi) kullanarak, su talebi ve arzını dengeleyerek suyun verimli kullanılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Bu araştırma, Suriye’nin su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve gelecekteki su krizlerinin önlenmesi için stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Taylor (2010), sürdürülebilir kentsel su yönetimini (SUWM) teşvik eden liderler olarak tanımlanan proje şampiyonlarının, etkili olabilmek için hangi faktörlerden faydalandığı üzerinde durulmuştur. Araştırma, bu liderlerin başarılı olmalarını sağlayan kişisel özellikler ve çevresel faktörler üzerine odaklanarak, SUWM’nin yaygınlaşmasını destekleyecek yönetim stratejileri geliştirmeyi hedeflemiştir. Sonuç olarak, su ajanslarında SUWM’yi benimsemek için uygun liderlik yaklaşımlarını belirleyerek, bu süreçte etkili liderlerin nasıl desteklenebileceği konusunda rehberlik sunulmuştur.

3.2. Bibliyometrik Analiz Literatürü

Akın (2021), Sağlık turizmi alan yazının bibliyometrik analizini (2015-2020) gerçekleştirmiştir. Yayınlanan Türkçe makaleler, Google Scholar ve DergiPark veritabanlarında bibliyometrik özellikler açısından incelenmiştir. Aksungur ve Sever (2024), İnsansız hava araçları konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 2014-2023 yılları arasında YÖKTEZ veri tabanında insansız hava aracı konusuyla ilgili yayınlanan lisansüstü tezleri inceleyerek, bu tezlerin yıllara, üniversitelere ve disiplinlere göre dağılımını bibliyometrik açıdan değerlendirmektedir. Apak, Erol ve Öztürk (2016), Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi’nde yayınlanan makalelerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, nitel yöntemler arasında yer alan bibliyometrik analiz tekniği kullanılmıştır. Avunduk (2023), Endüstri 4.0 ile inovasyon arasındaki ilişkiyi uluslararası kaynaklardan yararlanarak bibliyometrik bir analizle incelemiştir. Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 ile inovasyon arasındaki ilişkiyi ele alarak, literatürdeki önemli kavram ve konuları ayrıntılı bir şekilde keşfetmektir.

Ayaz ve Türkmen (2018), yöresel yiyecekler konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Tezlerin büyük çoğunluğunun Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı’nda gerçekleştirildiği saptanmıştır. Beşel ve Yardımcıoğlu (2017), Maliye Dergisi’nin 2007-2016 dönemine ait bibliyometrik analizleri incelemişlerdir. Civelek ve Karadağ (2020), tarım turizmi çalışmalarının bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmanın amacı, tarım turizmi ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürü inceleyerek, tarım turizminin kırsal kalkınma, sürdürülebilirlik ve girişimcilik boyutlarını ele almaktır. Çavuşgil Köse (2020), turizm ve Covid-19 üzerine bir bibliyometrik inceleme gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçları, bu alanda en fazla katkıda bulunan ülkelerin ABD ve Çin olduğunu göstermektedir. Çelik ve Canoğlu (2019), Ulakbim veri tabanında çevre dostu ve sürdürülebilir pazarlama konusundaki makaleleri bibliyometrik yöntemle incelemişlerdir. Yapılan

analizde, en sık kullanılan analiz türünün Ki-Kare testi olduğu tespit edilmiştir.

Gaferoğlu, Kaya ve Kalemli (2024), Tsunami konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, YÖKTEZ veri tabanında 'tsunami' konusuyla ilgili yapılmış lisansüstü tezleri bibliyometrik açıdan incelemektir. İnceleme sonucunda, 'tsunami' başlığı altında 156 lisansüstü tez tespit edilmiştir. Gürbüz, Kıymık ve Bitlisli (2021), Türkiye'deki muhasebe eğitime ilişkin akademik çalışmaları bibliyometrik açıdan analiz etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında, 2005-2019 yılları arasında yayımlanmış 238 makale ve 81 lisansüstü tez, bibliyometrik analiz yöntemiyle nitel olarak incelenmiştir. Haydaroğlu (2022), finansal kriz ile ilgili lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini yapmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye'de finansal kriz konusunu ele alan lisansüstü tezleri çeşitli parametreler doğrultusunda inceleyerek bu tezlerin bibliyometrik özelliklerini belirlemektir. Hırlak ve Çolakoğlu (2023), marka vatandaşlık davranışına ilişkin literatürün bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz, Web of Science (WOS) ve Scopus veri kaynaklarından alınan verilerle R programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hotamışlı ve Erem (2014), Muhasebe ve Finansman Dergisi'nde yayımlanan makaleler üzerinde bir bibliyometrik analiz yapmışlardır. 2005-2013 yılları arasındaki bu çalışmalar, bibliyometrik özellikleri bakımından incelenmiştir.

Karagöz ve Koç Ardic (2019), Ana Dili Eğitimi Dergisi'nde yayımlanan makalelerin bibliyometrik analizini yapmışlardır. Dergide en yaygın akademik yayın türü makale olup, yayımlanan makalelerin büyük bir kısmı Türkçe dilindedir. Kavakcı ve Yardımcıoğlu (2018), Türkiye'de İbn Haldun üzerine yazılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, bu tezleri niceliksel verilerle değerlendirerek, ülkemizde İbn Haldun ile ilgili lisansüstü çalışmaların genel bir profilini ortaya koymaktır. Kurutkan ve Terzi (2022), sağlık hizmetlerinde dış kaynak kullanımına ilişkin bibliyometrik bir analiz yapmışlardır. Bu çalışmanın hedefi, 1992-2021 yılları arasında sağlık alanında dış kaynak kullanımı ile ilgili yayımlanan literatürdeki temaların gelişimini ve bu temalar arasındaki ilişkileri bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirmektir. Kurutkan, Orhan ve Kaygısız (2017), hasta güvenliği literatürünün bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu bibliyometrik analiz, Türkçe tez ve makaleler örneği üzerine yapılmıştır.

Özçınar (2017), hesaplamalı düşünme üzerine yapılan araştırmaların bibliyometrik analizini yapmıştır. Bulgular, hesaplamalı düşünmenin eğitim ve bilgisayar bilimleri alanlarında giderek daha fazla incelendiğini göstermektedir. Pınarcı ve Vuruşkan (2024), Türkiye'de ekip çizelgeleme konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma, 1991-2024 yılları arasında YÖKTEZ veri tabanındaki "Ekip Çizelgeleme" konulu 30 lisansüstü tezi bibliyometrik olarak analiz etmiş ve en fazla çalışmanın 2008 yılında, ağırlıklı olarak yüksek lisans düzeyinde yapıldığını tespit etmiştir. Sanlı ve Baltacı (2024), Siber güvenlik çalışmaları üzerine bir bibliyometrik analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, siber güvenlik konusundaki lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirerek bu alanda yapılan çalışmaların mevcut durumunu ve özelliklerini ortaya koymaktır. Zeren ve Kaya (2020), dijital pazarlama alanındaki ulusal yazı literatürünün bibliyometrik analizini yapmışlardır. Bu çalışma, dijital pazarlama konusundaki ulusal literatürde gerçekleştirilen çalışmaları sistematik bir literatür taraması ile incelemeyi hedeflemektedir. Sarı Gök (2022), kültürel miras turizmi konusundaki araştırmaların bibliyometrik analizini görsel haritalama tekniği kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın hedefi, Scopus veri tabanındaki 'kültürel miras turizmi' konusundaki mevcut akademik araştırmaları sistematik bir literatür taraması yöntemiyle incelemektir. Savrun ve Mutlu (2019), kent lojistiği üzerine bibliyometrik analiz yapmışlardır. Bu araştırma, "city logistics" anahtar terimiyle gerçekleştirilen bibliyometrik inceleme yoluyla kent lojistiği alanındaki bilimsel çalışmaların eğilimlerini ve bu alandaki eksiklikleri belirlemeyi hedeflemektedir. Seyran (2021), işyeri şiddeti çalışmalarının bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir. "İşyeri şiddeti" ile ilgili en fazla araştırmayı gerçekleştiren ülkeler arasında ABD, Çin, Avustralya, Kanada, İtalya ve Türkiye ön plana çıkmaktadır. Uzun vd. (2024), Oyun geliştirme konulu lisans üstü tezlerin bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir. Bu bibliyometrik analiz, 2008-2024 yılları arasında oyun geliştirme alanında yayınlanan lisansüstü tezlerin akademik özelliklerini ve eğilimlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Yeksan ve Akbaba (2019), sürdürülebilir turizm makalelerinin bibliyometrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 2017 yılında sürdürülebilir turizm alanında en fazla makalenin yayımlandığı, bibliyometrik analizle belirlenmiştir. Yılmaz (2017), restoranlarda bahşiş üzerine yayımlanan makalelerin bibliyometrik analizini yapmıştır. Çalışmanın amacı, 1978-2015 yılları arasında restoranlardaki bahşiş konusunu ele alan uluslararası makaleleri belirli kriterler doğrultusunda incelemektir.

Yapılan literatür taraması sonucunda, sürdürülebilir su yönetimi ve ilgili çalışmaların geniş bir yelpazeye yayıldığı gözlemlenmiştir. Ancak, sürdürülebilir su konusunun bibliyometrik analizinin henüz yapılmamış olması, bu çalışmanın literatüre katkı sağlaması adına önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu bağlamda, su yönetimi alanında yapılan önceki araştırmaların kapsamlı bir şekilde ele alınarak, mevcut durumu daha derinlemesine değerlendirmek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

4. YÖNTEM

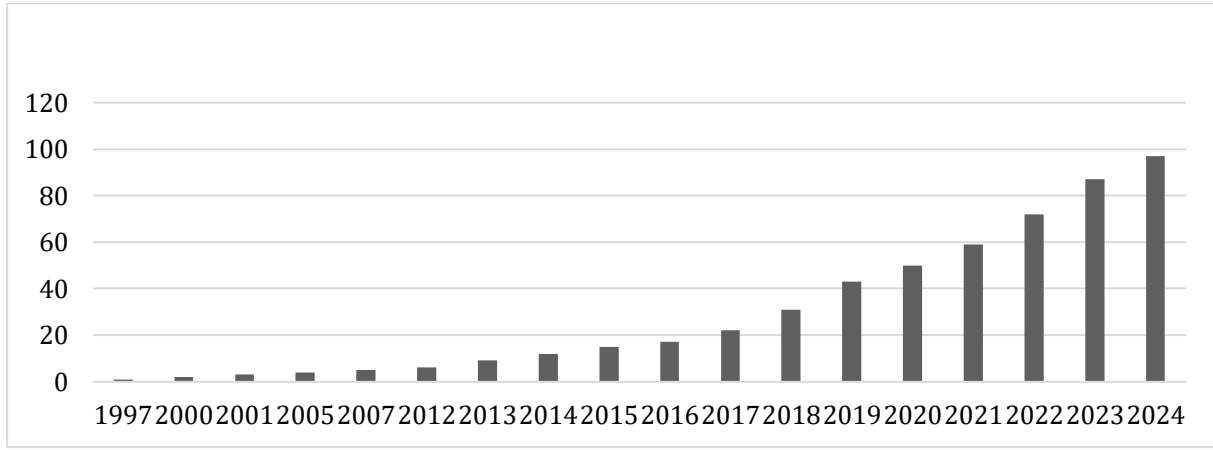
Bu araştırmada, 1997- 2024 yılları arasında Türkiye’deki “Sürdürülebilir Su Kaynakları” terimini başlığında bulunduran lisansüstü tezlerin çeşitli parametreler ışığında bibliyometrik analizi yapılmıştır. Araştırmada 07.05.2024 tarihinde YÖKTEZ’in arşivinde yer alan kayıtlar ele alınmıştır. Ulaşılabilen tez çalışmaların bibliyometrik analizleri için; ‘yayınlanma yılı’, ‘tezin türü’, ‘yayımlandığı üniversite’, ‘yayımlandığı üniversitenin türü’, ‘tezin çalışma konusu’, ‘yayımlandığı enstitü’, ‘yayımlandığı ana bilim dalı’, ‘araştırma yöntemleri’ ve ‘anahtar kelimeler’ başlıkları altında incelenmiştir.

Türkiye ölçeğinde YÖKTEZ’de yıl sınırlaması yapılmamış olup ilk çalışmanın 1997 olması sebebiyle 1997-2024 yılları arasında yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Veri tabanında anahtar kelime kısmına ‘sürdürülebilir su’ kelimesi yazılmış ve aranacak alan olarak özet seçilmiştir. Sonuç olarak toplam 97 tane lisansüstü teze ulaşılmıştır. Bu tezlerden 83 tanesi yüksek lisans ve 14 tanesi doktora tezidir.

5. BULGULAR

5.1. Lisansüstü Tezlerin Yıllara Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin yıllara göre dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Lisansüstü Tezlerin Yıllara Göre Dağılımı

1997-2024 yılları arasında lisansüstü tezler en çok %15 ile 2023 (15 tez), %13 ile 2022 (13 tez) ve %12 ile 2019 (12 tez) yıllarında yazılmıştır. Yüksek lisans tezlerinin en düşük sayıda yazıldığı yıllar ise sırasıyla %1 oranında 1997, 2001, 2005, 2007 ve 2012 yıllarıdır. Yapılan bibliyometrik analiz 1997- 07.05.2024 tarihleri arasındadır ve 2024 yılında 10 tez yayınlanmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında, sürdürülebilir su üzerine çalışmaların yıllar geçtikçe önem kazanarak arttığını gözlemlenmektedir.

5.2. Lisansüstü Tezlerin Türüne Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin türüne göre dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

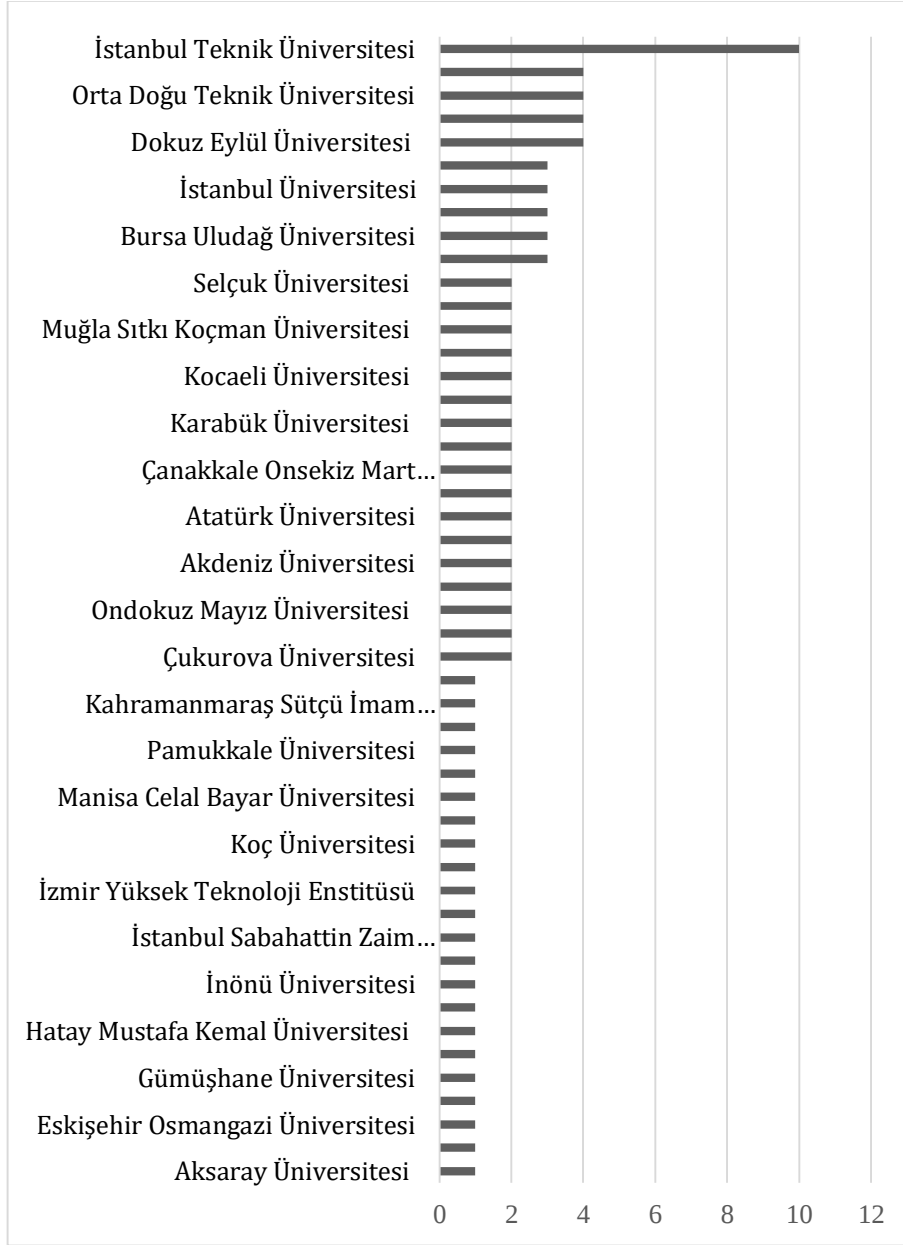
Tablo 1. Lisansüstü Tezlerin Türüne Göre Dağılımı

Tez Türü	Sayı
Doktora	14
Yüksek Lisans	83

Çalışmada analiz edilen 97 lisansüstü tezin %14’ü (14 tez) doktora, %86’sı (83 tez) yüksek lisans tezi olduğu görülmüştür. Oranlar arası farkın fazla olduğu gözlemlenmiş ve sürdürülebilir su konusunun yüksek lisansta çalışma konusu olarak daha çok seçildiği görülmüştür.

5.3. Lisansüstü Tezlerin Üniversitelere Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin üniversitelere göre dağılımı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Lisansüstü Tezlerin Üniversitelere Göre Dağılımı

Çalışmada incelenen lisansüstü tezlerin %10'luk kısmı İstanbul Teknik Üniversitesinde yazılmıştır. Sürdürülebilir su alanında en çok çalışma yapan üniversiteler İstanbul Teknik Üniversitesi (10), Süleyman Demirel (4), Orta Doğu Teknik Üniversitesi (4), Gazi Üniversitesi (4) ve Dokuz Eylül Üniversitesi'dir. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), sürdürülebilir su yönetimi alanında önemli projeler yürütmektedir. Bu projelerden biri olan HIDROTURK, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için Türkiye'ye özgü modelleme araçları geliştirmeyi amaçlamaktadır; ayrıca İTÜ'nün sürdürülebilirlik ofisi, çevre ve su kaynaklarının korunmasına yönelik eğitim, araştırma ve uygulama faaliyetlerini koordine etmektedir. Bu bağlamda, İTÜ'nün sürdürülebilir su alanındaki yoğun çalışmaları, üniversitenin bu alandaki önde gelen kurumlardan biri olmasına katkı sağlamış olabilir.

5.4. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Üniversitelerin Türüne Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin türüne göre dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

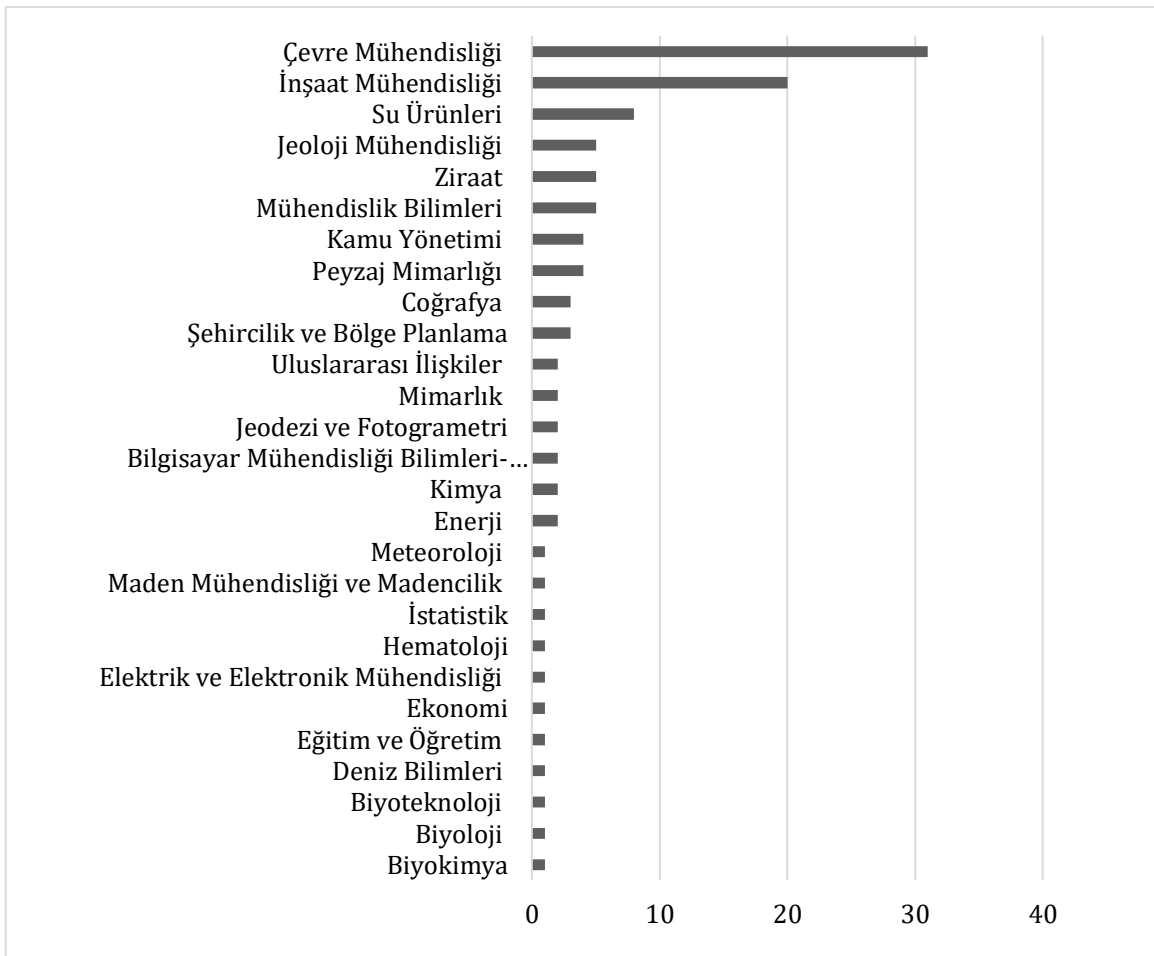
Tablo 2. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Üniversitelerin Türüne Göre Dağılımı

Üniversite Türü	Sayısı
Devlet	92
Vakıf	5

Çalışmada analiz edilen lisansüstü tezlerin %95’i (92 tez) devlet üniversitesinde, %5’i (5 tez) vakıf üniversitesinde yazılmıştır.

5.5. Lisansüstü Tezlerin Konusuna Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin konusuna göre dağılımı Şekil 3’te verilmiştir.

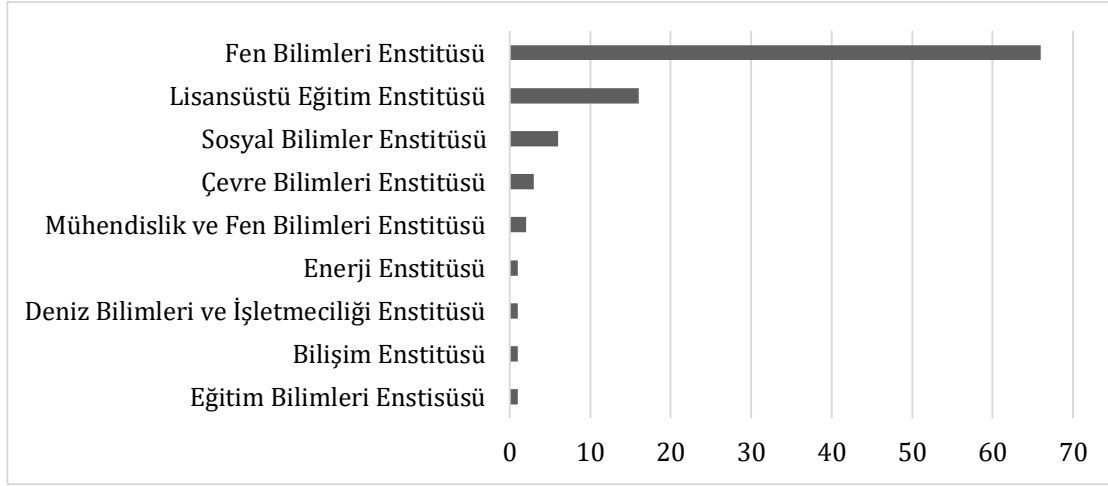


Şekil 3. Lisansüstü Tezlerin Konusuna Göre Dağılımı

Çalışmada analiz edilen lisansüstü tezlerin konusuna göre dağılımına bakıldığında en çok çevre mühendisliği (%28) olduğu görülmektedir. Çevre mühendisliğinde su kaynaklarını korumak, su kirliliğini engellemek ve su kalitesini iyileştirmek gibi iklim değişikliğiyle ve artan nüfus artışıyla ilgili sorunları ele alan sürdürülebilir su yönetimi konularında tez çalışmaları mevcuttur. (Subaşı,2022; Kocalar ,2014) İkinci sırada ise inşaat mühendisliği (%18) olmuştur. Bunun nedeni ise altyapı projelerinde su kaynaklarının aktif kullanımını sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak konularına yoğunlaşılması olarak söylenebilir. Üçüncü sırada ise Su ürünleri (%7) konuları yer almaktadır. Lisansüstü tezlerin konusuna göre dağılımında en az %1 ile meteoroloji, maden mühendisliği ve madencilik, istatistik, hematoloji, elektrik ve elektronik mühendisliği, ekonomi, eğitim ve öğretim, deniz bilimleri, biyoteknoloji, biyoloji ve biyokimya konularında yazılmıştır.

5.6. Lisansüstü Tezlerin Enstitüsüne Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin enstitüsüne göre dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.



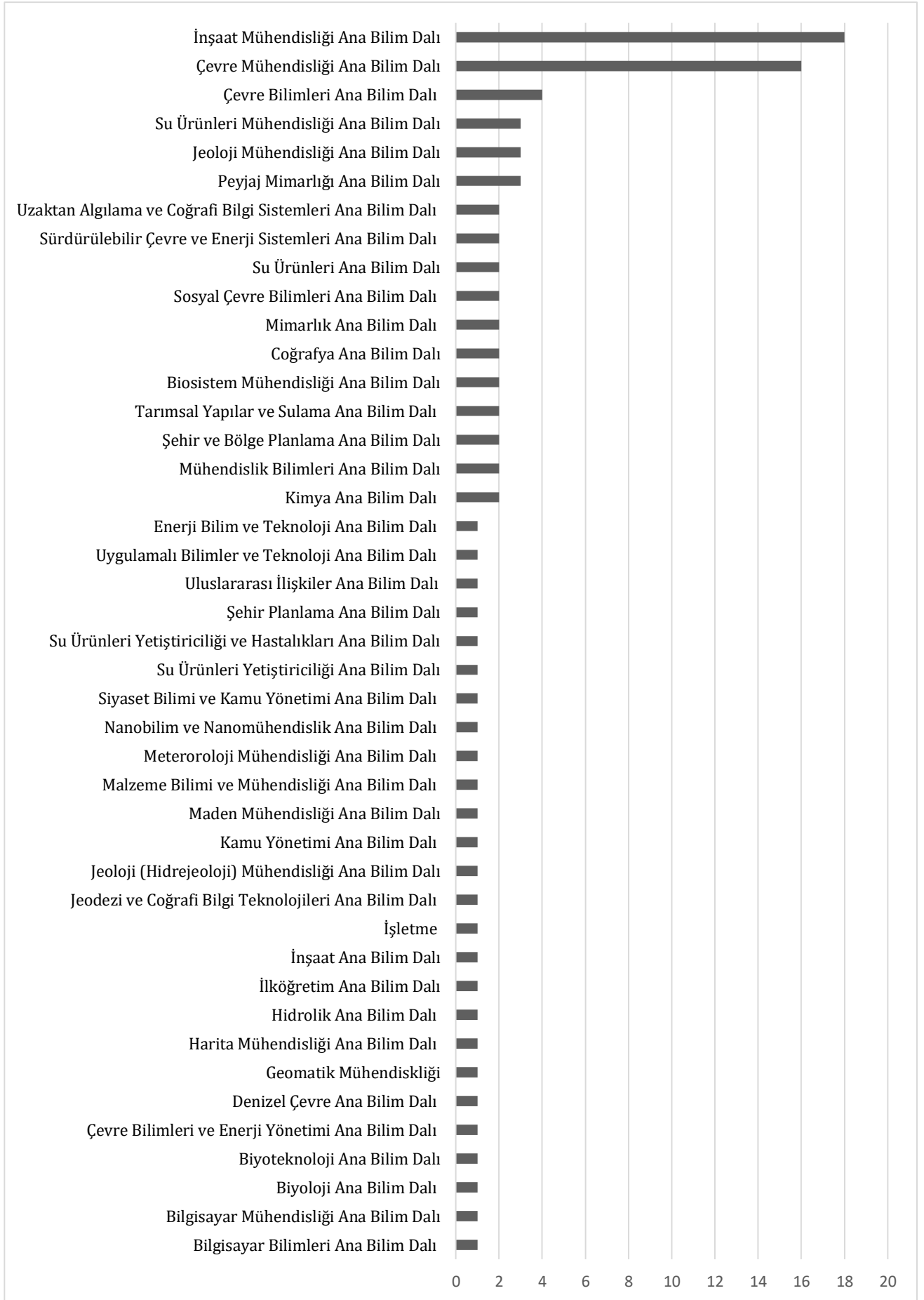
Şekil 4. Lisansüstü Tezlerin Enstitüsüne Göre Dağılımı

Çalışmada analiz edilen lisansüstü tezlerin enstitüsüne göre dağılımında; sürdürülebilir su konusunun daha çok fen bilimleri alanında yoğunlaştığını göstermektedir. %68'lik bir oranla en fazla fen bilimleri enstitüsünde yapılan tezler, enstitünün sürdürülebilir su yönetimi ve korunması alanındaki güçlü odaklanmasıyla ilişkilidir. Fen Bilimleri Enstitüsü, doğa bilimleri ve mühendislik alanlarında derinlemesine araştırmalar yaparak, sürdürülebilir su yönetimi ve korunması konularında uzmanlaşmıştır. Bu nedenle, sürdürülebilir suyun en çok bu enstitüde ele alınması, enstitünün bu alandaki güçlü odaklanmasından kaynaklanmaktadır. %17'si Lisansüstü Eğitim Enstitüsü alanında olmuştur. Bu alanda sürdürülebilir suyun daha fazla ele alınma sebebi, farklı disiplinlerden gelen öğrencilerin multidisipliner bir yaklaşım benimsemesidir. Bu çeşitlilik, enstitüde sürdürülebilir su yönetimi konusundaki araştırmaların artmasına yol açmaktadır. Diğer oranlar ise sırasıyla %6'sı sosyal bilimler enstitüsü, %3'ü çevre bilimleri enstitüsü ve %6'sı diğer enstitülerde yazılmıştır.

5.7. Lisansüstü Tezlerin Ana Bilim Dalına Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin ana bilim dalına göre dağılımı Şekil 5'te verilmiştir.

Çalışmada analiz edilen lisansüstü tezlerin yöntemine göre dağılımında; %19'u inşaat mühendisliği ana bilim dalı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni bu alanda su kaynaklarının yönetimi ve altyapı geliştirme konularında önemli çalışmaların bulunmasıdır. %16'sı çevre mühendisliği ana bilim dalı olmasının sebebi ise su kaynaklarını korumak, su kirliliğini engellemek ve su kalitesini iyileştirmek gibi konulara vurgu yapılmasıdır. %4'ü çevre bilimleri ana bilim dalı ve %3'ü su ürünleri mühendisliği ana bilim dalında yazılmıştır. Su ürünleri alanında ekosistem dengesini korumak ve suyun tasarrufu alanında çalışmalarla tezlerde bulunduğu görülmüştür. 26 tane ana bilim dalında 1'er tane lisansüstü tez yazılmıştır. Bu tezlerden iki çalışmasının ana bilim dalı bilgisine ulaşılamamıştır.



Şekil 5. Lisansüstü Tezlerin Ana Bilim Dalına Göre Dağılımı

5.8. Lisansüstü Tezlerin Yöntemine Göre Dağılımı

İncelenen lisansüstü tezlerin yöntemine göre dağılımı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. *Lisansüstü Tezlerin Yöntemine Göre Dağılımı*

Yöntem	Sayılar	Yüzdelik Oranları
Literatür Taraması	12	%14
Coğrafi Bilgi Sistemi	6	%7
Anova Testi	6	%7
Veri Analizi	6	%7
Anket Yöntemi	6	%7
Hidrolojik ve Hidrolik Yöntemler	4	%5
Swot Analizi	4	%5
Enterpolasyon Yöntemi	3	%4
Kriging Yöntemi	3	%4
SPI(Standardize Yağış İndeksi)	3	%4
Uzaktan Algılama Yöntemi	2	%2
IDW Yöntemi	2	%2
Analitik Hiyerarşi Yöntemi	2	%2
Mann-Kendall	2	%2
T Yöntemleri	2	%2
Damla Sulama Yöntemi	1	%1
Gravimetrik Yöntem	1	%1
Empedans Yöntemi	1	%1
Spektrofotometrik Yöntem	1	%1
Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Metodu	1	%1
Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi	1	%1
Spline Enterpolasyon Yöntemi	1	%1
SDI(Akım Kuraklık İndisi)	1	%1
SGI(Standardize Yağış İndeksi)	1	%1
Liyoflizasyon Yöntemi	1	%1
Seasonal Kendall	1	%1
Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)	1	%1
Pasif Yöntem	1	%1
Aktif Yöntem	1	%1
Basınç Yöntemi	1	%1
Korelasyon Yöntemi	1	%1
Elektrokimyasal Karakterizasyon Yöntemleri	1	%1
CA ve LSV Testleri	1	%1
Gaia Yöntemi	1	%1
Tennant Yöntemi	1	%1
Sentez Yöntemi	1	%1
PROMETHEE	1	%1
Yapay Sinir Ağları Yöntemi	1	%1
Kol Numaraladırma Yöntemi	1	%1
Thornthwaite Yöntemi	1	%1
Auger Hole Burgu Yöntemi	1	%1

Çalışmada kullanılan yöntemlerin dağılımına bakıldığında, yaklaşık %14'ünün Literatür Taraması olduğu görülmektedir. Bu yöntemi kullananlar arasında Onuk Madanoğlu (2024), literatür taramasını sürdürülebilir

yağmur suyu yönetimine dair yerel rehberler ve değerlendirme sistemlerinin analiz edilmesi için kullanmıştır; Kiraz (2018), literatür taramasını sürdürülebilir kampüs uygulamalarının kapsamını belirleme, su yönetimi stratejilerini geliştirme, yağmur-yüzeysel akış modeli oluşturma ve varlık yönetimi yaklaşımını analiz etme gibi temel konularda değerli bir kaynak olarak kullanmıştır. Anova Testi yöntemi, yaklaşık %7 oranında kullanılmış olup, Oğuzkurt Gökçe (2001), gruplar arasındaki yoğunluk, bolluk ve baskınlık (dominans) değerlerinin karşılaştırılmasında istatistiksel anlamlılık farklarını belirlemek amacıyla tek yönlü anova testi uygulanmıştır; Altan (2023), anova analizi ile hastanelerin 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait toplam su tüketimleri karşılaştırılmış ve bu yıllar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir; Yılmaz (2022), bu çalışmada, farklı sulama seviyelerinin (S100, S75, S50, S25) biber bitkisinin verimi, su tüketimi ve su kullanım verimliliği üzerindeki etkilerini incelemek için anova analizi uygulanmış ve S50 ile S25 seviyelerinde, S100 ve S75 seviyelerine kıyasla verimde önemli bir azalma olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$) ele alınanlar arasında örnek olarak verilebilir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemi, yaklaşık %7 oranında tercih edilmiştir ve bu yöntemi kullananlar arasında Yıldırım (2021), bu araştırmada, Türkiye'deki yağış verilerinin mekansal dağılımını incelemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak IDW, Kriging ve Spline enterpolasyon yöntemleri uygulanmıştır. Yağış verilerinin analizi ve harita oluşturulması bu yöntemlerle gerçekleştirilmiştir; Korkmaz (2021), bu çalışmanın amacı, Su Ayak İzi (SAİ) hesaplamalarını kolaylaştırmak için uzaktan algılama verileri ile birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerini kullanarak yenilikçi bir yaklaşım geliştirmektir; Koç (2019), bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak arazi kullanımı, yeraltı suyu koruma alanları, yerleşim alanlarına uzaklık, eğitim, ulaşım ve havza koruma sınırları gibi çeşitli kriterler üzerinden mekânsal analizler yapılmış ve Kocaeli Yuvacık Baraj Gölü Havzası'nda konut gelişim alanları belirlenmiştir. Bu yöntemi kullanan başka birçok araştırmacı da mevcuttur. Ayrıca, çalışmalarda kullanılan yöntemlerin yaklaşık %7'i Anket Yöntemi olup, bu yöntemi işleyenler arasında Duyar (2024), hayvancılık faaliyetlerinin mevcut durumunu belirlemek amacıyla seçilen çalışma alanında anket ve gözlem yöntemleriyle saha araştırmaları yapılmıştır; Atmaca (2024), anket yöntemi çevresel etkilerin değerlendirilmesine yönelik veriler toplamak için ve hayvancılık faaliyetlerinin mevcut durumunu tespit etmek amacıyla kullanılmıştır.

5.9. Lisansüstü Tezlerde Kullanılan Anahtar Kelimelerin Bulunduğu Kelime Bulutu

İncelenen lisansüstü tezlerde en çok kullanılan kelimeler, Şekil 6'da verilmiştir.



Sekil 6. Kelime Bulutu

Yapılan bibliyometrik çalışmada en sık kullanılan kelimeler “sürdürülebilir su”, “sürdürülebilirlik”, “bibliyometrik analiz”, “sürdürülebilir”, “sürdürülebilir su kaynakları”, “su”, “lisansüstü tez”, “water” ve “yöntem” kelimeleri olmuştur. Bu kelimeler, araştırmaların odaklandığı temel konuları ve kullanılan yöntemleri yansıtarak, alandaki mevcut eğilimler hakkında bilgi sunmaktadır.

5.SONUÇ

Bu çalışma, sürdürülebilir su kaynakları ile ilgili olarak Türkiye'deki akademik çalışmaları incelemek amacıyla, YÖKTEZ veri tabanında yer alan 1997-2024 yılları arasında sürdürülebilir su konusuna dair yazılmış toplam 97 çalışmanın bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir. Sürdürülebilir su alanında YÖKTEZ veri tabanında taranan ve erişime açık olan ilk tez çalışması, 1997 yılında Aras tarafından "Türkiye'de Yüzeysel Su Kaynaklarının Yönetimi" başlığıyla Ankara Üniversitesi'nde yayımlanmıştır. Yapılan analiz, sürdürülebilir su alanındaki çalışmaların yıllara göre artışını net bir şekilde ortaya koymaktadır. 2024 ve sonrasında bu alandaki çalışmaların sayısının artması beklenmektedir. Bu artış, su kaynaklarının sınırlı olması ve suyun sürdürülebilirliğinin giderek daha fazla önem kazanması ile ilişkilendirilebilir.

Analiz sonuçlarına göre, 1997 yılında YÖKTEZ'de sürdürülebilir su alanındaki ilk çalışma yayımlandığı ve yıllar geçtikçe bu konuda yapılan çalışmaların sayısının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Yayımlanan tezlerin türüne bakıldığında, yüksek lisans türünde yapılan çalışmaların, doktora tezlerine kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, sürdürülebilir su kaynakları üzerine yapılan araştırmalarda akademik derinlik ve kapsamın arttığını gösteriyor.

Tezlerin yayımlandığı üniversitelere bakıldığında, devlet üniversitelerinin vakıf üniversitelerine göre daha fazla çalışma yaptığı tespit edilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi ise 10 tez ile bu konuda en fazla çalışma yapan üniversite olmuştur. Çalışmaların konularına bakıldığında çevre mühendisliği ve inşaat mühendisliği gibi mühendislik disiplinlerinde daha fazla tez yayımlandığı, fen bilimleri enstitüsünde ise daha çok araştırma yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, çevre mühendisliği ve inşaat mühendisliği gibi mühendislik disiplinlerinin, sürdürülebilir su kaynakları konusunda uygulamalı ve teknik çözümler geliştirmeye yönelik daha fazla odaklanmasıyla açıklanabilir.

Bu çalışma, sürdürülebilir su kaynakları konusundaki araştırmaları inceleyerek, alandaki mevcut bir boşluğu doldurmayı ve araştırmacılara kapsamlı bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır. Her araştırmada olduğu gibi, bu çalışmanın da belirli kısıtlamaları bulunmaktadır. Çalışma, yalnızca YÖKTEZ veri tabanında taranan tezlerle sınırlı tutulmuştur. Bu nedenle YÖKTEZ harici yazılan çalışmalar değerlendirilmeye alınmamıştır. Ayrıca çalışma sadece belirli bir zaman dilimiyle sınırlandırılmıştır. 01.01.1997 ve 07.05.2024 tarihleri dışında yazılan çalışmalar değerlendirilmeye alınmamıştır. Gelecekteki çalışmaların sürdürülebilir su kaynakları konusunda sistematik bir birikim yaparak, bu doğrultuda bu çalışmanın ileride yapılacak çalışmalarda parametre sayısı artırılarak çalışılması araştırmanın niteliğini arttırabilir ve araştırmanın niteliğine olumlu katkı sağlayabilirler. Çalışmada kullanılan yöntemlerin dağılımı, sürdürülebilir su yönetimi araştırmalarındaki farklı analiz tekniklerinin çeşitliliğini göstermektedir. Literatür taraması (%14) ve ANOVA testi (%7) gibi yöntemler, araştırmacıların su yönetimi ve yağmur suyu yönetimi gibi konuları incelemelerine olanak sağlamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ise mekansal analizler için tercih edilmiştir. Bu yöntemlerin çeşitliliği, sürdürülebilir su yönetimi çalışmalarının multidisipliner bir yaklaşım benimsediğini ve farklı perspektiflerden sorunları ele aldığını göstermektedir.

Sürdürülebilir su yönetimi üzerine yapılan çalışmalar, suyun verimli kullanımı ve korunmasına yönelik önemli katkılar sağlamaktadır. Karcioğlu ve Öztürk(2023), su kaynaklarındaki riskleri ele alırken, Kırtorun ve Karaer (2018), içme suyu temini ve su tasarrufu modellerini incelemektedir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı konusundaki araştırmalar, su kaynaklarının tükenmesine karşı çözüm sunmayı hedeflemektedir. Bu çalışmalar, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan suyun sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın farkı ise, bibliyometrik analiz yöntemini kullanarak sürdürülebilir su yönetimi alanındaki araştırmaların genel eğilimlerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi hedeflemiştir. Bu süreçte, önceki çalışmaların ötesine geçerek, belirli araştırma konularındaki yoğunlaşmalar ve boşluklar üzerine detaylı bir analiz yapılmıştır. Ayrıca, bu çalışma, su yönetimi konusunda daha sistematik ve veriye dayalı bir yaklaşım geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın elde ettiği bulgular, Türkiye'deki sürdürülebilir su kaynakları üzerine yapılan araştırmaların zaman içinde önemli bir artış gösterdiğini ve bu artışın çevresel kaygılar ve suyun sürdürülebilirliğine olan ihtiyacın arttığı bir döneme denk geldiğini göstermektedir. Ayrıca, akademik çalışmaların büyük kısmının yüksek lisans seviyesinde ve çevre mühendisliği ile inşaat mühendisliği gibi mühendislik disiplinlerinde yoğunlaştığı da belirginleşmiştir. Bu bulgular, literatürdeki mevcut boşlukları ve araştırmaların

gelecekteki yönelimlerini anlamak adına önemli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir su yönetimi konusunda daha fazla multidisipliner araştırmaya ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Özellikle sosyal bilimler ve politika alanlarında yapılacak çalışmalar, suyun sürdürülebilir kullanımı konusunda toplumsal farkındalık yaratılmasına ve daha etkili stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Gelecekteki araştırmaların, mühendislik disiplinlerinin ötesine geçerek, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları bir arada ele alması gerektiği açıktır. Bu sayede, suyun korunması ve yönetimi konusundaki çok yönlü sorunlara daha bütüncül çözümler bulunabilir.

6. KAYNAKÇA

- Akın, M. H. (2021). Sağlık turizmi alanyazının bibliyometrik analizi (2015-2020). **MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi**, 10(3), 2026-2036. <https://doi.org/10.33206/mjss.882655>
- Aksungur, B. N., Sever, H., Güven, E., & Eren, T. (2024). İnsansız Hava Araçları Konulu Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 21-29. <https://doi.org/10.51534/tiha.1478605>
- Aksungur, N., & Firidin, Ş. (2008). Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik. *Aquaculture Studies*, 2008(2).
- Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* (1), 67-74.
- Al, U., Sezen, U., & Soydal, İ. (2019). Türkiye'nin bilimsel yayınlarının sosyal ağ analizi yöntemiyle değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi Proje Raporları*, No: 10:0044, Ankara.
- Altan, K. (2023). *Kamu hastanelerinde su kullanımı ve sürdürülebilir su yönetimi: Türkiye örneği* [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Apak, S., Erol, M., & Öztürk, S. (2016). Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisinde yayınlanan makalelerin bibliyometrik analizi. *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 111-124.
- Aslancı, S. (2022). Araştırma sorgulamaya dayalı öğrenme: Bibliyometrik bir analiz. *Scientific Educational Studies*, 6(1), 1-25. <https://doi.org/10.31798/ses.1068633>
- Atmaca, Ş. (2024). *Ceyhan Havzası'nda bir vaka çalışması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü].
- Avunduk, Z. B. (2023). Endüstri 4.0 ve inovasyon etkileşiminin uluslararası literatürdeki yansımaları: Bibliyometrik bir analiz. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 12(2), 59-80. <https://doi.org/10.15659/jeim.12.2.003>
- Ayaz, N., & Türkmen, B. M. (2018). Yöresel yiyeceklerine konu olan lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Gastroia: Journal of Gastronomy and Travel Research*, 2(1), 22-38. <https://doi.org/10.32958/gastoria.411345>
- Beşel, F., & Yardımcıoğlu, F. (2017). Maliye Dergisi'nin bibliyometrik analizi: 2007-2016 dönemi. *Maliye Dergisi*, 172, 133-151.
- Börü, S., & Toprak, Z. (2022). Alternatif bir su kaynağı olarak yağmur suyu hasadı. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(1), 42-50.
- Civelek, M., & Karadağ, L. (2020). Tarım turizmi çalışmalarının bibliyometrik analizi. *Turizm Akademik Dergisi*, 7(2), 145-164.
- Çavuşoğlu Köse, B. (2020). Turizm ve Covid-19: Bir bibliyometrik analiz yaklaşımı. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 5, 99-111. <https://doi.org/10.14230/johut951>
- Çelik, O., & Canoğlu, M. (2019). ULAKBİM veri tabanında sürdürülebilir ve çevreci pazarlama konusunda yayınlanmış makalelerin bibliyometrik analizi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 24-36. <https://doi.org/10.35379/cusosbil.634679>
- Doğan, M. (2023). Sürdürülebilirlik: Su ve suyun önemi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10(1), 176-192.
- Duyar, H. B. (2024). *Hayvansal atıkların taban suyu etkileri ve etki haritalarının oluşturulması: Adana-Ceyhan havzası örneği* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi].
- Gaferoğlu, İ., Kaya, S., Kalemer, Y. B., Güven, E., & vd. (2024). Tsunami konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik

analizi. *Urban 21 Journal*, 2(2), 153-164.

- Gürbüz, C., Kıymık, H., & Bitlisli, F. (2021). Türkiye’de muhasebe eğitimi konusunda yapılan akademik çalışmaların bibliyometrik analizi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 24(1), 173-186. <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.889078>
- Haydaroglu, C. (2022). *Finansal kriz üzerine yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). <https://doi.org/10.52791/aksarayiibd.1071894>
- Hırlak, B., & Çolakoğlu, E. (2023). Marka vatandaşlık davranışı literatürünün bibliyometrik analizi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(3), 1532-1551. <https://doi.org/10.11616/asbi.1327921>
- Hotamışlı, M., & Erem, I. (2014). Muhasebe ve Finansman Dergisi’nde yayınlanan makalelerin bibliyometrik analizi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (63), 1-20. <https://doi.org/10.25095/mufad.396474>
- Karagöz, B., & Koç Ardıç, İ. (2019). Ana Dili Eğitimi Dergisinde yayımlanan makalelerin bibliyometrik analizi. *Ana Dili Eğitimi Dergisi*, 7(2), 419-435. <https://doi.org/10.16916/aded.482628>
- Karcioğlu, R., & Öztürk, S. (2023). Sürdürülebilir su yönetimi ve muhasebesi: Bibliyometrik yöntemlerle bir analiz. *Muhasebe ve Denetime Bakış*, 23(69), 45-66. <https://doi.org/10.55322/mdbakis.1204113>
- Kavakcı, S., & Yardımcıoğlu, F. (2018). Türkiye’de İbn Haldun üzerine yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(2), 317-342.
- Keçeli Erciyas, S. (2022). Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisinin bibliyometrik analizi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(25), 497-523. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2022.021>
- Kırtorun, E., & Karaer, F. (2018). Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 151-159.
- Kiraz, M. (2018). *Sustainable water and stormwater management for Metu campus* [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Koca, S. B., Terzioğlu, S., Didinen, B. İ., & Yiğit, N. Ö. (2011). Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğinde çevre dostu üretim. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 3(1), 107-114. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000049
- Kocalar, A. O. (2014). Çevre ve çevre eğitimi üzerindeki yerel yönetim etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.16992/ASOS.190>
- Koç, A. (2019). *Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi yöntemi ile içmesuyu havzalarında konut gelişim alanı belirlenmesi: Yuvacık baraj gölü havzası örneği* [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=AweoEP-q94ZGrusolHfmeA&no=MvYYCnsftUKYE7m3P4Cpyg>
- Korkmaz, E. (2021). *Uzaktan algılama tekniklerinin tarımsal üretimdeki su ayak izinin hesaplanmasında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- Kurutkan, M. N., & Terzi, M. (2022). Sağlık hizmetlerinde dış kaynak kullanımının bibliyometrik analizi. *VHS*, 12(3), 417-431. <https://doi.org/10.33631/sabd.1072053>
- Kurutkan, M. N., Orhan, F., & Kaygısız, P. (2017). Hasta güvenliği literatürünün bibliyometrik analizi: Türkçe tez ve makaleler örneği. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 4(4), 253-259. <https://doi.org/10.5455/sad.13-1513948006>
- Küçüksümbül, A., Akar, T., & Tarcan, G. (2020). Bafa Gölü’nün hidrokimyasal ve hidrojeolojik incelenmesi: Sürdürülebilir su kaynak yönetimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(2), 195-222. <https://doi.org/10.24232/jmd.826954>
- Mourad, K. A. (2012). *Marginal and virtual water for sustainable water resources management in Syria* [Doktora tezi, Lund University, Centre for Advanced Middle Eastern Studies (CMES)].
- Oğuzkurt Gökçe, D. (2001). *Beyşehir Gölü limnolojisi* [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=02VVcbLMnq9Fx0KSk9NDsw>
- Olugboye, D. (2017). *Sustainable water resource and environmental management in developing countries* [Doctoral dissertation, University of Wolverhampton]. University of Wolverhampton.

- Onuk Madanoğlu, N. T. (2024). *Yağmur suyu yönetiminin peyzaj tasarım sürecine entegrasyonu için kontrol sistemi ve tasarım yöntemi önerisi: İTÜ Ayazağa yerleşkesi örneği* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Özçınar, H. (2017). Hesaplamalı düşünme araştırmalarının bibliyometrik analizi. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 7(2), 149-171. <https://doi.org/10.17943/etku.288610>
- Özdal, İ. (2013). *Eşen Çayı (Kemer-Fethiye) havzasındaki alabalık yetiştiriciliği yapan işletmelerin sürdürülebilirliği için çevre, sosyal yaşam ve ekonomi üzerine etkilerinin araştırılması ve buna yönelik yönetim modelinin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi].
- Özkan, E., Aydın, B., Hurma, H., & Aktaş, E. (2013). Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında su yönetiminin önemi. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 1, 150-153.
- Pınarcı, E. Ş., Vuruşkan, C. T., Güven, E., & Eren, T. (2024). Türkiye’de ekip çizelgeleme konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 118-130. <https://doi.org/10.46578/humder.1509219>
- Sanlı, Y. B., Baltacı, F., Güven, E., & Eren, T. (2024). Siber güvenlik çalışmaları üzerine bibliyometrik analiz. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 17(3), 223-229. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.1473206>
- Sarı Gök, H. (2022). Kültürel miras turizmi araştırmalarının görsel haritalama tekniği ile bibliyometrik analizi. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 12(1), 218-234. <https://doi.org/10.14230/johut1090>
- Savrun, B., & Mutlu, H. M. (2019). Kent lojistiği üzerine bibliyometrik analiz. *Kent Akademisi*, 12(2), 364-386. <https://doi.org/10.35674/kent.534729>
- Seyran, F. (2021). İşyeri şiddeti çalışmalarının bibliyometrik analizi. *OPUS International Journal of Society Researches*, 17(36), 2868-2889. <https://doi.org/10.26466/opus.885707>
- Subaşı, S. (2022). *Sürdürülebilir kentsel korumanın mimarlık pratikleri perspektifinden değerlendirilmesi: Rami Kışlası örneği* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Tez Arşivi.
- Taylor, A. (2010). *Sustainable urban water management: The champion phenomenon* [Doktora tezi, Monash Üniversitesi]. Monash University Research Repository.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2024-2028). *Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Raporu*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/04/STRATEJIK-PLAN-2024-2028_03042024.pdf
- Uzun, B., Güven, E., & Eren, T. (2024). Oyun geliştirme konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *International Journal of Management Information Systems and Computer Science*, 8(2), 143-164. <https://doi.org/10.33461/uybisbbd.1526862>
- Yeksan, Ö., & Akbaba, A. (2019). Sürdürülebilir turizm makalelerinin bibliyometrik analizi. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 220-231. <https://doi.org/10.32572/guntad.502563>
- Yeniçeri, M. (2018). Yağmur sularının hasadı ve aktif olarak tarımsal sulamada kullanılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 1(2), 126-136. <https://doi.org/10.35341/afet.447687>
- Yıldırım, M. (2021). *Türkiye’deki yağışların enterpolasyon yöntemlerle alansal incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi]. YÖK Tez Arşivi.
- Yılmaz, G. (2017). Restoranlarda bahşiş ile ilgili yayınlanan makalelerin bibliyometrik analizi. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 14(2), 65-79. <https://doi.org/10.24010/soid.335082>
- Yılmaz, S. (2022). *Farklı sulama seviyelerinin sivri biber (Capsicum annuum L.) verim ve kalitesi üzerine etkileri* [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Arşivi.
- Zeren, D., & Kaya, N. (2020). Dijital pazarlama: Ulusal yazının bibliyometrik analizi. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1), 35-52.

İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Sektörel İş Kazalarının Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları Yönünden İncelenmesi

Investigation of Sectoral Occupational Accidents in terms of Artificial Intelligence Technologies and Expert System Applications within the Scope of Occupational Health and Safety

Türkay Ercan ŞENGÖZ^{1*}, Yahya BOZKURT²

^{1*} Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları, farklı iş sektörlerinde işlerin yapılış şekillerini, kurumların ve firmaların iş düzenlerini ve çalışan kişilerin işten tatmin olma seviyelerini değiştirmekte ve genel olarak iyileştirmektedir. Dünya çapında bilinen teknoloji firmalarının oluşturduğu yapay zekâ ürünleri, gün geçtikçe önemi artan iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ile birleştiğinde gerek işverenlerin memnun kaldığı ve iş dünyasının takdir ettiği gerekse farklı sektörlerde çalışanların onay verdiği uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür teknolojiler ve uygulamalar, çalışma hayatında yaşanabilecek iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde kullanılmaktadır. Önlenebilen her iş kazasının veya meslek hastalığının farklı sektörler, işverenlere, çalışanlara, kurumlara ve ülkelere birçok açıdan olumlu etkisi bulunmaktadır. Bu olumlu etkiler; işverenler açısından iş kaybının yaşanmamasına, çalışanlar açısından rahat ve güvenli bir ortamda çalışmalarına ve çalışanlarda güven duygusu oluşmasına, kurumlar açısından iş güvenliği kültürünün oluşmasına ve gelişmesine, ülkemiz açısından ise ülke ekonomimizin olumlu bir şekilde gelişmesine ve ilerleyebilmesine destek olmaktadır. Bu çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında sektörel iş kazaları, yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları yönünden incelenmiş, bu tür teknolojilerin ve uygulamaların çalışma hayatına olan etkilerinden bahsedilmiş, yapılması gerekenlerle ilgili bilgiler verilmiş ve konuyla ilgili problemlerin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji, Yapay Zekâ, İş Kazaları, İş Sağlığı, İş Güvenliği.

ABSTRACT

Artificial Intelligence Technologies and Expert System Applications change and generally improve the way work is done in different business sectors, the work patterns of organizations and companies, and the level of job satisfaction of employees. Artificial intelligence products created by world-renowned technology companies, combined with occupational health and safety practices that are becoming more and more important day by day, appear as applications that employers are satisfied and appreciated by the business world and approved by employees in different sectors. Such technologies and practices are used to prevent occupational accidents and occupational diseases that may occur in working life. Every preventable occupational accident or occupational disease has a positive impact on different fields, sectors, employers, employees, institutions and countries in many ways. These positive effects support employers in avoiding job losses, employees in working in a comfortable and safe environment and creating a sense of trust in employees, institutions in the formation and development of occupational safety culture, and our country in the positive development and progress of our country's economy. In this study, sectoral occupational accidents within the scope of occupational health and safety are analyzed in terms of artificial intelligence technologies and expert system applications, the effects of such technologies and applications on working life are mentioned, information about what needs to be done is given and various suggestions are presented to be used in solving the problems related to the subject.

Keywords: Technology, Artificial Intelligence, Occupational Accidents, Occupational Health, Occupational Safety.

Başvuru: 17.04.2025 Son Revizyon: 20.05.2025 Kabul: 21.05.2025

Doi: 10.51764/smutgd.1678632

^{1*}Sorumlu yazar: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye; E-mail: turkay.ercan@marun.edu.tr; ORCID: 0000-0002-5577-8990

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye E-mail: ybozkurt@marmara.edu.tr; ORCID: 0000-0003-1816-5922

1. GİRİŞ

Bu çalışma, işyerlerinde veya farklı çalışma ortamlarında çalışan kişilerde görülebilen iş kazaları ile ilgili yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamalarının bilimsel ve teknik çalışmalarda kullanılması sonucunda iş güvenliğine, iş sağlığına ve iş kazalarına nasıl bir fayda sağlayabileceğinin görülebilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu tür teknolojilerin kullanılmasıyla birlikte yaşanan iş kazaları sonucunda sektörlerdeki değişimler daha rahat bir şekilde incelenebilecek ve iş kazaları ile ilgili düzenlenmesi gereken belgeler iş kazası bildirim formları, kök-neden analizleri, risk değerlendirmeleri vb. belgeler kolaylıkla hazırlanabilecektir.

İş kazalarının, yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının farklı sektörlerle olan olumlu veya olumsuz etkilerinin incelendiği literatür kaynakları sınırlı sayıdadır ve farklı sektörlerdeki beklentileri karşılayamamaktadır. Bu durum sonucunda, sektörel anlamda yeterli bir bilgilendirmeye ve uygulama örneklerine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Araştırma literatüründe mevcut olan bilgiler ve bulgular incelendiğinde konuyla ilgili olan kaynaklarda; sektörlerdeki değişen trendlerle ilgili teknik bilgilerin az sayıda olması, görüntü işleme teknolojilerinin faydalarının yeterli derecede açıklanmamış olması, başarılı uygulama örneklerine ulaşılmasının zor olması, konuyla ilgili cevaplanmamış bazı soruların bulunması veya bu sorulara verilmiş cevapların beklentileri karşılayamamış olması gibi problemlerin çözümünde yeterli literatür kaynaklarının bulunmadığı görülebilmektedir. Bu tür ihtiyaçların karşılanabilmesi amacıyla gerekli literatür çalışması yapılmış ve uygulamada konuyla ilgili olan başarılı uygulama örnekleri de çalışma içerisinde paylaşılmıştır.

Bu çalışmada, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında sektörel iş kazalarında yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları ile ilgili olan konu başlıkları hakkında genel bilgilere yer verilmiş ve konuyla ilgili detaylı bilgiler ele alınmıştır. Çalışmanın bu bölümünde öncelikle konunun daha iyi anlaşılabilmesi açısından bazı tanımlamaların (İSG, iş kazası, yapay zekâ, uzman sistem) yapılması gerekmektedir. İSG, işyerlerinde işlerin yürütülmesinde farklı nedenlerden kaynaklanabilecek çalışanların sağlığına zarar verebilecek koşullardan korunulmasında, halihazırda olan sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesinde kullanılan veya uygulanılan sistemli ve bilimsel çalışmalardır (ASBÜ, 2017). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, çalışanların tamamının sağlıklarının ve güvenliklerinin sağlanabilmesi amacıyla 30 Haziran 2012 tarihinde yürürlüğe girmiş bulunmaktadır (MBS, 2012). İş Kazası, çalışma hayatında kişilerin 5510 sayılı Kanunda belirtilen durumlardan birinde oluşan veya vuku bulan ve sigortalı çalışanları bedenlen veya ruhen engelli hale getiren olaydır (SGK, 2022). 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13 üncü maddesinin birinci fıkrasında iş kazası; sigortalının işyerinde bulunduğu sırada, işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle, bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda, bu kanunun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenlen ya da ruhen engelli hâle getiren olaydır (MBS, 2006). Yapay Zekâ, insanlar tarafından bilgi girişi gerektiren iç içe geçmiş görevleri gerçekleştirebilen uygulamaları veya yazılımları kapsayan bir terim olarak açıklanabilmektedir. Bu terim genellikle Makine Öğrenimini ve Derin Öğrenmeyi kapsayan alt dallarıyla birbirlerinin yerine kullanılabilen terim veya terimler olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Oracle, 2021). Uzman Sistem, belirlenebilen problemlerin çözümleri ile ilgili olan bir veya birden fazla uzman kişinin bilgilerini ve becerilerini kullanabilen bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanmaktadır (Allahverdi, 2002). Uzman sistemler incelendikleri alanlarla ilgili özelleşmiş bazı problemlerin çözümlerinde uzman kişilerin bilgilerini kopyalamayı amaçlayan ve her zaman bilgilere dayalı işlemler ve danışmanlık yapabilen bilgisayar programlarıdır (Turban, 1993).

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme, iş kazaları, iş güvenliği, iş sağlığı anahtar kelimeleri seçim kriterleri olarak belirlenmiş, literatürde taranmış ve yapılan çalışmalar sistematik bir şekilde derlenmiştir. Bu çalışma ile ilgili Web of Science, Science Direct, Researchgate, Google Scholar, Tübitak Dergipark vb. veri tabanlarında sistematik aramalar yapılmıştır. Bu aramalar, 1993-2025 yılları arasındaki literatür çalışmalarını kapsamaktadır. Çalışmanın kapsamı, son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan yapay zekâ teknolojilerini ve uzman sistem uygulamalarını içeren çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Ülkemizde ve Dünya genelinde İSG profesyonelleri tarafından geliştirilen yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, iş hayatında başarılı olan örnek uygulamalardan bahsedilmiş ve iş kazalarının engellenebilmesi için çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Yapay Zekâ teknolojilerinin oluşturduğu etkin araçlarla insana olan bağımlı olma durumu, insanların hataları, bilgilerin doğru bir şekilde düzenlenmesi ve sunulması ile tehlikelerin ve risklerin azaltılabilmesi sağlanabilecektir (Sattari vd., 2021). Bu nedenle “bilgi tabanlı bir karar destek mekanizması olan uzman sistemler, insan bir uzmanın problemler karşısındaki davranışını taklit ederek” problemlere çözümler üretebilme gücü (Başak vd., 2008) İSG’de kullanılabilmektedir. Aynı zamanda kolaylık sağlamasıyla karar verebilme proseslerinde önemli bir etkisi olan doğru ve etkin bilgiler (Lilić vd., 2010) kullanılarak konuya hâkim olmayan kullanıcının da doğru kararlar verebilmesini sağlamaktadırlar (Pavlovic-Veselinovic vd., 2016). Gelecek dönemlerde daha çok kullanılacağı düşünülen yapay zekâ uygulamaları iş sağlığı ve güvenliği araştırmacıları, uygulayıcıları, işverenler ve çalışan kişiler açısından değerli olabilecek hususları gündeme getirebilmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ teknolojilerinin iş hayatında ve işyerlerinde oluşturabilecekleri değişikliklerle iş ortamlarının ve işlerin değişime uğramasına neden olacağı düşünüldükçe işlerin yeniden tasarlanmasını sağladıkları belirtilmiştir (Howard, 2019). Tablo 1’de 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ile ilgili literatürden araştırma sonuçları paylaşılmıştır.

Tablo 1. 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları (Motorcu vd., 2021).

Kapsamı	Yazar	Yöntemi	İçeriği
İHA Risk Yöntemi	Başak vd., (2008, s.198)	Uzman Sistem	Yüksek maliyetli İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemlerinin dahil oldukları kazaları engellemek amacıyla risk yönetim modeli geliştirilmiştir.
Kesme Sıvısı Risk Değerlendirmesi	Meciarova, (2011, s. 461)	Uzman Sistem	Çalışanların doğrudan maruziyeti neticesinde solunum yolu hastalıkları, deri rahatsızlıkları, kanser vb. rahatsızlıklara neden olan kesme sıvılarının meydana getirdiği riskler değerlendirilerek bu risklerin yok edilebilmesi için Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Maden Güvenliği	Lilić vd., (2010, ss. 460–461)	Uzman Sistem ve Sinir Ağları	Maden sektöründe iş güvenliği sorunlarına çözümlerin bulunması hedeflenmiş ve geliştirilmiş programlar aracılığıyla yapılan durum çalışmasında başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.
Petro-Kimya Endüstrisinde İş Sağlığı ve Güvenliği	Azadeh vd., (2014, s. 27)	Akıllı Algoritmalar	Petrokimya endüstrisinde sağlık, güvenlik, çevre ve ergonomi çerçevesinde iş güvenliğini ölçen, değerlendiren ve araştıran uyumlaştırılmış akıllı algoritmalar geliştirilmiştir.
Risk Analizi	Alaeddinoğlu vd., (2015, s. 275)	Yapay Sinir Ağları	İş Sağlığı ve Güvenliği profesyonelleri tarafından İş Sağlığı ve Güvenliği’ ne yönelik alınacak tedbirler ile kazaların önüne geçilebilmesi için karar destek sistemi geliştirilmiştir.
Ergonomik Risk Analizi	Pavlovic-Veselinovic vd., (2016, s. 138)	Uzman Sistem	Geniş iş gruplarında işle ilgili Kas ve İskelet Sistemi Rahatsızlıklarının (KİSR) tespitinde ve bu tür risklerin oluşturacağı negatif durumların önlenmesi amacıyla uzmanlara tavsiyeler sağlayan Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Metal Sektörü Kaza Analizi	Koçar & Dizdar, (2018, s.74)	Yapay Sinir Ağları	Yaşanmış iş kazaları incelenerek yapay sinir ağları aracılığıyla kazalar sonucunda oluşabilecek iş gücü kayıpları tahmin edilmeye çalışılmıştır.
Metal Sektörü Kaza Tahmini	Ayanoğlu & Kurt, (2019, s. 86)	Yapay Sinir Ağları	Metal sektöründe iş kazalarının tahmin edilebilmesi amacıyla “Kaza Tahmin Modeli Yapay Sinir Ağı” geliştirilmiştir.
İnşaat Güvenliği	Ayhan & Tokdemir, (2019, ss. 274-285)	Büyük Veri Analizi	Mega projelerdeki iş güvenliğinin sağlanması amacıyla önemli raporlamalardan kaynaklanan veri yığınları ve onların heterojen yapıları gereği oluşacak problemleri analiz etmek için Yapay Zekâ uygulaması geliştirilmiştir.
Madencilikte Risk Tahmini Ve Risk Analizi	Xie vd., (2019, ss. 169-184)	Meyve sineği optimizasyon algortması (IFOA) ve Genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN)	Felakete sebep olabilecek iş kazalarını önceden tahmin etmek ve önleyici tedbir almaya yönelik Yapay Zekâyla risklerin tahmini ve risk analizi yöntemi geliştirilmiştir.
Kaza Sebep Tespiti	Taçgın & Sağır, (2020, s. 2)	Akıllı Bilgi Tabanı	Kaza nedenlerini 2-4 Kaza Analiz Teorisi çerçevesinde tespit edebilecek Akıllı Bilgi Tabanı geliştirilmiştir.
Risk Analizi	Sattari vd., (2021, s. 1)	Bayes Ağları	Firmaların iş yerlerinde vuku bulan olayları kullandıkları raporlama sistemi aracılığıyla elde ettikleri verileri Makine Öğrenme ile kazaları ve olayları azaltabilmek amacıyla Bayes Ağları kullanılmıştır.
Risk Değerlendirmesi	Okudan vd., (2021, s. 2)	Web Tabanlı Yapay Zekâ	Yapay Zekâ kullanılarak web tabanlı CBRisk isimli modelle risk yönetimi proseslerinde riskle ilişkili bilgilerin yakalanması, depolanması, kurtarılması ve yayılması sağlanmıştır.

Risk Analizi	Baron vd., (2012, s.80)	Uzman Sistem	Sysklass programı kullanılarak geliştirilen programla risk analizleri ve risklerin tanımlanabilmesi amacıyla katalog sayfa yöntemi, FMEA ve HAZOP teknikleri kullanılarak Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Petrol Sektörü	Azadeh vd., (2008, s. 27)	Uzman Sistem	Bir petrol rafinerisinde iş sağlığı ve güvenliği, çevresel etkilerin ve ergonominin değerlendirilmesi, izlenmesi, kontrolü ve geliştirilmesi amacıyla Uzman Sistem geliştirilmiştir.
İnşaat Sektörü Risk Analizi	Amiri vd., (2017, ss. 17-26)	Bulanık Mantık Uzman Sistem	İnşaat sektöründeki iş güvenliği risklerini analiz edebilmek ve değerlendirebilmek için Uzman Sistem geliştirmişlerdir.
Kaza Tahmini	Beriha vd., (2012, ss. 3311-3314)	Bulanık Mantık Uzman Sistem	Hindistan'da çelik, inşaat ve refrakter sektörlerinde iş kazalarının tahmin edilmesi amacıyla Bulanık Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Risk Değerlendirmesi	Hadjimichael, (2009, ss. 6512-6513)	Bulanık Uzman Sistem	Havacılık sektöründe risk değerlendirilmesi yapılarak proaktif yaklaşım sergilenebilmesi amacıyla bulanık Uzman Sistem geliştirilmiştir.

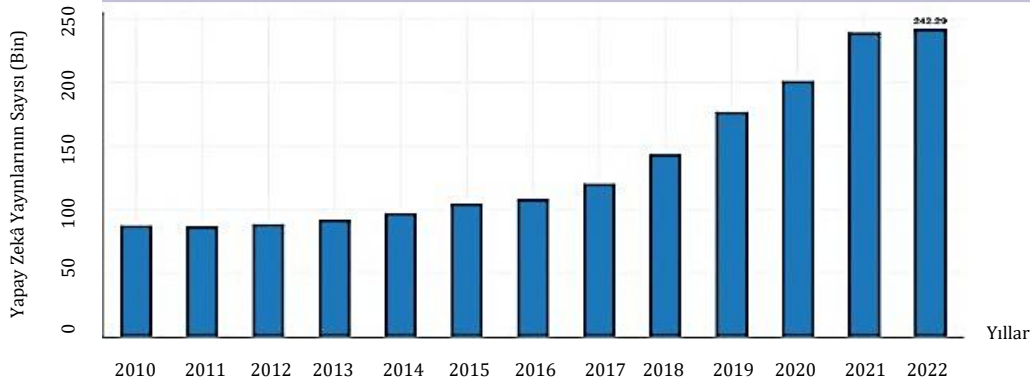
Bu tablo; kapsam, yazar, yöntem ve içerik başlıkları adı altında düzenlenmiştir. Bu tablodan, 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ile ilgili çalışmalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde; kapsam olarak sırasıyla, risk yöntemi, risk değerlendirme, risk analizi, kaza analizi, kaza tahmini, risk tahmini ve risk analizi, kaza sebep tespiti konularının belirlendiği, sektör olarak ise sırasıyla, maden, petrokimya, metal, inşaat, petrol sektörlerinin incelendiği görülmektedir. Birçok farklı kapsamda, farklı sektörde ve farklı yazar tarafından ele alınan konuların yönteminde ve içeriğinde Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ve başarılı örnekleri bulunmaktadır.

Çalışma hayatında işletmelerde kullanılan yapay zekâ teknolojileri, çalışan kişilerin İSG gibi önemli alanlar başta olmak üzere birçok alanda ihtiyaçlarının karşılanmasına yardımcı olmaktadır. İşletmelerde yapay zekâ destekli uygulamaların iş sağlığı ve güvenliğinde kullanımı sayesinde günümüzde işletme körlüğü başta olmak üzere birçok problemin analiz edilmesi, tehlikelerin ve risklerin belirlenmesi, iş kazalarının engellenmesi ve meslek hastalıklarının teşhisi mümkündür. Ayrıca, iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla ilişkili bilgilerin toplanması, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi kolaylaşmıştır.

Teknolojinin ve endüstrinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, üretim süreçlerinin karmaşıklaşmasına neden olmakta ve iş sağlığı ve güvenliğinde literatürde bulunmayan yeni tehlikelerin veya risklerin meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu tür tehlikelerin ve risklerin tespit edilmesinde ve yok edilmesinde, çalışılan alanlarda yeni teknolojilerin kullanılması ile daha çok denetimin yapılması sağlanmakta ve bu sayede iş kazalarının sayısının azaltılması veya hiç yaşanmaması amacıyla birçok uygulama kullanılabilmektedir. İş kazalarının görülmesinde en önemli etken insan faktörüdür. Bilimsel olarak iş kazalarının %80'i çalışanlardan, %18'i fiziksel ve mekanik çevre şartlarından, %2'si ise beklenmedik olaylardan kaynaklıdır. Bununla birlikte, bu tür yüzdesel dağılımlar dikkate alındığında, açık bir şekilde insan faktörünün yüzdesi en yüksek iş kazası faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır (Bozkurt & Naycı, 2021).

Yapay zekâ kullanımı ile çalışan kişiler tarafından tehlikeli olarak görülen işlerin uzman sistemler tarafından yapılması sağlanmakta, sahadan elde edilen verilerle saha analizlerinin yapılması, tehlikelerin ve risklerin tespiti ve değerlendirilmesi, çalışma ortamlarının gözetiminin sağlanması, kök neden analizlerinin hazırlanması gibi uygulamalar daha rahat ve daha çok sayıda yapılabilmektedir. İşletmelerin farklı bölümlerinde uygulanan bu uygulamalar iş kazalarının azaltılmasında İSG profesyonellerine yardımcı olmaktadır. Yapay zekâ, işletmelerde çalışan işçilerin güvenliklerini sağlamada, sağlıklarını korumada ve sağlıklarının iyileştirilmesinde faydalı olabilmektedir. Yapay zekanın çalışan kişilerin sağlığında, güvenliğinde ve refah seviyesi üzerindeki etkilerini anlayabilmek, İSG' deki birçok alanda önemli bir yere sahiptir (Ayan vd., 2024; Fisher vd., 2023).

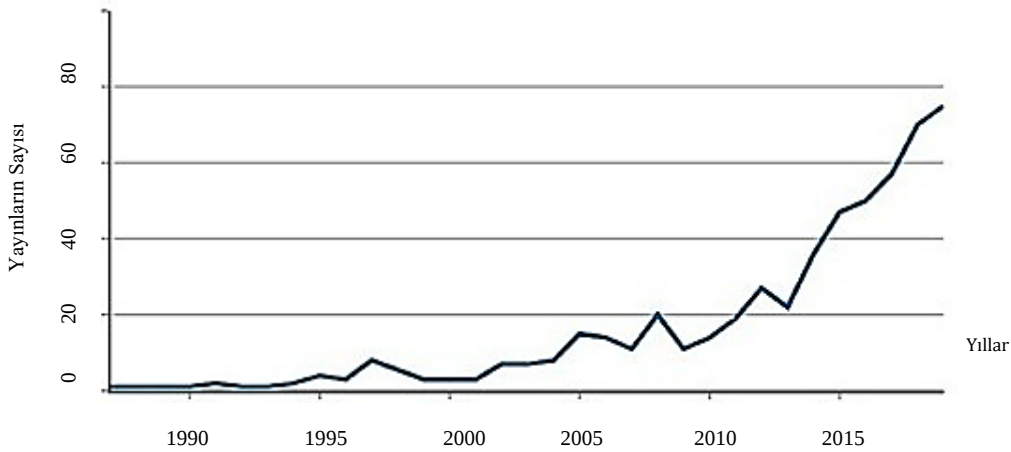
İSG' de yapay zekâ uygulamaları kullanılarak çalışanlar izlenebilir, çevreye ait sensörler ve biyosensörler her türlü değişiklikleri izleyip gerekli verileri toplayabilir ve bu veriler ışığında meslek hastalıklarının olup olmadığı belirlenebilmektedir. Özellikle imalat, metal, sağlık, ulaşım, lojistik vb. sektörlerde kullanılan robotik uygulamalar, insanları temasını azaltabilmek, tehlikeli ve riskli işlerden uzaklaştırabilmek amacıyla yapay zekâ ve sensörlere dayalı teknolojiler kullanılmaktadır (Quentic, 2023). Günümüzde farklı alanlarda yapay zekâ uygulamaları kullanılmakta ve yapay zekâ odaklı çözümlerin etkileri, kapsamı ile potansiyel güçleri belirtilmektedir. Şekil 2'de 2010-2022 yılları arasında yayınlanan yapay zekâ ile ilgili makalelerin sayısı ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Stanford Üniversitesi tarafından 2024 yılı "Yapay Zekâ Endeksi Raporu" verilerine göre, yapay zekâ ile ilgili makalelerin sayılarında artış olduğu görülebilmektedir (Maslej vd., 2024).



Şekil 2. Dünya'daki Yapay Zekâ Yayınlarının Sayısı, 2010-22. Kaynak: Center for Security and Emerging Technology, 2023. Grafik: 2024 AI Index Report/2024 Yapay Zekâ Endeksi Raporu (Maslej vd., 2024).

Stanford Üniversitesinin bu raporu, yapay zekâ yayınlarının artması ile birlikte her yıl yenilenmektedir. Şekil 2' deki grafikten anlaşılabacağı üzere, 2013 yılından itibaren yapay zekâ yayınlarının sayısında sürekli bir artış yaşanmıştır. Yapay zekâ ve İSG ile ilgili Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) tarafından Mesleki Robotik Araştırma Merkezi (CORR) kurulmuştur. Bu merkezde, robotik ve yapay zekanın çalışma ortamındaki işçilerin güvenliklerini, sağlıklarını ve refah seviyesindeki etkilerini değerlendirebilmektedir (Pishgar vd., 2021).

Avrupa Sağlık ve Güvenlik Ajansı, yapay zekâ destekli olan araçlar veya uygulamalarla ilgili olarak bu araçların işyerlerindeki kullanımlarını analiz edip nerelerde ve nasıl çalıştıkları hakkında bilgi edinmiş, çalışan kişilerin iş sağlığı ve güvenliğindeki etkileri ile ilgili incelemeler yapmıştır (Pishgar vd., 2021). Şekil 3'te ise, 1986 yılından 2019 yılına kadar İSG ile ilişkili olan alanlarda yapay zekanın kullanımına ilişkin makale sayıları belirtilmiştir. Bu grafikte görüldüğü üzere, başlangıç yılı olan 1986 yılından itibaren İSG ile ilgili alanlarda yapay zekanın kullanımına ilişkin makale sayıları bazı dönemlerde dalgalanmalar görülmesine rağmen giderek artmıştır. Bu dalgalanmalar, 1995 yılı ile 2013 yılları arasında gerçekleşmiştir. Özellikle 2013 yılından itibaren devamlı bir yükseliş trendine girmiştir. Günümüzde bu yükseliş trendi artarak devam etmektedir. Gelecekte de yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları önemini korudukça ve hayatımızı kolaylaştırmaya devam ettikçe trendlerde kalacağı düşünülmektedir.



Şekil 3. 1986-2019 Yılları Arasında İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Kullanımını Gösteren Yayınların Sayısı (Pishgar vd., 2021).

4. YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN VE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDEKİ KULLANIM ALANLARI

4.1 Büyük Dil Modellerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâda yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte Büyük Dil Modelleri (LLM) alanında görülen son değişimler de dikkate alındığında, günümüzde yapay zekâ uygulamalarının uzmanlık seviyesindeki işlerde ve mühendisleri ilgilendiren proseslerde kullanımı ile ilgili araştırmaların arttığı gözlemlenmektedir. İşletmelerde ve diğer çalışma alanlarında tehlikelerin ve risklerin yok edilmesi amacıyla saha çalışmalarında ve İSG profesyonellerinin tespit etmekle yükümlü olduğu tehlikelerin ve risklerin analizlerinde büyük dil modellerinin yardımcı olduğu

görülebilmektedir (Diemert & Weber, 2023).

Birleşmiş Milletler UNESCO-UNEVOC' nun hazırladığı bir raporda yapay zekâ uygulamalarının, çalışan işçilerin eğitim süreçlerinde yeni metotların kabul edilmesinde ve uygulanmasında etkisinin olduğu belirtilmektedir. Raporda, yapay zekâ uygulamalarının çalışan işçilerin eğitimlerine entegre olmasının, çalışan kişilerin mesleki bilgi ve becerilerinin aktif olarak kalmasında rolü olduğu düşünülmektedir. Yapay zekâ ile çalışanlara yönelik özel eğitim içeriklerinin üretilmesi ve değerlendirilmesi yapılabilen ve çalışan kişilerin eğitimle ilgili eksiklikleri belirlenebilmektedir. Görüldüğü üzere, bu tür çalışmalar yapay zekâ uygulamalarının birçok alanda kullanıldığının göstergesidir. Ayrıca, aynı raporda işletmelerin istedikleri özelliklere sahip çalışanların seçiminde yapay zekâ araçlarının kullanıldığından da bahsedilmiştir. Özellikle eğitim düzeyine uygun çalışan seçiminde yapay zekâ uygulamaları birçok alanda yardımcı olarak kullanılabilmektedir (UNESCO-UNEVOC, 2021).

4.2 Uzman Sistemler ve Yapay Zekânın İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâ teknolojileri ile robot teknolojileri, nesnelerin interneti, sanal gerçeklik vb. yeni teknolojiler birtakım fırsatlarla ve risklerle beraber hayatımıza girmektedir. Bu durum, çalışan kişilerin güvenilir bir ortamda çalışabilmelerini zorlaştırabilmektedir. Özellikle çalışma alanlarında risk çeşitliliğinin değişerek artışa geçmesiyle yapılan işlerin karmaşılaşması, İSG alanında önleyici yaklaşımın değerini artıran bir sebep olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım ile birlikte bu alanda liyakatli ve donanımlı profesyonel çalışanlara gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinimi karşılamak için "Yapay Zekâ" ile "Uzman Sistemler" kullanılması işi kolaylaştıracaktır (EU-OSHA, 2019).

Uzman sistemler, belli başlı konularda uzmanlığa ve deneyime sahip olan bir kişinin özelliklerini ve davranışlarını kopyalayarak kısaca uzman gibi düşünerek problemleri çözmeye çalışan sistemdir. Bu sistemler, hasta teşhislerinde ve finansal tahminlerde de kullanılmaktadır (Gupta & Nagpal, 2020). Bu tür teknolojiler, İSG alanında yaşanan veya yaşanabilecek olan iş kazalarının önlenmesi, tehlikelerin ve risklerin tespit edilmesi ve iş sağlığı ile ilgili gelişmelerin görülebilmesi açısından gelecek dönemlerde daha çok kullanılacağı düşünülmektedir. Çalışan kişilerde kişisel hataların en az seviyede olması ve iş kazalarının risklerinin azaltılması çalışmaları, işletmeler için hem zaman faktörü açısından hem de üretimde maddi açıdan avantaj sağlayabilmektedir (Ayan vd., 2024).

4.3 Gerçek Zamanlı İşyeri İzleme Araçlarının İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâ tabanlı teknolojiler, işletmelerde işçilerle ilgili süreklilik gösteren çok kapsamlı verilerin toplanması, çalışan işçilerin düşük maliyetli bir şekilde izlenmesi, gözetlenmesi ve yönetilmesinde kullanılabilmektedir. Bu tür amaçlar için kullanılan teknolojik araçların yapay zekâ uygulamaları kullanılarak işletmelerde iş yeri güvenliğini artırdığı görülmektedir. Yapay zekâ tabanlı izlemeler, işletmelerde risk değerlendirmesi çalışmalarında, kanıt göstererek önlem alınmasında, İSG alanındaki denetimlerin desteklenmesinde daha etkin bir çalışma yapılabilmesi için kullanılabilmektedir. Bu alanda yaşanan problemlerin çözümünde, psikososyal risklerin belirlenmesinde, iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili müdahale gerektiren yerlerin belirlenmesinde de bu teknolojilerden faydalanılmaktadır (Policy Brief, 2021). Ayrıca, çalışma ortamlarında oluşabilecek olağandışı durumların tespitinde kullanılan yapay zekâ destekli izleme araçları, işletmelerin sahadaki gözetimlerinde ve denetimlerinde de kullanılmakta ve özellikle işyerlerinde oluşabilecek acil durum ve erken müdahale durumlarında da etkin bir görev almaktadır.

Yapay zekâ teknolojileri, güvenliğin sağlanması ile ilgili verilerin izlenmesinde ve analiz edilmesinde, iş kazalarının tespit edilmesi ve düzeltici eylemlerin önerilmesinde de kullanılmaktadır. Bu tür proaktif yaklaşımlar, şantiyelerdeki çalışmaların OSHA standartlarına uyum sağlanmasında ve maliyeti olan ihlallerin önlenmesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Yapay zekâ algoritmalarının, projelerin planlarına, gerçek zamanlı sahalardaki görüntülere, geçmiş dönemlerde yaşanmış olan kazaların raporlarına vb. birçok konuda analiz edebileceği, olması muhtemel iş kazalarını ve ihlalleri önceden tahmin edebileceği belirtilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, düzeltici önlemlerle ilgili zamanında karar alınmasına imkân tanınacağı, kazalarla ve uyumsuzluklarla ilgili risklerin azaltılabileceği beklenmektedir (Longinos & Widlund, 2024). Yapay Zekâ uygulamasında, İSG Profesyonelleri tarafından gerçekleştirilecek Risk Değerlendirmelerinin diğer bir kullanım alanı, çalışanları izleme ve yönetme süreçlerinde uygulanabilmesidir. Yapay zekâ tabanlı teknolojilerde, çalışan işçilerle ilgili büyük miktarlarda gerçek zamanlı verilerin toplanmasına bağlı olan yenilikçi, yaygınlaşmış, devamlılık gösteren ve düşük maliyetli işçi izleme ve yönetim biçimlerinin uygulanabilmesine olanak sağlanmaktadır. İSG alanında kullanılacak, Yapay Zekaya dayalı teknolojik araçlar üzerinden gerçekleştirilecek izleme ve gözetlemede, bilgisayar görüşü, yapay zekâ uygulamaları vasıtasıyla işyerlerinin güvenliğini artırılmasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir (Oğur, 2024).

Yapay zekâ algoritmaları tarafından işyerlerindeki güvenlik kameralarından ve sensörlerden faydalanılarak edinilen görüntüler ve veriler analiz edilerek çalışanlara ve işverenlere birçok konuda yardımcı olmaktadır.

İşyerlerindeki çalışanların koruyucu ekipmanları kullanılmadıklarında bu durum saptanabilmekte, tehlikeli olan bir makineye yaklaşıldığında, güvenlik ekipmansız çalışmalarda ve işyerinde hız sınırları aşıldığında vb. durumlarda tehlikeli ve riskli olan hareketler bu tür teknolojilerle algılanabilmektedir (İsgbysuzaktanegitim, 2023). Ayrıca, yapay zekâ teknolojileri kullanılarak; kişisel koruyucu ekipmanların kontrolleri sağlanabilmekte, riskli makinelerin bulunduğu ortamlara çalışan girişleri olduğunda sistem otomatik kapatılabilmekte, tehlikeli işlerin olduğu yerlerde yalnız çalışan kişilerin durumları tespit edilebilmekte, mesafelerin kontrolleri sağlanabilmekte, iş makinalarının sistemden takipleri yapılabilen, iş makinalarının çalışan kişilere yaklaştığında Erken Uyarı Sistemi devreye girebilmekte ve hızı kesebilmekte, Kör Nokta (Blind Spots) geçişlerinde uyarı mekanizmaları sayesinde iş kazaları önlenabilmekte ve yangın algılama erken uyarı sistemleri geliştirilebilmektedir (Akar, 2021). Bu sayede saydığımız tehlikeli durumlar, yüksek riskli olabilmekte ve gerektiğinde tahliye süreçleri başlatılabilmektedir. Bu durumda kişilerdeki stres, endişeler veya duygusal problemler belirlenebilmektedir. Bu teknoloji sayesinde koruyucu ekipmanın kullanılmadığı durumlar belirlenebilir. Örneğin, bir işçinin yeterli güvenlik önlemlerini almadan belirlenmiş bir yükseklikte çalışması tespit edilebilir ve ilgili kişiler uyarılabilir. Aynı zamanda, tehlikeli bir makineye yaklaşma veya işyerinde hız sınırlamalarını aşma gibi davranışlar algılanabilir ve bu durumlarla ilgili kişilere bildirimler iletilir. Ayrıca, anormal olaylar olan makine parçalanması, yangın veya kimyasal sızıntı gibi durumlar da tespit edilebilir ve bu durumlar otomatik bildirimler aracılığıyla ilgili kişilere iletilir. Bu şekilde, çalışanlara hızlı bir şekilde müdahale edilebilir ve tahliye süreçleri başlatılabilir.

Ergonomik masa, sandalye veya çalışma düzeninde yapılacak değişikliklerle çalışanın sağlığı ve güvenliği desteklenebilir. Çalışanın belirli bir hareket veya pozisyonunun ergonomik açıdan riskli olduğu tespit edilirse, buna göre önlemler alınabilir. Hatta, IoT (Nesnelerin İnterneti) ile birleştirilmiş doğru makine öğrenimi modeli, çalışan yorgunluğunu da algılayabilir ve herhangi bir şey olmadan önce kişileri potansiyel tehlikeler konusunda uyarabilir. Son olarak, pandemi sırasında Dünya çapında ünlü olan bir firma tarafından oluşturulan ve çalışanların sosyal mesafeyi koruyup korumadığını kontrol eden, uymayanları uyan Mesafe Asistanı örneğinde olduğu gibi, çalışanlar arasında hastalık yayılmasını en aza indirmek için temas takibi amacıyla da kullanılabilir (İsgbysuzaktanegitim, 2023). İşyerlerinde güvenli çalışma ortamlarının hazırlanmasında, gerçek zamanlı ihlal bildirimleri önemli bir yerdendir. Yapay Zekâ Tabanlı Görüntü İşleme Teknolojileri, güvenlik ihlallerinin hemen tespit edilmesinde ve raporlanmasında, iş güvenliği kültürünün güçlendirilmesinde pozitif yönde destek bulunmaktadır. Şekil 4'te Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojileri temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojilerinin temsili gösterimi (Akman, 2024).

Şekil 4'te Çalışma ortamlarında Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojilerinin kullanıldığı yerlerde çalışanların iş güvenliği ile ilgili yapabilecekleri hatalarda anında uyarı sistemlerinin devreye girmesi sonucunda bu tür hataların tekrar etmemesi sağlanabilmektedir. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması ile iş kazaları engellenebilecek ve sayıları azaltılabilecektir.

Yapay zekâ destekli güvenlik sistemleri ile ilgili temel özellikler:

1. Gerçek Zamanlı İhlal Bildirimleri ve Analitik Raporlamalar: İşyerlerinde güvensiz durumların veya davranışların anlık tespit edilmeleri ve raporlanmalarıyla, oluşabilecek iş kazaları engellenebilmektedir. Bu tür sistemlerde yaşanan ihlaller raporlanmış olan verilerle birlikte İSG kültürünü geliştirmektedir.
2. Yaya-Ekipman ve Ekipman-Ekipman Etkileşimi Takibi: İşyerlerindeki iş makinelerinin diğer iş makineleri ile veya yayalar ile olan etkileşimlerini izleyebilen yapay zekâ sistemleri, sahadaki tehlikeli ve riskli durumların tahmin edilebilmesine yardımcı olmaktadır. Yüksek hızda veya düzensiz bir şekilde hareket edebilen ekipmanların tespitiyle hız limitleri belirlenebilmektedir. Bu şekilde yaşanabilecek iş kazalarının önlenmesi sağlanabilmektedir.

3. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) Kullanımı: İşyerlerinde çalışan kişilerin baretler gibi KKD'lerin devamlı ve doğru bir şekilde kullanmaları önem arz etmektedir. İş kazalarının önlenmesinde KKD'lerin yeri tartışılmaz bir seviyededir. İşin özünde iş kazaları ve meslek hastalıkları tamamen yok edilememektedir. Sadece oluşabilecek zararları veya hasarları en az seviyede tutabilmek İSG faaliyetleri için yeterli olacaktır. Bu konuda yapılmış kapsamlı literatür çalışmaları bulunmaktadır (Uşar vd., 2018).

Yapay zekâ tabanlı analiz sistemleri, KKD'lerin kullanımlarını izleyerek noksanlıkları anında tespit edebilmekte ve yetkili kişilere rapor hazırlayabilmektedir. Bu duruma ek olarak KKD'lerin zimmet formuyla baret gibi koruyucu donanımların tam olarak teminleri sağlanabilmektedir (Akman, 2024). Şekil 5' te işyerlerindeki depolarda yapay zekâ destekli intenseye teknolojisinin kullanımına bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024).



Şekil 5. Depolarda Yapay Zekâ destekli intenseye teknolojisinin kullanımı (Akman, 2024). a) Çalışanların KKD'leri doğru bir şekilde kullanıp kullanmadıklarının intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü. b) Çalışanların günlük çalışma ortamlarından bir görüntü.

Şekil 5'te görüldüğü üzere, çalışanların KKD'leri kullanıp kullanmama durumlarında ne tür iş kazaları ile karşılaşacaklarının anlaşılabilmesi amacıyla farklı alanlarda verilen uyarı görselleri paylaşılmıştır. Bu görsellerden çalışma ortamlarında hangi alanlarda iş kazalarının meydana gelip gelmeyeceği ve ne kadar sıklıkla yaşanabileceği belirlenebilmektedir. Bu intenseye teknolojisi, yapay zekâ tarafından desteklenen bir İSG platformudur. İşyerlerindeki kameraları kullanarak görünmeyen tehlikelerin ve risklerin görünebilmesini sağlar ve böylelikle İSG ile ilgili ekiplere tehlikelerin ve risklerin tespit edilebilme olanakları sunularak çalışanların hayatlarını kurtarmalarına yardımcı olunmaktadır. Intenseye teknolojisinin tak çalıştır yapay zekâ modelleri, KKD'lerin tespitinde, alan kontrollerinde, düzenin sağlanmasında, davranışsal iş sağlığı ve güvenliğinde, araçların kontrollerinde, pandemi kontrollerinde ve ergonomik açıdan riskli olan durumların tanımlayabilmek amacıyla tasarlanmıştır (TİSK, 2023). Yapay zekâ tabanlı iş sağlığı ve güvenliği analiz sistemlerinden en üst seviyede verim alınması amacıyla birtakım kurallara uyulması gerekmektedir. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır:

1. Baretlerin Kullanımı ve Kontrolleri: İşyerlerinde çalışan kişilerin baret kullanımları, yapay zekâ sistemleriyle rahatlıkla izlenebilmektedir. Baretlerin eksik olması durumlarında KKD zimmet formuyla teslim edilen noksanlıklar tamamlanmakta ve iş güvenliği uzmanları tarafından baret kullanımının önemi tüm çalışanlara düzenli eğitimler verilerek anlatılmalıdır. Ek olarak depo görevlileri baret kullanımını sahada dikkatlice takip etmelidir. Şekil 6' da baret kullanımının yapay zekâ teknolojileri kullanılarak kontrolünün yapılması ile ilgili görüntüler paylaşılmıştır.



Şekil 6. Baret kullanımının yapay zekâ kullanılarak kontrolünün yapılması (Akman, 2024). a) Depo çalışanlarının baret kullanımlarını geniş alanda intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü. b) Depo çalışanlarının baret kullanımlarını izleme görüntüsü.

kullanımlarını dar alanda intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü.

2. İş Makinesi – İş Makinesi Etkileşimi: İşyerlerinde saha çalışmalarında düzenin ve tertibin sağlanabilmesinde güvenli iş makineleri kullanımı ile ilgili tüm çalışan kişilere gerekli olan eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Çalışma alanındaki malzemelerin çalışma sahasından kaldırılması ile, düzenin ve tertibin sağlanmasında iş makinelerinin birbirleriyle güvenli bir uzaklıkta çalışmaları uygun olabileceği düşünülmektedir. İşyerlerinde depoların sorumlusu olan kişiler de saha düzeninin sürekliliğini sağlamak zorundadır.

Şekil 7’ de işyerlerindeki dinamik sınırlı alanlara bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024). İşyerlerinde çalışan kişilerin dağınık ve düzensiz bir şekilde çalıştıklarında, sahadaki diğer çalışanların düzenli ve tertipli olmaları konusunda dağınık ve düzensiz çalışan kişileri uyarmaları, hatalı durumları gerekli yerlere ve kişilere bildirmeleri ve saha denetimlerinde bu tür çalışan kişilere yardımcı olmaları beklenmektedir. İşyerlerinde çalışanların birbirlerine yardımcı olmaları, işyerlerine olan bağlılığı artırmakta ve iş güvenliği kültürünün yaygınlaşmasını sağlamaktadır.



Şekil 7. Dinamik sınırlı alan gösterimi (Akman, 2024). (Dinamik Sınırlı Alan: Çalışma ortamlarında belirli bölgelerdeki hareketli bir yapıya sahip olan veya aktif olarak kullanılan sınırlandırılmış alanları belirtmektedir) a) İşyerinde intenseye teknolojisi ile dinamik sınırlı alan gösterimi. b) İşyerindeki dağınık ve düzensiz çalışma alanlarından bir görüntü.

3. Yaya – İş Makinesi Etkileşimi: İşyerlerinde yayalara ayrılan yollar, güvenlik açısından devamlı kontrol edilmelidir. Hatalı veya noksan olan yollar tespit edilerek yeni yollar planlanmalıdır. İşyerlerindeki depolarda çalışanlara yaya ve iş makineleri yollarıyla ilgili eğitimler verilmeli ve güvenli etkileşimler sağlanmalıdır. Bu yolların kontrolleri depodaki sorumlu kişiler tarafından devamlı olarak yapılmalıdır. Şekil 8’ de işyerlerindeki statik sınırlı alanlara bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024).



Şekil 8. İşyerinde intenseye teknolojisi ile statik sınırlı alan gösterimi (Akman, 2024). (Statik Sınırlı Alan: Çalışma ortamlarında belirli bölgelerdeki durgun bir yapıya sahip olan veya pasif olarak kullanılan sınırlandırılmış alanları belirtmektedir)

İşyerlerinde görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin İSG proseslerine entegrasyon çalışmaları, çalışma ortamlarını daha güvenilir olması amacıyla yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. Gerçek zamanlı ihlallerin bildirimleri, detay içeren analitik raporlamalar ve KKD’ lerin kullanımının kontrolleri gibi yenilikler neticesinde iş güvenliği kültürü yaygınlaştırılabilmekte ve devamlı olarak geliştirilebilmektedir. Yapay zekâ ile desteklenen İSG analizleri, işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanması süreçlerini kolaylaştırmakta, daha güvenilir ve verimli olabilecek çalışma alanlarının düzenlenmesinde değerli katkılarının bulunduğu düşünülmektedir (Akman, 2024).

4.4 Yapay Zekâ ve Meslek Hastalıkları Teşhisinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Bir kişinin veya kişilerin ayrı ayrı veya birlikte yapmış oldukları işten kaynaklanan, çalışma ortamında veya bir çalışma sonucunda meydana gelen veya sonradan ortaya çıkabilen sağlık problemlerine meslek hastalıkları denilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte meslek hastalıkları ve diğer hastalıkların tespitinde, birçok hastalığın erken teşhisinde ve tedavisinde yapay zekâ kullanılır hale gelmiştir. Özellikle lezyonların tespit edilmesinde, ayırıcı tanıların koyulmasında ve otomatik olarak tıbbi raporların oluşturulmasında yapay zekadan faydalanılmaktadır (Tempus Corporation, 2024). Tıbbi açıdan yaşanan birçok problemde geliştirilmiş yapay zekâ analizleri sayesinde problemler çözülmekte ve kanser araştırmalarındaki tıbbi belgeler kategorize edilebilmektedir (Che vd., 2023). Çalışan kişilerin genleri incelenmekte ve gelecek dönemlerde kendileri ile ilgili oluşabilecek meslek hastalıklarının ve diğer hastalıkların değerlendirilmesi işlemleri yapay zekâ teknolojisinin kullanılabildiği bir örnektir (Flaherty, 2009; Jarota, 2023). Bilindiği üzere, 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununa göre meslek hastalıkları; “Sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özrürlülük halleri” şeklinde adlandırılmaktadır. Çalışma Hayatında Meslek Hastalığına neden olabilecek sebepler, Yapay Zekaya yüklenerek, Yapay zekanın tıp alanında uygulanmasıyla, belirli bir hastalık ile ilgili bilgiler bireysel hastalara uygulayabileceği gibi, doktorlara da hasta yönetiminde tavsiyelerde bulunması amacıyla Yapay Zekadan yararlanılabilmektedir. Japonya da Meslek Hastalıkları ile ilgili bir yapay zekâ uygulamasında; Yapay Zekâ’ya Hasta tecrübeleri ve yaklaşık 600 kuraldan oluşan bilgi tabanına dayanarak, potansiyel bakteriyel patojenlerin listesinin yüklenmesi ve daha sonra hastaların vücut ağırlığına uygun şekilde ayarlanmış antibiyotik tedavi seçeneklerinin eklenmesiyle, yapay zekâ sistemleriyle tanı koyma ve tedavi sunma süreçlerinde tıp sistemi daha ileri boyuta taşınmıştır. 1988 Yılında yine DX PLAİN olarak adlandırılan bir yapay zekaya girilen semptomlara göre tanı oluşturan karar destek sistemine ilk etapta 500 hastalıkla ilgili bilgiler verebilirken bugün bu sayı 2024 Yılı itibarıyla 2600’e kadar çıkmıştır. Yapay zekanın tıpta katetmiş olduğu bu tür gelişmeler 2020 ’li yıllardan itibaren makine öğrenimine olan ilgiyi artırmış ve modern tıbbın ilerlemesine yardımcı olmuştur (Oğur, 2024).

4.5 Yapay Zekâ Tabanlı Çalışan Yönetiminin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

İşletmelerde veya organizasyonlarda yapay zekâ tabanlı işçi yönetimi, tehlikelerin ve risklerin en az seviyede tutulabilmesinde, çalışan kişilerin yapmış oldukları hataların izlenmesinde ve iş kazalarının önlenmesinde algoritmaların yardımcı olabileceği düşünülmektedir. İşletmelerde veya diğer işyerlerinde yapay zekâ algoritmalarının kullanımıyla hazırlanan uygulamalarda risklerle ilgili olan faktörlerin ihlali durumunda erken uyarı sistemleri devreye girmekte ve işyerlerinde hazırlanan risk analizlerine katkı sağlayabilmektedir. Şu an aktif olarak uygulanan bu tür çalışmalarda çalışan kişilerin verimliliği dikkate alınarak kurulu sistem üzerinden işlemler yapılmaktadır. Gelecek dönemlerde ise, yapay zekâ teknolojileri kullanılarak daha çok İSG üzerine bir sistemin hazırlanması beklenmektedir (EU-OSHA, 2022). EU-OSHA, Yapay zekâ tabanlı işçi yönetim uygulamasını “İşçileri yönetmek için kullanılan, yöneticilere yönetimde kolaylık sağlayan yapay zekâ araçlarına” verilen ad olarak tanımlamaktadır. Bu araçlar; çalışma alanlarından, çalışan kişilerden, çalışan kişilerin yapmış oldukları işlerden ve çalışan kişilerin işler için kullandıkları (dijital) araçlardan gerçek zamanlı veriler toplamakta, sonraki aşamada bu toplanan verileri otomatik veya yarı otomatik olarak işleyip karar vericilere, insan kaynakları yöneticilerine, işverenlere, bazı durumlarda işçi temsilcilerine ve denetim süreçlerindeki iş müfettişlerine çalışan yönetimiyle ilgili sorular hakkında bilgi sağlamaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının karar verebilme yetkilerini ve görevlerini yürütebilme kapasitesi bugün hemen hemen, orta seviye yönetimde bulunan kişiler tarafından yürütülebilen çalışmaların yönetiminde, emir verme, uygulama, karar alma vb. proselerde katkı sağlamaktadır. İşyerlerindeki oluşabilecek tehlikelerin ve risklerin en aza indirilmesinde, çalışan kişilerin hataların izlenmesinde, mevcut veya oluşabilecek iş kazalarının önlenmesinde, Yapay Zekâ algoritmaları kullanılarak risk faktörleri ihlal edildiği zaman, bu uygulamalar erken uyarılar vererek ve işyerlerindeki İSG risk analizlerine fayda sağlayarak iş güvenliği uzmanlarına ve yöneticilerine faydalı olabilmektedir (Oğur, 2024).

4.6 Büyük Veri Analizi ile Risk Belirleme ve Tahmin Edebilme İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

İşyerlerindeki önemli olan veri kaynakları; yaşanmış iş kazalarının raporları, çalışma ortamlarındaki sensörlerin verileri, çalışan kişilerin iş sağlığı ile ilgili bilgileri vb. veriler olarak kabul edilmektedir. Yapay Zekâ, büyük veri analitikleri ve örüntü tanıma yetenekleri aracılığıyla iş yerlerindeki tehlikeli ve riskli konuları ve bu tür bölgeleri belirleyebilmektedir. Zaman içerisinde veri analizleriyle iş yerlerindeki tehlikelerin ve risklerin artış veya azalış trendleri ile ilgili bilgilere de ulaşılabilir. Bu şekilde potansiyel tehlikeleri ve riskleri tespit edebilmek ve önleyici tedbirleri alabilmek amacıyla yönetici kişilere veya iş güvenliği uzmanlarına gerekli bilgileri sağlayabilmektedir. Ayrıca iş yerlerinin düzenlenmesinde optimizasyonu sağlayarak tehlikeleri ve riskleri azaltabilecek çözümler sunulabilir. İş yerlerinden alınabilen hareketli verilerin kullanılması, tüm çalışanların

ergonomik açıdan karşılaşılabilecekleri tehlikelerin ve risklerin olasılığının hesaplanmasını da uygun hale getirebilmektedir. Makine öğrenimi ve nesnelerin interneti vasıtasıyla da çalışanların yorgunluk düzeyleri algılanabilmektedir. Çalışan kişiler ve işverenler, yorgunluktan kaynaklanan potansiyel tehlikeler ve riskler konusunda uyarılabilmektedir (Corpus Sigorta, 2023). Örnek olarak bir fabrika ortamında belirli bir bölgede sık sık yaşanan iş kazalarında, yapay zekâ uygulamaları bu bölgenin tehlikeli ve riskli olduğunu ve öncelikli olarak dikkat edilmesi gerektiğini tespit ederek bilgi verebilir (isgbysuzaktanegitim, 2023).

4.7 Yapay Zekâ Algoritmaları ve Ruh Sağlığı İzleme İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay Zekâ algoritmaları, çalışan kişilerin e-postalarının, raporlarının, notlarının veya diğer yazılı materyallerinin üzerinde bulunan yazma kalıplarını çok yönlü bir şekilde analiz edebilmektedir. Bu tür analizler doğrultusunda bu tür algoritmalar çalışan kişilerin streslerini, endişelerini veya duygusal sıkıntılarını, psikolojik sıkıntılarını ve stres düzeylerini, yazma ve konuşma kalıpları kullanarak analizlerle belirleyebilmektedir. Çalışanların konuşmaları, telefon görüşmeleri, toplantılar veya diğer konuşma ortamları kaydedilerek veya metinleri analiz edilerek mobbing olayları da yakalanabilmektedir. Ayrıca çalışan işçilerin aralarındaki konuşmalar veya e-posta bilgileri, Yapay Zekâ algoritmaları tarafından incelenebilmekte ve oluşabilecek ihlaller veya istenmeyen davranışlar belirlenebilmektedir. Örnek olarak, çalışanların kullanmış oldukları belirli ifadeler, saldırgan diller veya cinsiyetçi söylemler gibi nedenler, yapay zekâ sistemleri tarafından tespit edilerek ilgili olaylar engellenebilmektedir. Olumsuz veya stresli bir dilin kullanımı, tekrarlanmış kelimeler, negatif içerikli vurgular veya hızlıca değişebilen yazı tarzları gibi unsurlar, çalışan işçilerin stres seviyelerini gösterebilmektedir. Bu tür analizler, konuşma hızları, tonlama, duygusal vurgular ve belirli kelimelerin kullanımı gibi faktörlerin değerlendirebilmesinde kullanılmaktadır. Örnek verecek olursak, normal olmayan bir konuşma hızının veya yükselen bir stres seviyesinin, çalışan kişinin zor bir durumda olduğunu veya psikolojik problemler yaşadığını gösterebilmektedir. Bu tür tespitler, işverenlere veya insan kaynakları departmanlarına bilgi sağlayarak problemlerin çözülmesinde ve çalışma ortamlarının daha güvenli ve destekleyici hale getirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Buradaki önemli olan diğer bir nokta ise, bu tür durumlar için kişisel verilerin korunması konusunda kapsamlı bir düzenleme yapılması gerektiğidir (Corpus Sigorta, 2023; isgbysuzaktanegitim, 2023).

4.8 Sohbet Robotları, Çalışanların Eğitimi, Oyun Mekaniği İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay Zekâ teknolojileri ve uygulamaları, interaktif eğitim platformları veya sanal gerçeklik simülasyonları gibi teknolojik araçlarla çalışan kişilere eğitimler verilmesi sağlanabilmektedir. Bu tür eğitimler, çalışan kişilerin İSG ile ilgili konularda farkındalıklarını artırılmasında, tehlikeli ve riskli durumların daha iyi tanınmasında tüm çalışan kişilere yardımcı olabilmektedir. Yapay Zekâ tarafından desteklenen sohbet robotları ve sanal asistanlar, çalışan kişilerin sorularını yanıtlayabilmekte, iş ile ilgili bilgilere erişimini sağlayabilmekte ve çalışan kişilerin memnuniyetlerini artırmaya yardımcı olabilmektedir. Bu şekilde, çalışan kişiler iş proseslerini daha verimli bir şekilde yönetebilmekte ve iş ile ilgili konularda daha hızlı çözümler elde edebilmektedir. Ayrıca oyun sistemleri vasıtasıyla çalışan kişiler motive de edilebilmektedir. Ödüllendiren bir oyunlaştırma teknolojileri de iş güvenliğine olan bağlılığı artırabilmektedir. Çalışanların oyunlardaki başarılarına göre kişilere puanlar, rozetler veya ödüller verilebilmektedir. Bu durum, çalışan kişilerin bu tür aktivitelere daha fazla katılım göstermelerini teşvik etmekte, çalışan kişilerin işlerine daha rahat odaklanmalarını, takım çalışmalarına gönüllü olarak katılmalarını sağlamakta ve sonuç olarak çalışanların iş verimliliğini artırabilmektedir. Bireyselden topluma ruhsal ve bedensel olarak çalışanların sağlıklarının korunması, ekonomik kalkınmanın sağlanmasında da etkili olmaktadır. İşyerlerindeki planlanan hedeflere ulaşabilmek amacı ile kullanılacak sağlıklı yöntemlerin ve teknolojilerin gerekliliği tartışılmaz bir konumdur. İşyerlerinde güvenli bir çalışma hayatı için yapay zekâ teknolojilerinin tüm çalışanlara yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Corpus Sigorta, 2023; isgbysuzaktanegitim, 2023). Birleşmiş Milletler UNESCO-UNEVOC tarafından hazırlanmış olan bir raporda; çalışan işçilerin eğitimlerinin, yenilikçi yöntemlerle benimsenen Yapay Zekâ uygulamaları kullanılarak verilmesi durumunda, eğitime katılan kişiler üzerinde fayda sağlayacağı belirtilmektedir. Bu raporda; Yapay Zeka uygulamalarının çalışan işçilerin eğitim programlarına entegrasyonunun çalışan kişilerin bilgilerini ve becerilerini güncel olarak tutmada önemli bir rol oynadığını ileri sürmekte ve içerik üretiminin yanı sıra; çalışan kişilerin eğitim ihtiyaçlarının tespitinde, çalışanlara yönelik özel eğitimlerin içeriklerinin hazırlanmasında, çalışma sektörlerine yönelik özel eğitim içeriklerinin hazırlanmasında, eğitim sonucundaki değerlendirmelerde Yapay Zekâ teknolojileri kullanıldığında, etkili eğitim sonuçlarının alındığını birçok örnek uygulama ile ortaya konulmaktadır. Bu tür veriler sayesinde, ortaya konulan bir tespit, özellikle Amerika, Japonya ve Avrupa Birliği ülkelerindeki Global faaliyet gösteren Yapay Zekâ uygulamalarının sektörel olarak istihdam edilebilecek olan çalışanların, aradıkları becerilere sahip olup olmadıklarının seçiminde ve tespitinde, yapay zekâ araçlarının kullanıldığına dair veriler de bu raporda belirtilmektedir. Bu durum ise, bu

uygulamaların iş kazalarının %98 'i içerisinde yer alan %88 İnsan Hatalarından kaynaklanan tehlikelere karşı istenilen, nitelik, beceri ve eğitim düzeyine sahip çalışanların seçiminde ne kadar önemli bir araç olarak kullanılabileceğini bize açık bir şekilde göstermektedir (Oğur, 2024).

5. SEKTÖREL İŞ KAZALARININ YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ VE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

5.1 İnşaat Sektörü

Günümüzde inşaat sektörü, iş kazalarının görülebildiği en bilinen sektörlerden biridir (Güranlı, 2015). İnşaat sektöründe yaşanabilecek olan tehlikelerin ve risklerin kaynakları, ülkemizin genel teknoloji durumuna ve sosyoekonomik yapısına bağlı olarak inşaat sektörünün kendisiyle özdeşleşmiş koşullarında, süreç bazlı yapılar yerine proje bazlı yapıların olması da tehlikelerin ve risklerin artmasına neden olmaktadır (Güranlı, 2015; Ceylan, 2014). Bu nedenle; işlerin yapılma yöntemleri, makineler, malzemeler, çevre şartları gibi faktörler üretimin her aşamasında devamlı olarak değişmesinden dolayı tehlikelerin ve risklerin değerlendirilmelerinde de sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi zorlaşmıştır (Öztürk & Heperkan, 2021). İnşaat sektöründeki firmaların genellikle uluslararası standartlara uygun bir yapılarının olmaması ve üst seviyede yönetim anlayışlarına da sahip olmamaları, çalışma faaliyetlerinin çoğunluğunun açık havada yürütülmesi, standart çalışma koşullarının olmaması, çalışanların çalışma ortamlarının fiziki yapısının kolay kontrol edilememesi, istihdam edilen büyük bir kısmın eğitim seviyesinin düşük olması, sektördeki tehlikelerin, risklerin ve iş kazalarının fazla olması, yaşanan olumsuzlukların nedenleri arasında gösterilebilmektedir (Ceylan, 2014). Literatür çalışmalarında inşaat sektöründeki araştırma sonuçlarında iş kazalarının nedenleri ve yaralanma çeşitleri; göze yabancı cisimlerin kaçması, kesici ya da batacık aletler sebebiyle oluşabilecek kazalar, yüksekten düşmeler, bedenin ya da bir uzvun iki cisim arasında olması sebebiyle sıkışmalar veya ezilmeler, taşıma işleri sırasında taşınmakta olan cisimlerin düşürülmesi sebebiyle oluşabilecek yaralanmalar, hareket eden cisimlerin etraftaki malzemelere çarpması, hemzemin ortamlarda takılarak düşmeler olarak sınıflandırılabilir (Karadağ ve Kepekli, 2018). Şekil '9 da inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarına bir örnek gösterim paylaşılmıştır (ÇSGB, 2025a).



Şekil 9. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarına bir örnek gösterim (ÇSGB, 2025a).

Şekil 9'da inşaat sektöründe yüksekten düşmeden kaynaklanan iş kazalarına bir örnek paylaşılmıştır. Bu tür iş kazalarının yaşanmaması için yapılması gerekenler belirlenmeli, yaşanan iş kazalarının kök-neden analizleri hazırlanmalı ve bu tür iş kazalarından sonra risk değerlendirmeleri yenilenmelidir.

İnşaat sektöründeki Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak hazırlanan bilimsel çalışmalar değerlendirildiğinde: Türker & Kanit (2020) tarafından yapıların üretim proseslerindeki iş kazalarının şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metoduyla tahmini kaza şiddetiyle kaza önlemleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada iş kazalarında ne tür önlemlerin alınabileceği ve önlemlerin alınmadığında sonuçların ne olabileceğine dair Bütünleşik Tahmin Modeli, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) ile bütünleşik olarak geliştirilerek tehlikeleri ve riskleri azaltan önlemlerle kaza şiddeti arasında %90 oranında bir ilişki olduğu kanısına varılmıştır. Tokdemir & Ayhan (2019) tarafından keskin bir cisimle teması sonucunda yaralanmalı kazaların Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile analizleri yapılarak, %78 doğrulukla iş kazası tehlikelerini ve risklerini tahmin edebilen başarılı bir model oluşturulmuştur. Patel & Jha (2014) tarafından yapılan çalışmada inşaat projelerinde güvenli iş davranışlarının tahmininde Yapay Sinir Ağları modeli oluşturularak, güvenli çalışma davranışlarını ve çalışan kişilerin güvenliklerinin etkin bir şekilde yönetimi üzerine müteahhitlere ve müşterilere yardımcı olabilecek öneriler sunulmuştur. Jeelani vd., (2021), inşaatlar için gerçek zamanlı vizyon tabanlı işçilerin lokalizasyonu ve tehlikelerin ve risklerin tespitleri için Derin Öğrenme kullanılarak, dinamik tehlikelerin gerçek zamanlı tespitlerinde %93'ün üzerinde doğruluk elde edildiğini belirtmişlerdir. Khan vd., (2021) tarafından Derin Evrişim Sinir Ağlarından yararlanılarak mobil iskelelerin izlenebilmesi amacıyla Güvenlik Kuralı Korelasyonunu kullanmayla mobil iskeleler için önerilen Bilgisayarlı Görü Tabanlı Risk Tanıma Sistemi oluşturulmuş ve %86 genel

doğruluk oranıyla modülün uygulanabilirliği doğrulanmıştır. Lee & Han (2021); bir iskele yapısının hızlanma özelliklerini kullanarak düşme ile ilgili hareketlerin tanınması amacıyla Evrişimli Sinir Ağı Modellemesiyle iskelelerin hızlanmalarının, çalışanların hareketlerini tanıyabilmek için yeterli bilgileri içerebileceğini ve modelleme stratejilerinin önceden tanımlanmış öncülleriyle problemsiz bir şekilde sınıflandırılıp ayırt edebileceğini belirtmiştir. Wu vd., (2021) inşaatlarda yerinde güvenlik yönetimi amacıyla Bilgisayarlı Görü ile Anlamsal Akıl Yürütmeyi birleştirerek oluşturduğu modelle, önerilen çerçevenin emniyetteki yöneticilerinin düşünme modeline benzer şekilde çalıştığını ve görüntülerden tehlikeleri ve riskleri anlamsal olarak akıl yürüterek ve karşılık gelen azaltmaları listeleyerek yerinde tehlikeleri ve riskleri tanımlamayı ve önlemeyi kolaylaştırabileceklerini açıklamışlardır. Savadkoohi vd., (2021) çalışmasında, çalışanların düşme risklerinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi amacıyla Kuvvet Plakası Zaman Serisi Sinyalini kullanmışlardır. Bu çalışmada Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN), Uzun Kısa Zamanlı Bellek (LSTM), Tek Boyutlu Evrişimli Sinir Ağı (1D-CNN) ile önerilen Bir-Bir-Bir Derin Sinir Ağı sonuçları karşılaştırılmıştır. Hazırlanan Bir-Bir-Bir Derin Sinir Ağı modelinin çalışanların düşme risklerini tahmin eden en verimli sinir ağı olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatür çalışmalarının geneli incelendiğinde inşaat sektöründe Yapay Sinir Ağı ile sadece Sıklık Tahminine dayalı çalışmalara rastlanmamıştır (Caner Akın vd., 2021). İnşaat sektöründe görülen ölümlü iş kazalarının sınıflandırılması ve sektörel iş kazalarına dair farkındalığının artırılması amacıyla, 2013-2023 yılları arasında meydana gelen iş kazaları analiz edilmiştir. Sosyal Güvenlik Kurumu'na yapılan iş kazası bildirimleri üzerinden yapılan analizlerde, 4575 veriye (toplam verilerin yaklaşık %87'si) erişim sağlanabilmiştir. İlgili veriler doğrultusunda, inşaat sektöründe ölümlü iş kazası sebepleri sırasıyla; yüksekte düşme kaynaklı kazalar (%39,9), trafik ve iş makinası kazaları (%17,1), sağlık sorunları (%13,3), elektrik kazaları (%5,4), iş ekipmanı kaynaklı kazalar (%5,0), malzeme kaynaklı kazalar (%4,7), kazı ve toprak kayması kazaları (%3,1) ve diğer sebepler (%11,5) olarak paylaşılmıştır (ÇSGB, 2025b). Bu çalışmadaki amaç; İSG kapsamında inşaat sektöründe yaşanmış gerçek kaza verilerinin Yapay Sinir Ağı ile eğitilerek, risk değerlendirmesinde kullanabileceği, alınabilecek kararları olumlu yönde destekleyebilecek ve kazaları minimize etmeye yardımcı olacak kaza sayılarını öngören bir model oluşturmaktır. Karar verici kişilerin İSG risk analizinin hazırlanması sırasında ihtiyaç duyduğu parametrelerinden biri olan kazaya ait Sıklık (Frekans) kavramı, oluşturulan modelle tahmin edilebileceğinden dolayı risk değerlendirmesiyle ilgili sonuçların daha gerçekçi yaklaşıma ulaşılacağı öngörülmektedir. İstanbul' da faaliyet gösteren bir Ortak Sağlık ve Güvenlik Biriminin 2016-2019 yıllarında ait inşaat projelerinde meydana gelen 644 adet iş kazası verileri alınarak yüksek doğruluk oranlı kaza sayısı tahmini elde edilebilmiştir (Caner Akın vd., 2021).

Yapay Zekâ uygulamaları, inşaat sektöründe hem prosesleri hızlandırmak hem de verimliliği artırmak amacıyla gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. McKinsey'in 2020'de yaptığı bir araştırmaya göre, Dünya genelinde inşaat projelerinin yalnızca %6'sında Yapay Zekâ aktif olarak kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Fakat sektörde dijitalleşmenin hız kazanması ile bu oran her yıl hızla artmaktadır. Boston Consulting Group (BCG) tarafından yayımlanan 2023 yılı raporunda, büyük ölçekli inşaat projelerinin %25'inde Yapay Zekâ çözümlerinin kullanıldığı ve bu oranın önümüzdeki 5 yıl içinde %45'e ulaşmasının beklendiği vurgulanmaktadır. Yapay Zekâ teknolojileri, özellikle proje ilerleme takibi, maliyet yönetimi, güvenlik, proje planlama ve risk analizlerinde büyük fırsatlar sunmaktadır (Mança, 2024). Şekil' 10 da inşaat sektöründeki Yapay Zekâ uygulamalarını belirten temsili bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 10. İnşaat sektöründeki Yapay Zekâ uygulamalarını belirten temsili bir görsel (Mança, 2024).

Şekil 10'da görüldüğü gibi, inşaat sektöründeki projelerin ilerleme aşamalarının takip edilmesinde, tehlikelerin ve risklerin belirlenip analizlerinin hazırlanmasında, inşaat maliyetlerinin azaltılmasında ve yönetilmesinde, proje planlamalarında, güvenlik esaslarının takibinde yapay zekâ teknolojileri kullanılmaktadır.

5.2 Metal Sektörü

Sanayi devriminden sonra birçok sektörde olduğu gibi ana metal sektöründe de önemli gelişmeler görülmüştür.

Sanayi devriminin sonucunda Dünya'nın tamamına yakınında daha fazla metal ürünlere ihtiyaç duyulmuş, yeni metal ürünlerinin üretilmesiyle fabrikaların artan metal ihtiyaçları ana metal sektörünün daha çok önem kazanmasına neden olmuştur. Metal sektöründeki ürünlere olan ihtiyaçlar ve kullanım çeşitlilikleri bakımından ana metal sektörü imalat sanayisinde önemli sektörlerden biri olarak görülmektedir. Ana metal sektöründe; diğer sektörler gibi ürün ihtiyaçlarını karşılayabilen bir sektör olmasından sebebiyle başta gemi inşaatlarında, inşaatlarda, otomotivde, demiryolu sanayiinde, savunma sanayiinde, makina imalat sektöründe vb. birçok sektörde diğer sektörlerle birlikte iş birliği yapılabilmektedir (Ateş, 2008; Şahinkaya, 2015).

Ülkemizde bulunan işyerlerinin %98'i, ana metal sektöründe ise, %93,3'ü çalışan sayısı ellinin altında olan küçük ve mikro ölçekli işyerlerinden oluşmaktadır. İlgili Bakanlık çalışanları olan iş müfettişleri tarafından yapılan İSG denetimlerinde işyerlerinde güvenlik kültürünün oluşturulabilmesi amacıyla önemli tespitlere ulaşılmıştır. Bu teftişlerin sonucunda işyerlerinde sağlık ve güvenlik şartlarındaki durumların tespit edilebilmesi, işverenlerin ve İSG alanlarındaki çalışanların işyerlerinin durumları ile ilgili bilgi sahibi olabilmesi, yapılan çalışmaların mevzuatlara uygun olup olmadığının görülebilmesi açısından pozitif yönde fayda sağladığı belirlenmiştir (Erin vd., 2023). Ayrıca, metal sektörü, rekabetçi bir ortamın yaşandığı ve esnek çalışma biçimlerinin yaygınlaştığı demir – çelik, döküm, ham çelik, ferro alaşımlar, demir dışı metaller-alüminyum ve bakır başta olmak üzere ana sanayi kollarını içinde barındırması nedeniyle ülkemizde motor sektörü olma özelliğine sahip olmaktadır. Bu sektör, yapısı nedeniyle bulundurduğu tehlikeler ve riskler sebebiyle bilgiler, deneyimler, uzmanlıklar ve devamlı denetimler gerektiren ağır ve tehlikeli sektörlerin başında geldiği belirtilmektedir (Demir, 2009).

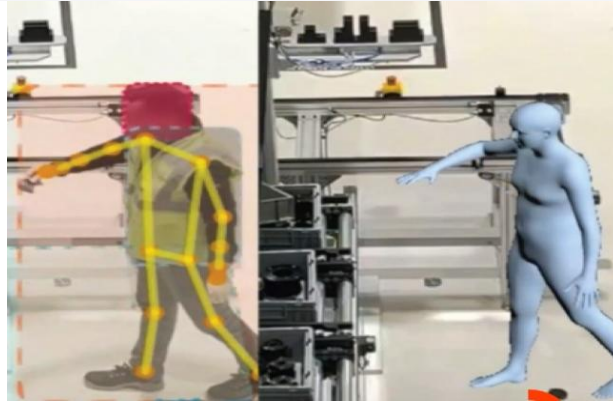
Sahip oldukları farklı özellikleri sebebiyle, teknolojik gelişmeler ışığında kullanım alanları hızla yaygınlaşan metaller, endüstride geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Bütün sanayi türlerinin lokomotif niteliğindeki metal sektörü, içerdiği iş gücü ve ekonomik büyüklük açısından ülkemizin en önemli sanayi kolu olarak kabul edilmektedir. Çağımızda yaşanan hızlı değişimlerle üretimler ve rekabetçi ortamlar artmakta, iş kazaları sonucunda çalışan kişilerin İSG'ye yönelik tehlikeler ve riskler giderek artmaktadır (Güllüoğlu & Güllüoğlu, 2019). Günümüzde metal sektörü, iş kazalarının en çok görüldüğü sektörlerden arasındadır. Şekil 11' de metal sektöründe yaşanan iş kazalarından bir görünüm paylaşılmıştır (Atabey, 2019).



Şekil 11. Metal sektöründe yaşanan iş kazalarından bir görünüm (Atabey, 2019).

Şekil 11'de görüldüğü üzere, metal sektöründe ölümcül iş kazaları yaşanabilmektedir. Bu tür ölümcül iş kazalarının yaşanmaması amacıyla işyerlerinde ve diğer çalışma ortamlarında çalışanların dikkatli bir şekilde takip edilmesi ve gerekli uyarıların zamanında yapılması gerekmektedir.

Bilgisayarlı Görü Teknolojisi, iş yerlerini gerçek zamanlı olarak analiz etmekte ve potansiyel İSG ile ilgili tehlikeler ve riskler konusunda çalışan kişileri veya süpervizörleri uarmaktadır. Yapay Zekâyla Bilgisayarlı Görü, çalışan kişileri gerçek zamanlı olarak bilgilendirip ekiplerin İSG prosedürlerini takip edebilmelerine ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmaktadır. Potansiyel İSG tehlikelerini, risklerini ve güvensiz davranışlarını tespit edebilen Bilgisayarlı Görü Teknolojisi iş yerlerinde yaşanan iş kazalarının ve yaralanma risklerinin azaltılmasında önemli görevler üstlenmektedir. Çalışan kişiler kendilerini iş yerlerinde güvende hissettiklerinde daha verimli olduklarını ve işyerlerine olan bağlılıklarının arttığını belirtmektedirler (TİSK, 2023). Çalışan kişilerin gizlilik durumları ve etik açıdan kaygılarının azaltılabilmesi amacıyla 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ uygulamaları kullanılabilmektedir. 3D Anonimleştirme Yöntemi ile Yapay Zekâ, işyeri ortamlarındaki kişileri tamamen tanınamayacak hale getirirken, güvensiz durum ve davranışları tespit edebilmek için genel şartları bozmadan hareket etmektedir. 3D Anonimleştirme Yöntemi, gerçekçi renderlanmış animasyonlar yerleştirerek anonimleştirmeyi sağlamaktadır (TİSK, 2023). Şekil 12'de 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekânın, işyeri ortamlarında kullanıldığı bir görsel paylaşılmıştır (TİSK, 2023).



Şekil 12. 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ, işyeri ortamlarındaki kişileri tamamen tanınmaz bir şekilde gösterebilmektedir (TİSK, 2023).

Şekil 12’de görüldüğü gibi, 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ uygulamaları kullanılarak çalışanların özel görüntüleri tanınmayacak bir şekle getirilip çalışanların daha rahat bir şekilde çalışabilmeleri, gizlilik durumlarının korunabilmesi ve birtakım özel kaygıların azaltılabilmesi sağlanabilmektedir. Bu şekilde çalışanların güvenliği, hiçbir çalışanı rahatsız etmeden ve zaman kaybetmeden kontrol edilebilmektedir.

5.3 Lojistik Sektörü

Ülkemizde ve Dünya’da hızla gelişen lojistik sektöründe İSG uygulamalarının değeri gittikçe artmakta olduğu belirtilmiştir (Cengiz & Akşit, 2023). Bütün sektörlerin ihtiyacı olduğu ürünler, hammaddeler, teçhizatlar, malzemeler ve bilgilerin istenildiği yerlerde ve zamanlarda akışın sağlanabilmesiyle taşımada, depolamada, dağıtımda, teslimatta vb. faaliyetlerde çalışmaların etkinliği ve verimliliği amacıyla gerçekleştirilebilmesi süreçlerine “Lojistik” adı verilmektedir (Bakan & Şekkeli, 2017). Özellikle lojistik sektörde yaşanan istihdamdaki ve iş hacminde görülen hızlı artışlar sebebiyle güvenli çalışma ortamlarının oluşturulabilmesi ve lojistik işletmelerinde görülen güvenlik kültürü çalışmalarının öncelikli bir konu olarak değerlendirilebilmesinin gerekliliği net bir şekilde görülebilmektedir (Baylan & Karaçevirgen, 2019). Bu tür iş prosesleri esnasında yaşanabilecek olan iş kazaları tedarik zincirinin tamamında kesintinin yaşanma olasılığını taşımakta olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, iş kazalarının azaltılabilmesinin en önemli parametreleri İSG uygulamalarının benimsenebilmesi ve işletmeler içerisinde bir İSG kültürünün oluşturulabilmesidir (Özaslan, 2011). Lojistik sektöründeki işletmelerde en iyi uygulamaların seçilebildiği bir güvenli işletme kültürü oluşturabilmek amacıyla devlet otoritesi, sektör paydaşları ve çalışan kişilerden oluşan bütün paydaşların birlikte hareket edebileceği etkili ve süreklilik gösteren bir eğitim konseptine sahip olunabilmesi gerekmektedir. İSG uygulamalarının lojistik işletmelerindeki birinci amacı iş proseslerinde yaşanabilecek kesintileri en aza indirebilecek proses etkinliğinin sağlanabilmesidir (Auyong vd., 2014). İSG politikalarının uygulanmasında ve diğer proseslerde önleyici proaktif yaklaşımın sergilenebilmesinde öncelikle işletmelerdeki yönetimlerin ve çalışan kişilerin güvenlik konularındaki farkındalıklarının artırılabilmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Akan & Dalbay, 2015). Lojistik faaliyetleri içerisinde taşımacılık sistemleri, depolama faaliyetleri, stok yönetimleri, malzemelerin tedarik prosesleri, bilgilerin yönetimi, elleçleme ve paketleme işlemleri, satış sonrası işlemler vb. birçok iş prosesi için yoğun işgücü gerektiren, İSG bakımından belirli tehlikeler ve riskler taşıyabilen özellikleri nedeniyle çalışan kişilerin İSG konularında bilinçli olabilmelerini gerekli kılmaktadır (Özaslan, 2011). Şekil 13’ te lojistik sektörde yaşanmış olan bir iş kazasının görünümü paylaşılmıştır (Kürekçi, 2020).



Şekil 13. Lojistik sektöründe yaşanmış olan bir iş kazasının görünümü (Kürekçi, 2020).

Lojistik hizmetleri üretebilen işletmelerde İSG uygulamalarının etkili bir biçimde gerçekleştirilebilmesinde ve

güvenlik bilincinin oluşturulabilmesinde kararlı bir liderlik yapısına ihtiyaç vardır. İşletmelerdeki yönetim kadrosundaki kişilerin yapabileceği liderlikle birlikte çalışan kişilerin İSG konusundaki yetkinliklerinin arttırılabilmesi için devamlılık sağlayan eğitim mekanizmalarının oluşturulabilmesi gerekmektedir. İşletmelerin açık bir güvenlik politikasının olması çalışan kişiler için önemli bir avantaj olacaktır (Auyong vd., 2014). Yapay Zekâ uygulamaları; lojistik zincirinin talep tahminlerini, müşteri kaybı tahminlerini, sipariş toplamaları, ürün takiplerini, depolamaları, envanter yönetimlerini ve operasyon planlamaları gibi birçok aşamada kullanılmakta ve bu uygulamalardan olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Yapay Sinir Ağları metoduyla stok maliyetlerinde azalmalar, bilgisayarla görme ile gerçek zamanlı envanter yönetimleri, robot teknolojileri ile sipariş toplama verimliliklerinde artışlar, otonom araçlarda ve drone teknolojisi destekli hızlı ve güvenli teslimatlar yapılabilmektedir (Aylak vd., 2021). İşyerlerinde depolarda çalışan kişiler, ağır yüklerin kaldırılması veya forkliftlerin kullanımı sırasında çeşitli tehlikelerle ve risklerle karşılaşabilmektedirler. Yapay Zekâ uygulamaları, bu tür problemlili durumları analiz ederek işyerlerinin güvenliğini artırabilmektedir. Lojistik sektöründeki yapay zekâ uygulamalarına bir Fransız firmasının hazırlamış olduğu uygulama örnek olarak verilebilir. Bu firma, işyerlerindeki rafların performanslarını ölçebilmek, ürünleri izleyebilmek amacıyla Bilgisayarla Görme Tabanlı Yapay Zekâ uygulamalarını kullanmaktadır. Derin Öğrenme ve Görüntü Tanıma özelliklerini kullanabilen bu firma markaların, etiketlerin, logoların, fiyat etiketlerinin ve raf durumlarının vb. bilgilerin özelliklerini çıkararak ve Bilgisayarla Görme teknolojisini kullanarak bireysel parçalar ve stok düzeylerinde Gerçek Zamanlı Envanter Yönetimine imkân sağlayabilmiştir. Şekil 14'te Bir firmanın Bilgisayarla Görme örneği paylaşılmıştır (Aylak vd., 2021).



Şekil 14. Bir firmanın Qopius bilgisayarla görme örneği (Aylak vd., 2021). a) Bir firmaya ait akıllı telefon ile çekilen perakende rafın görüntüsü. b) Qopius ile görselleştirilmiş raf görüntüsü.

Şekil 14'te görüldüğü üzere, lojistik sektöründe çalışan bir firmanın raf sistemindeki eksikliklerin veya hataların bilgisayar teknolojisi kullanılarak fark edilebilmesi, firmanın ürünlerini rahat bir şekilde kontrol edebilmesini ve ürün denetimlerinin hatasız bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu durum ise, firmanın kontrollü bir şekilde büyüebilmesinde önemli bir etken olacaktır.

Lojistik sektöründe siparişlerin toplanmasında kullanılabilen yapay zekâ uygulamalarına bir örnekte Hollandalı teknoloji firmasının çalışmasıdır (Robinson, 2020). Firma, Derin Öğrenme algoritmaları ile Robot Teknolojisini birleştirerek ürünlerin tanımlanmasında, analiz edilmesinde ve toplanmasında kullanılan işlemleri otomatik bir şekilde yapabilmektedir. Bu sayede lojistik operasyonlar içerisinde kısa bir sürede ürünlerin tanımlanmaları ve istenilen yerlere taşınabilmeleri gerçekleştirilerek başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Şekil 15' te bir teknoloji firmasının sipariş toplama robotları görülmektedir (Fizyr, 2025).



Şekil 15. Bir teknoloji firmasının sipariş toplama robotlarından iki farklı görünüm (Fizyr, 2025).

Lojistik sektöründe kullanılan sipariş toplama robotları, teknolojinin doğru kullanıldığında insanlığa ne kadar faydalı olabileceğinin en güzel örneklerinden biridir. Gerek zamandan ve mekândan gerekse çalışanların iş

yükünün hafifletilebilmesi ve çalışanların ergonomik olarak rahat edebilmeleri açısından bu tür robotlar sektörde önemli bir yere sahiptir. Ürünlerin hızlı ve hatasız bir şekilde ulaşmaları gereken noktalara taşınabilmesinde ve teslimatında teknolojik sistemlerden faydalanılması gerektiği açıkça görülmektedir.

Lojistik sektöründe otonom araçlarla beraber drone teknolojileri de kullanılmaktadır. Dünya lojistik sektörüne yön verebilen büyük firmalar drone taşımacılığıyla kısa mesafeli teslimatlarla taşıma sürelerini önemli ölçüde azaltarak lojistik verimliliğinde başarılı sonuçlara ulaşmışlardır. Şekil 16'da Dünya çapında tanınan bir lojistik firmasının kullandığı drone aracı görülmektedir. Bu araç, Yapay Zekâ teknolojisi destekli olmasından dolayı drone teslimat rotasının belirlenmesi, hedeflere güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşılması ve yüz tanıma teknolojisiyle kimlik doğrulaması işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla Akıllı Navigasyon Sistemini kullanmaktadır (Hua & Zhang, 2019).



Şekil 16. Dünya çapında tanınan bir lojistik firması tarafından kullanılan teslimat aracı (Amazon, 2020).

Günümüz Drone teknolojisi, artık birçok sektörde kullanılmakta ve gelecek dönemler için kendi endüstrisini oluşturacağı düşünülmektedir. Lojistik sektöründeki rekabetçi piyasa koşulları drone teknolojisinden ve yapay zekâ teknolojilerden de faydalanılması gerektiğini bu sektördeki paydaşlara göstermektedir.

Lojistik firmalarının kendi aralarında rekabet edebilmeleri, genellikle insan-yapay zekâ iş birliğine bağlı olmaktadır. İnsan-yapay zekâ iş birliğindeki engellerden bir tanesi de yüksek nitelikli çalışan kişilerin sayısı olarak az olmasıdır. Bu nedenle profesyonel insan kaynağı yönetimlerine daha da ciddiye alınmalı ve bu konularda daha fazla yatırım yapılması sağlanmalıdır (Aylak vd., 2021).

5.4 Madencilik Sektörü

Madencilik sektöründeki çalışmalar genel olarak uzun süreli ve zor olan proseslerden oluşan bir yapıya sahiptir. Madencilik sektörünün temel problemleri; maden rezervlerinin bulundukları konuma, çalışan kişilerin sayısına, madenlerin büyüklüklerine, yapılan işlerin sürelerine, hava şartlarının uygunluğuna, İSG uygulamalarına verilen önem derecesine vb. faktörlere göre değişebilmektedir (Şengöz & Bozkurt, 2025b). Madencilik sektörünün yapısındaki zorluklar neticesinde çalışma sahalarında tehlikelerin ve risklerin sayısı tahmin edilenden daha fazla olmaktadır. Ülkemizde özellikle kömürlerin ve linyitlerin çıkarılma işlemlerinde alt sektörde yaşanan tehlikeleri ve riskleri incelendiğimizde maden havzalarında yaşanabilecek süreklilik arz eden değişimler, jeolojik şartların ve ortam şartlarının değişken olması etkenleri ile birlikte üretimlerin yapılabilmesi, doğadaki zorlu şartlar ile devamlı olarak sürececek mücadelelere göğüs gerebilmek vb. durumlar madencilik sektörünü diğer sektörlerle oranla daha da tehlikeli ve riskli hale getiren faktörler olarak belirtilebilir. Bilhassa yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan bu tür dinamizmler sebebiyle İSG uygulamaları daha da fazla öneme sahip olacaktır denilebilir. Dünya çapında özellikle de ABD'de 1940'lı yıllara kadar madenlerde yaşanan iş kazaları ve gerçekleşen kazalardaki ölüm sayıları zamanla giderek artmıştır. Bu olaylardan sonra, İSG ile ilgili yeni mevzuatların çıkartılması ve uygulanması, teknolojik yeniliklerin hayatımıza girmesi, hayatımızı değiştirmesi ve geliştirmesi, maden ocaklarında yaşanan problemler ve iş güvenliği çalışmalarını tehlikeye atabilecek şartlarla ilgili önlemlerin alınabilmesi sonucunda 1970'li yıllardan sonra iş kazası ve bu kazaların sonucunda yaşanan ölümlere bağlı oranların hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür (Atalay, 2015). Ülkemizde ise, 1940'ardan bu zaman kadar madencilik sektöründeki iş kazalarında 3 binden fazla çalışmamız hayatını kaybetmiştir. Bu tür kazalardaki en fazla can kaybımızın olduğu iş kazası 2014 yılında Manisa ilimizin Soma ilçesinde yaşanmış ve 301 madencimiz vefat etmiştir. Şekil 17' de Soma maden kazası sonrasında yürütülen kurtarma çalışmalarından bir görünüm paylaşılmıştır (Wikipedia, 2025). Bir diğer büyük iş kazası ise, 1992 yılında Zonguldak ilimizin Kozlu ilçesinde yaşanmış ve 263 çalışmamız hayatını kaybetmiştir. Bu tür yaşanan iş kazalarında en önemli problemlerin alınmayan ya da alınamayan veya noksan olarak alınabilen güvenlik önlemleri nedeniyle gerçekleştiği araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Sekmen & Zengin, 2023).



Şekil 17. Soma maden kazası sonrasında yürütülen kurtarma çalışmalarından bir görünüm (Wikipedia, 2025).

Ülkemizde yaşanan madenlerdeki bu tür iş kazalarına rağmen maden sektöründe görülen problemlerin çözümü beklenen seviyelere ulaşamamıştır. Maden sektörü, çok tehlikeli ve riskli bir sektör olması sebebiyle çoğunlukla iş kazaları görülebilmektedir. Madenlerdeki risk haritalarının tecrübeli uzmanların kontrolünde tam anlamıyla hatasız bir şekilde zamanında hazırlanmaması, çalışanların kapsamlı bir şekilde yeterli seviyede eğitim almamaları, madenlerdeki havalandırma problemlerinin kalıcı bir şekilde çözülmemesi, madenlerdeki acil çıkışların yeterli sayıda olmaması, uygulamalardaki ve denetimlerdeki eksiklikler, koruyucu faaliyetlerin ve denetimlerin zamanında yapılmaması ve önlemlerin zamanında alınmaması gibi faktörler bu tür iş kazalarının yaşanmasının en önemli sebepleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

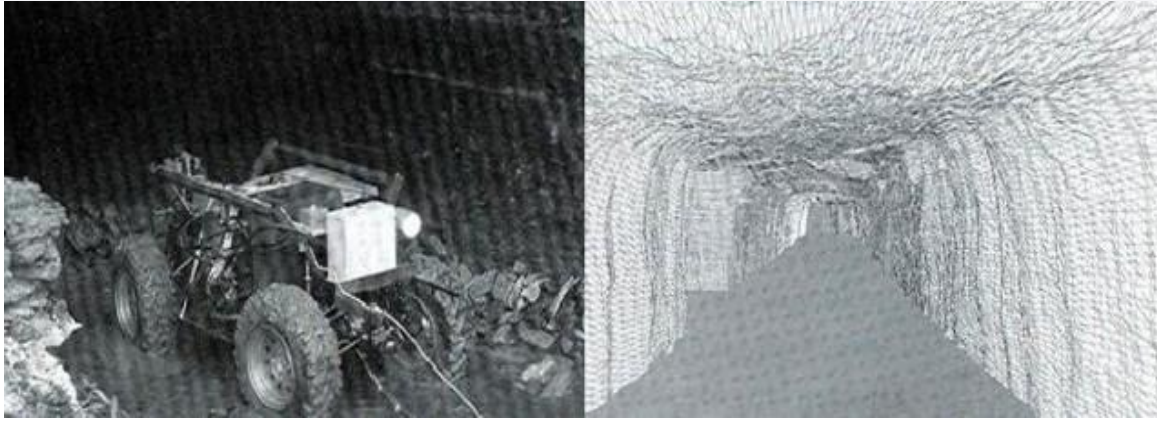
Günümüz teknolojisinde yaşanan veya yaşanabilecek iş kazalarının azaltılmasında yapay zekâ uygulamaları kullanılarak hazırlanan bazı teknolojik araçlar bulunmaktadır. Bu araçların zaman içerisinde birçok madencilik uygulamalarında geliştirilerek kullanılacağı düşünülmektedir. Maden arama çalışmalarında, madenlerin aranma sahalarındaki galerileri haritalama çalışmaları iş güvenliği bakımından önem arz etmektedir. Bu tür madencilik çalışmalarına bir örnek olarak ABD'deki Carnegie Mellon Üniversitesi'nde maden sahalarında bulunan galerileri haritalamada, Lidar sensör kullanan bir otonom robot geliştirildiği belirtilmektedir. Bu otonom robotu, ABD'de terkedilmiş bir maden sahasında kullanıldığı açıklanmıştır. Şekil 18' de maden sahalarını haritalama özelliğine sahip Groundhog adlı otonom araç paylaşılmıştır (Baker vd., 2004).



Şekil 18. Maden Sahalarını Haritalama Özelliğine Sahip Groundhog Adlı Otonom Araç (Baker vd., 2004)

Maden aramalarında bu tür otonom araçların kullanılması gerek mühendislik hizmetleri yönünden gerekse iş sağlığı ve güvenliği yönünden birçok noktada kolaylıklar sağlamaktadır. Özellikle zorlu hava şartlarında ve arazi çalışmalarında bu tür teknolojilerin kullanılması çalışan kişilerin işlerini pratik hale getirmektedir.

Maden arama çalışmalarında, aktif olarak kullanılmayan bölgelerde bulunan madenlerde gaz birikme problemlerinin yaşandığı teknolojik açıdan bilinmektedir. Bu tür madencilik çalışmaları yapılan bölgelerde, maden arama bölgelerine girişlerde veya çıkışlarda yaşanabilecek iş kazalarını engelleyebilmek için gerekli iş güvenliği ile ilgili tüm önlemler alınmalıdır. Bu tür tehlikeler ve riskler içeren bölgelerde çalışanların herhangi bir olumsuz durumda zarar görmemeleri ve haritalamanın hazırlanabilmesi amacıyla uzaktan kontrol edilen bir robot kullanılmaktadır. Bu robot ve bu robotun toplayabildiği veriler kullanılarak hazırlanan üç boyutlu maden haritası Şekil 19' da gösterilmektedir. Bu tür robotların benzerleri, uzayla ilgili olan çalışmalarda Mars yüzeyindeki bölgelerde araştırmaların yapılabilmesi amacıyla kullanılmıştır (Russell & Norvig, 2003).



Şekil 19. Solda maden aramalarında kullanılan robot ve sağda bu robotun toplayabildiği verilerle hazırlanan üç boyutlu maden haritası (Russell & Norvig, 2003)

Madencilik sektöründe faaliyet gösteren bazı firmalar ve madencilik çalışmalarında kullanılabilen makinaların üretimini yapan firmalar hem verimliliğin sürdürülebilmesi amacıyla hem de madenlerde iş güvenliğini uygulamalarını artırabilmek amacıyla yeraltında kullanılan bazı araçlarda değişiklikler yaparak veya yaptırarak bu araçların robotik olmasını sağlamakta ve bu araçları kullanılması gereken ortamlarda ve zamanlarda kullanabilmektedirler. Bu bilgiler ışığında, gelecekte madencilik sektöründe maden sahalarında bu tür otonom araçlar kullanılarak yapılan çalışmaların artacağı düşünülmektedir. Bu tür maden arama çalışmalarında bu tür otonom araçların tehlikeli ve riskli bölgelerde veya arazilerde nasıl bir şekilde çalışacağı ve ne kadar faydalı olabileceği şu an için araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür robotların gerekli ihtiyaçları karşılayabildikleri sürece bundan sonraki dönemlerde arazi çalışmalarında mühendisler ve iş güvenliği uzmanlarına faydalı olacakları düşünülmektedir (Şengöz & Bozkurt, 2025a). Maden arama çalışmalarında ve diğer sektörel çalışmalarda yaşanabilecek iş kazalarının çoğunlukla çalışan kişilerin kişisel hatalarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle bu tür tehlikeli ve riskli olan çalışma ortamlarında bireysel hataları en aza indirebilecek veya tamamen önleyebilecek teknolojik gelişmelerden ve tedbirlerden olabildiğince faydalanılması ve madencilik çalışmalarına entegre edilebilmesi, yaşanabilecek iş kazalarının azaltılabilmesine veya yaşanmamasına önemli bir etkisi olacaktır (Sekmen & Zengin, 2023).

6. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA SAHA UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK TEKNOLOJİLERLE İLGİLİ ÖNERİLER

İş sağlığı ve güvenliğinde saha uygulamalarında kullanılabilir seviyedeki; Makine Öğrenmesi, Bulut Sistemi (Cloud), Radyo Frekanslı Tanıma (RFID), Nesnelerin İnterneti (IoT), 3D Modelleme, M2M (Machine to Machine) takip sistemleri, Gerçek Zamanlı Konum Belirleme (RTLS), Küresel Konumlama Sistemi (GPS), Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR), Entegre Edilmiş Yazılımlar, Akıllı Kişisel Koruyucu Ekipmanlar, Büyük Veri Analitiği ve Yapay Zeka (YZ) vb. gelişim göstermekte olan dijital teknolojilerin desteğiyle çalışma ortamları daha güvenli bir pozisyona taşınabilmektedir. Gerektiğinde önemli bilgileri toplayarak algılayabilen, uyarılar verip ikaz edebilen, otonom kontrol sağlayabilen teknolojiler ile sensörlerle desteklenen akıllı giysiler, İSG proseslerinin güvenli bir şekilde yürütülmesinde, tehlikeli ve riskli durumların belirlenmesinde ve bertaraf edilebilmesinde, iş kazalarının önlenmesinde, yüksek riskli çalışma ortamlarında güvenli çalışma şartlarının hazırlanabilmesinde önemli görevler üstlenmektedirler (Ekmekçi & Ekmekçi, 2020).

Saha uygulamalarında kullanılan giyilebilir akıllı cihazlar ise, İSG ile ilgili alanlara yenilikler getirmiştir. Bu teknolojik yenilikler ile kişisel sebeplerden kaynaklanabilen tehlikeli ve riskli hareketler önlenmekte ve bu tür hareketlerin tespitlerinde çalışan kişilere uyarılar verilebilmektedir. "Giyilebilir Teknoloji", "Giyilebilir Cihaz" ve "Giyilebilir Sensör" vb. terimler çalışanların vücutlarına kolaylıkla giyilebilen kıyafetler ve takılabilen aksesuarlar olarak dizayn edilmiş elektronik veya bilgisayar teknolojilerinin ürünleridir. Dijital özellikli saatler, gözlükler, lensler ve bileklikler, tekstil ürünleri, baretler, ayakkabılar, işitme cihazları gibi kişisel donanımlar giyilebilir cihazlardır (Sağbaş vd., 2016). Bu tür cihazların yardımlarıyla çalışan kişilerin kalp atışları, vücut ısıları, solunum hızları, kandaki insulin oranları, tansiyon değerleri gibi önemli parametrelerle ilgili eş zamanlı veriler toplanarak, bu verilerin İSG profesyonelleri tarafından kullanıldığı ve paylaşıldığı bilinmektedir. Ayrıca, çalışma ortamlarındaki hareket sensörlerinin veya hareketsizlik sensörlerinin kullanımıyla Kör Nokta (Blind Spots) kaynaklı iş kazalarının önlenmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu tür çalışmalara rağmen insan kaynaklı iş kazaları maalesef yaşanmaktadır. Bu tür iş kazaları, insan faktörünün karmaşık ve değişken olması sebebiyle tüm tehlikelerin ve risklerin tamamen ortadan kaldırılamayacağını göstermektedir.

7. ÜLKEMİZDEKİ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA BAŞARILI YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÇASGEM tarafından hayata geçirilen "İşyeri Gözetimi Çalışmalarında Türkiye'nin Yapay Zekâ İhtiyaç Haritası" Projesinde yapay zekâ teknolojileri İSG kapsamında değerlendirilmiştir. Bu projede araştırma yapılacak sektör imalat sektörü olarak belirlenmiştir. Proje ile sayısal araştırmalarla beyaz yakalı olarak çalışan kişilerin yapay zekâ ile ilgili eğitim ihtiyaçlarının ve farkındalık düzeylerinin belirlenmesi, sözel araştırmalarla ise, İSG faaliyetleri ile ilgili yapay zekâ kullanımı tespit edilmiştir. ÇASGEM tarafından çalışma hayatındaki verimliliğin artırılması, çalışan kişilerin teknoloji ile olan ilişkileri ve diğer çalışanlarla olan ilişkiler hakkında birçok farklı konuda eğitimler verilmiştir. Özellikle inşaat, maden, metal ve petro-kimya sektörlerinde geliştirilmiş olan 20 adet sanal gerçeklik senaryoları gibi yeni nesil yöntemler kullanılarak verilen eğitimler zenginleştirilmiştir. ÇASGEM' in 2023 yılında başlatmış olduğu bu projeye yapay zekâ teknolojilerinin iş kazalarını azaltmada, olağan iş proseslerini iyileştirmede ve çalışanların iş yüklerini hafifletebilmede yararlı olduğunu sonucuna varılmıştır. Ayrıca projede veri güvenliği ve etik sorunlar gibi konularda yaşanabilecek mağduriyetler de görülmüştür. Bu tür konularda başarılı örnekler olarak birkaç örnek vermek gerekirse, Arçelik A.Ş.'de fabrikalardaki yüksek riskli alanların belirlendiği, devamlı olarak izlenen alanlarda yaşanabilecek iş kazalarının önlenmesi için denetimlerin sürekli olarak yapıldığı, özellikle makinelerin arızalandıklarında ve çalışan kişilerin yapmış oldukları hatalardan dolayı yapay zekâ destekli kameralarla güvenlik önlemlerini artırmış oldukları belirtilmiştir. Kullanılan bu teknolojilerin Rusya, Tayland ve Güney Afrika'daki fabrikalarda başarılı bir şekilde uygulandığı belirtilmektedir. Ford Otosan'dan iş güvenliği ile ilgili önlemleri artırmaya yönelik yapay zekâ tabanlı çözüm olan "Gözcü" uygulamasını kullandıkları belirtilmiştir. "Gözcü" uygulamasının, fabrikadaki kamera görüntülerini istenilen verilere dönüştürerek oluşan uygunsuzlukların tespitinde kullanıldığı ve bu uygulamanın anında uyarılar verebildiği belirtilmiştir. Martur Fompak International' da iş güvenliği çalışmalarında özellikle yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojilerinin kullanıldığı, güvenlik kültürünün sürdürülebilir bir seviyede ilerleyebilmesi için güvenlik açıklarının tespit edildiği ve bu açılara gerekli müdahalelerin yapılmasında yapay zekâ teknolojilerinden faydalandıkları belirtilmiştir. KARSAN Otomotiv'de iş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan prosedürlerde Makine Öğrenmesi, Veri Analizi/Tahmin ve Görüntü İşleme gibi yapay zekâ uygulamalarını kullandıkları belirtilmiştir. "Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) ile Güvensiz Davranış Yönetimi" Projesinde akıllı bileklik teknolojisi kullanılarak yalnız çalışan güvenliğinin sağlanması, makine öğrenimi metodu ile gün kayıplı kaza tahminlemelerinin yapılması başta olmak üzere Engelsiz Gelecek Projesi/VR ile bilinç artırma çalışmalarına kadar birçok uygulamayı kullandıkları belirtilmiştir (ÇASGEM, 2024).

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde yaşanan iş kazalarının ve bu kazalardan sonra yapılması gereken uygulamaların neler olduğu, farklı sektörlerdeki iş kazalarına karşı hangi önlemlerin alınması gerektiği çalışma içerisinde kısaca paylaşılmıştır. Bu tür iş kazalarının sayısını azaltılmasında veya önlenmesinde yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının kullanılması gerektiği çalışmada açık bir şekilde belirtilmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve kullanılması ile birlikte iş kazalarının da önenebilir bir seviyede tutulabileceği veya kontrol edilebilir bir seviyede olması gerektiği daha net görülebilmektedir.

Günümüzde ekonomik, sosyal ve yaşamsal açıdan global anlamda değiştiren ve farklılaştıran bir etkiye sahip olan yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları, gelecekte de etkisini artırarak devam ettirecektir. Bu değişim ve dönüşüm İSG alanında da etkisini gösterecektir. İSG' de yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının kullanılmasının toplumumuza olan sosyoekonomik etkileri; işsizliğin artması, nitelikli çalışanların başka firmalara geçiş yapması, ülke içinde göçlerin görülmesi ve ekonomik anlamda ülkemizin gelir düzeyinde ve iş olanaklarında sektörel değişimlerin görülmesi şeklinde açıklanabilir. Bu tür olumsuz durumların yaşanabileceği, farklı mesleklerin ve alt kollarının kurumlar veya firmalar bazında üretim, maliyet, satış ve diğer birimlerine etki edebileceği beklenmektedir. Etik açıdan ise, yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının çalışanlarda önyargıyı artırma, çevresel iklim değişikliklerine olumsuz yönde etki etme, insan haklarını doğrudan veya dolaylı olarak tehdit etme, çalışanlar arasında eşitsizliklerin artması, farklı gruplaşmaların oluşması, Kişisel Verilerin Korunma Kanunu'na (KVKK) uygun olup olmayacağı vb. birçok konuda soru işaretleri barındırdığı düşünülmektedir.

Şu an için meslekler açısından işyerlerinde uygulanan stratejik planlar, reaktif yapılardan proaktif yapılara geçişte bir basamak olarak görülmektedir. Gelecek için yapılan tüm planlamalar bu geçiş için bir hazırlık evresi konumundadır. Her değişim sürecinde yaşanan fırsatlarla birlikte yeni risklerin de ortaya çıkması görev süreçlerinde risklerin artmasına ve karmaşıklığa neden olmaktadır. Bu durum ise, önleyici yaklaşımların değerini belirtmektedir. Aynı zamanda günümüzde her sektörde aranan yetişmiş insan kaynağı bulmanın zorluğunu da ortaya koymaktadır. Bu nedenle, her sektörde olduğu gibi İSG' de de yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem

uygulamaları daha da ön plana çıkmaktadır. İşletmelerde yaşanması beklenen dijital değişimlerle ilgili çalışmalarda, sisteme bağlı altyapıların değişmesi, sistemin kontrol edilmesi, süreç iyileştirme çalışmalarında sürece dayalı risklerin belirlenmesi, gerekli kontrollerin yapılması ürün ve hizmet geliştirme çalışmalarının doğru zamanda yapılması ve işletmelerin tümüne yayılmasının sağlanması, iç denetimle ilgili profesyonel destek alınması, yeni ürünlerle veya hizmetlerle ilgili inovasyon çalışmalarının yapılması ve bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde işletme çalışanlarına ve paydaş olan firmalara gerekli desteklerin verilmesi gerektiği görülebilmektedir. İSG kapsamında iş kazalarından en az zararla kurtulabilmek için, işletmelerin güvenlik odaklı yaklaşım içerisinde olmaları, organizasyon içerisinde güvenlik şartlarını en üst düzeyde tutmaları gerekmektedir. İşletmelerde güvenlik çalışmalarında İSG'yi geliştirmek için çeşitli faaliyetler yürütülmelidir. Bu faaliyetler; iş proseslerinde yapılan değişiklikler için güvenlik değerlendirmelerinin yapılması, iş kazalarının ve olayların detaylı bir şekilde incelenmesi, kaza nedenlerinin daha iyi analiz edilerek kaza kök nedenlerinin doğru olarak tespit edilmesi, kurumlarda güvenlik kültürünün oluşturulması ve liderlik programlarının uygulanması, işletmelerde veya organizasyonlarda tehlikeleri ve riskleri azaltmak için engelleyici analizlerin yapılması beklenmektedir. Bu tür uygulamalar sonucunda çalışma ortamları genellikle güvenli ortamlara dönüşmekte ve hataları tolere edebilen bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları sayesinde çalışanların kişisel hatalarının azaltılabileceği ve zaman tasarrufunun sağlanabileceği görülmektedir. Bu tür uygulamaların üretkenliği artırdığı, zaman, iş gücü ve maddi kayıpları en aza indirebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, ülkemizdeki İSG ile ilgili çalışmalarda Yapay Zekâ Teknolojilerinin ve Uzman Sistemlerin Uygulamalarının programlanabilir bir şekilde yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Teşekkür

11372 ID numaralı Yüksek Lisans projesi kapsamında sağladığı destekten dolayı Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAPKO) şükranlarımızı sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazarlar makale hazırlanmasındaki tüm aşamalarda ortak katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Abbass, H.A. (2001). "MBO: Marriage in honey bees optimisation: A haplometrosis polygynous swarming approach", *In Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation—CEC*, 27–30 May, (pp. 207–214). Seoul, Korea.
- Abdechiri, M., Meybodi, M.R., & Bahrami, H. (2013). "Gases Brownian Motion Optimization: An Algorithm For Optimization (GBMO)." *Applied Software Computational*, Volume 13, Issue 5, May 2013, Pages 2932-2946. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.068> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494612001834>
- Adair, C., & Briggs, S. A. (1993). The concept and application of expert systems in the field of microbiological safety. *Journal of Industrial Microbiology*, 12, 263-267.
- Agarwal, M., & Goel, S. (2014). Expert system and it's requirement engineering process. IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), May 09-11, 2014, Jaipur, India. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6909306>
- Akan, E., & Dalbay, N. (2015). Lojistik Sektöründe Kalite ve İş Sağlığı-Güvenliği Yönetim Sistemleri: Bir Araştırma. *Beykoz Akademi Dergisi*, 3(1), 21-66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/949559>
- Akar, Ö. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Uygulamaları. 1. *Uluslararası Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Kongresi*, Online Congress, Proceeding Book, 244-249. İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye. https://acikerisim.ikcu.edu.tr/yayinaea/yapay%20zeka_62c3e6a2b9dd5.pdf
- Akman, S. (2024). Yapay Zekâ Tabanlı İSG Analizleri ile İş Güvenliği Kültürünün Arttırılması, TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 411. Bülten, İzmir. <https://bulten.mmoizmir.org/bultenler/411/yapay-zeka-tabanlı-isg-analizleri-ile-is-guvenligi-kulturunun-arttirilmesi> (Çalışma içerisindeki intenseye teknolojisi ile ilgili alıntılanmış görüntüler, sadece eğitim amaçlı alıntılanmış intenseye firmasının görüntüleridir ve yukarıda paylaşılan internet sitesinden alıntılanmıştır. TİSK ve TİSK MCV, Intenseye iş birliğiyle hayata geçirilen İSG Teknolojilerini Yaygınlaştırma Projesi kapsamında 2022 yılında başlatılan "Türkiye'nin Sıfır Kazaya Yolculuğu" Projesi ile İSG Raporu olarak sunulan bilgiler ve görüntüler çalışmada kullanılmış ve alıntılanmıştır. Konuyla ilgili gerekli olabilecek tüm atıflar çalışma içerisinde paylaşılmıştır). Intenseye Inc. Intenseye GmbH, New York, USA, 2025.

- Alaeddinoğlu, M. F., Sincar, S., & Naralan, A. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizi ve Değerlendirmesi İçin Geliştirilmiş Bir Karar Destek Sistemi (Yapay Sinir Ağı)-Atatürk Üniversitesi Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 275–292. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211151>
- Allahverdi, N. (2002). Uzman Sistemler Bir Yapay Zekâ Uygulaması, Atlas Yayın Dağıtım, Atlas Akademik Yayıncılık, Ankara. ISBN: 975-6574-10-0. <https://www.nobelyayin.com/uzman-sistemler-bir-yapay-zeka-uygulamasi-2127.html>
- Amazon, (2020). Amazon Tarafından Kullanılan Teslimat Aracı. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>
- Amiri, M., Ardeshtir, A., & Fazel Zarandi, M. H. (2017). Fuzzy probabilistic expert system for occupational hazard assessment in construction. *Safety Science*, 93, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.008> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753516304970?via%3Dihub>
- ASBÜ, (2017). İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Nedir. <https://isg.asbu.edu.tr/tr/isg-nedir>
- Atabey, (2019). İş Kazası Örnekleri. <https://volkanatabey.com.tr/is-kazasi-ornekleri/>
- Atalay, F. (2015). The History of the Coal Mining Industry and Mining Accidents in the World and Turkey. *Turkish Thoracic Journal*, 16(1): 5-8.
- Ateş, D. (2008). Industrial revolution: Impetus behind the globalization process. Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2008; 31-48. <https://doaj.org/article/05e60fd48d7546b4bdaee2029e8fd163>
- Auyong, H., Zailani, S., & Surienty, L. (2011). Safety and health management in logistics: literature review and future research. *Journal of System and Management Sciences*, 1(3), 9-20. ISSN 1816-6075 (Print), 1818-0523 (Online) https://www.aasmr.org/jsms/Vol1/No%203/JSMS_Vol1_No3_2.pdf
- Ayan, B., Taşçı, S., & Köksal, E. B. M. (2024). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Kullanılan Yapay Zekâ Teknolojilerine İlişkin İnceleme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 15(2), 20-33. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3984369>
- Ayanoğlu, C.C., & Kurt, M. (2019). Metal Sektöründe Veri Madenciliği Yöntemleri ile Bir İş Kazası Tahmin Modeli Önerisi. *Ergonomi*, 2(2), 78–87. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/763288>
- Ayhan, B. U., & Tokdemir, O. B. (2019). Safety assessment in megaprojects using artificial intelligence. *Safety Science*, 118, 273–287. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753519304941>
- Aylak, B. L., Oral, O., & Yazıcı, K., (2021). Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 8, No: 1, 2021 (74-93), ISSN:2148-3736. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1224333> (Qopius bilgisayarla görme örneği-Qopius ile görselleştirilmiş raf görüntüsü. <https://www.qopius.com/technology>, <https://www.qopius.com/>).
- Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. *Information Sciences*, 178(22), 4280–4300. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.06.026> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025508002557>
- Azadeh, A., Rouzbahman, M., Saberi, M., & Valianpour, F. (2014). An adaptive algorithm for assessment of operators with job security and HSEE indicators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 31, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jlpp.2014.05.004> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423014000783>
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H. (2017). *Lojistik yönetimi*. Beta Yayıncılık, İstanbul. ISBN: 9786052420195.
- Baker, C., Morris, A., Ferguson, D., Thayer, S., Whittaker, W., Omohundro, Z., ... & Thrun, S. (2004). A campaign in autonomous mine mapping. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Vol. 2, sayfa. 2004-2009). https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/baker_christopher_2004_1/baker_christopher_2004_1.pdf
- Baron, P., Brázda, P., Dobránsky, J., & Kočiško, M. (2012). Expert system approach to safety management. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 44, 77-88. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-information-and-communication-technologies/44/23932>
- Başak, H., Şahin İ., & Gülen, M. (2008). İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesi İçin Uzman Sisteme Dayalı Risk Yönetimi Modeli. *Teknoloji*, 11(3), 187–200. https://www.researchgate.net/publication/348976748_Insansiz_hava_araci_kazalarinin_onlenmesi_icin_uzman_sistemedayali_risk_yonetim_modeli

- Baylan, Ö. Ü. M. & Karaçevirgen, Ö. G. T. (2019). Lojistik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye Örneği. *II. Uluslararası Kahramanmaraş Yönetim, Ekonomi ve Siyaset Kongresi*, s.184-202 Kahramanmaraş.
- Beriha, G. S., Patnaik, B., Mahapatra, S. S., & Padhee, S. (2012). Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3311–3323. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.018> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411013273>
- Bozkurt, Y., & Naycı, G. (2021). Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarında Cinsiyet Faktörü. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 12(1), 174-191. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1594326>
- Bulut, M., & Başoğlu, B. (2017). Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 575-583. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/316487>
- Caner Akın, G., Duman, İ., & Alkan, Ü. (2021). İnşaat Sektöründe İş Kazalarının Yapay Sinir Ağı ile Değerlendirilmesi: İstanbul İlinde Bir Örnek Uygulama. *Ergonomi*, 4(3), 162-167, 2021. e-ISSN: 2651-4877 <https://doi.org/10.33439/ergonomi.989974> <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1953085>
- Cengiz, Ö., & Akşit, İ. (2023). Türkiye Lojistik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi: İş Kazası ve İstihdam Verileri Üzerine Bir Değerlendirme. *Beykoz Akademi Dergisi*, 2023; 11(1), 198-215 DOI: 10.14514/beykozad.1235755 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2894803>
- Ceylan, H. (2014). Türkiye’de İnşaat Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 6(1), 1-6. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/353743>
- Che, C., Hu, H., Zhao, X., Li, S. & Lin, Q. (2023). Advancing cancer document classification with random forest. *Academic Journal of Science and Technology*, 8(1), 278-280. <https://doi.org/10.54097/ajst.v8i1.14333>
- Corpus Sigorta, (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Etkisi. <https://corpussigorta.com.tr/blog/is-dunyasi/is-sagligi-ve-guvenligi-alaninda-yapay-zeka-etkisi-281>
- ÇASGEM, (2024). Geleceğin İş Sağlığı ve Güvenliği: Yapay Zekâ ile Yeni Yaklaşımlar Konferansı. <https://casgem.gov.tr/haberler/gelecegin-%C4%B1s-sagligi-ve-guvenligi-yapay-zeka-ile-yeni-yaklasimlar-konferansi-1/>
- ÇSGB, (2025a). İş Kazaları. <https://guvenliinsaat.csgb.gov.tr/sektor-hakkinda/is-kazalari/>
- ÇSGB, (2025b). İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği. <https://guvenliinsaat.csgb.gov.tr/>
- Demir, E. (2009). Metal iş kolunda meydana gelen iş kazaları ve iş kazalarının oluşturduğu, kayıpların ekonomik yönden analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=X00c4nPgd38QltmRupChOa&no=5_fNXxEnrtSkW2kd1t_hwFw
- Diemert, S. & Weber, J. H. (2023). Can Large Language Models assist in Hazard Analysis? Arxiv, s. 1-13. <https://arxiv.org/pdf/2303.15473>
- Ekmekçi, İ., & Ekmekçi, A.B. (2020). “Endüstri 4.0 ve İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yeni Teknolojiler: İSG 4.0”. *Sektörlerin ve Mesleklerin Geleceği*. İstanbul: Hiperlink Eğt İlet. Yay. Gıda San. ve Paz. Tic. Ltd. Şti, (pp. 82-144).
- Erin, E., Caner Akın, G., & Alkan, Ü. (2023). Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1): 749-775, 2023 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2543286>
- EU-OSHA, (2019). Digitalisation and Occupational Safety and Health (OSH), An EU-OSHA research programme, European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fbab9f56-3035-11ea-af81-01aa75ed71a1>
- EU-OSHA, (2022). Artificial intelligence for worker management: implications for occupational safety and health, Report, European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA, <https://osha.europa.eu/en/publications/artificial-intelligence-worker-management-implications-occupational-safety-and-health>
- Fisher, E., Flynn, M. A., Pratap, P. & Vietas, J. A. (2023). Occupational Safety and Health Equity Impacts of Artificial Intelligence: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*, 20(6221), 28. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10340692/pdf/ijerph-20-06221.pdf>
- Fizyr, (2025). Sipariş Toplama Robotları, <https://fizyr.com/product/> <https://fizyr.com/blog/computer-vision-improving-worker-safety-eliminating-heavy-lifting/>
- Flaherty, J. E. (2009). Toxicogenomics and workers' compensation: A reworking of the "bargain"? *Journal of Health Care Law and Policy*, 12(2), 267-294.

- Fu, G., Xie, X., Jia, Q., Li, Z., Chen, S., & Ge, Y. (2020). The development history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model. *Process Safety and Environmental Protection*, 134, 47–82. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020PSEP..134..47F/abstract> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019315125?via%3Dihub>
- Gupta, I., & Nagpal, G. (2020). *Artificial Intelligence and Expert Systems*. Mercury Learning & Information. Stylus Publishing, LLC. (pp. 1-412). ISBN: 978-1-68392-507-1 <https://www.amazon.com/Artificial-Intelligence-Expert-Systems-Gupta/dp/1683925076>
- Güllüoğlu, E. N., & Güllüoğlu, A. (2019). Türkiye’de Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2019, 1: 70-82 DOI: 10.7240/jeps.486478 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/693960>
- Gürcanlı, E. (2015). İnşaat Sektöründe Gerçekleşen Ölüm ve Yaralanmaların Analizi. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG)*, 13(48). 20-29. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/821798>
- Hadjimichael, M. (2009). A fuzzy expert system for aviation risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6512–6519. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417408005046>
- Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(11), 917–926. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037> <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ajim.23037>
- Hua, H., & Zhang, Z. (2019). Application of Artificial Intelligence Technology in Short-range Logistics Drones. 1-4. 8th International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE), Zhengzhou, China. DOI:10.1109/ISNE.2019.8896417 https://www.researchgate.net/publication/337504829_Application_of_Artificial_Intelligence_Technology_in_Short-range_Logistics_Drones
- İçen, D., & Günay, S. (2014). Uzman Sistemler ve İstatistik. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik&Aktüerya* 7 (2014) 37-45. Aktüerya Derneği. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/460646>
- İsgbysuzaktanegitim, (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Yapay Zekâ Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Teknokent, Gölbaşı, Ankara. <https://www.isgbysuzaktanegitim.com/blog/isg-yapay-zeka>
- Jarota, M. (2023). Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective. *Computer Law ve Security Review*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364923000353>
- Jeelani, I., Asadi, K., Ramshankar, H., Han, K., & Albert, A. (2021). Real-Time Vision-Based Worker Localization & Hazard Detection For Construction. *Automation in Construction*, 121,103448. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103448> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310281>
- Jilcha, K., & Kitaw, D. (2016). A Literature Rewiev on Global Occupational Safety And Health Practice And Accidents Severity. *International Journal for Quality Research*, 10(2), 279–310. ISSN 1800-6450. <http://ijqr.net/journal/v10-n2/4.pdf>
- Karadağ, T., & Kepekli, T. A. (2018). İnşaat Sektöründe Yaşanan İş Kazaları ve Kaza Nedenleri. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 314-322. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/773249>
- Khan, N., Saleem, M. R., Lee, D., Park, M. W., & Park, C. (2021). Utilizing Safety Rule Correlation For Mobile Scaffolds Monitoring Leveraging Deep Convolution Neural Networks. *Computers in Industry*, 129, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103448> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361521000555?via%3Dihub>
- Koçar, O., & Dizdar, E. N. (2018). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemlerinde Risklerin Yapay Sinir Ağlarıyla Değerlendirilmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6 (3), 73-83. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/535085>
- Kürekçi, M. (2020). Lojistik Deposunda Gerçekleşen Kimyasal Kaza ile İlgili Basın Açıklaması Gerçekleştirildi. Murat Kürekçi-TMMOB Kocaeli İl Koordinasyon Kurulu Sekreteri. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Makine Mühendisleri Odası (MMO) Kocaeli Şubesi. <https://mmo.org.tr/kocaeli/basin-aciklamasi/lojistik-deposunda-gerceklesen-kimyasal-kaza-ile-ilgili-basin-aciklamasi>
- Lee, K., & Han, S. (2021). Convolutional Neural Network Modeling Strategy For Fall-Related Motion Recognition Using Acceleration Features of A Scaffolding Structure. *Automation in Construction*, 130, 103857. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103857> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521003083>

- Lilić, N., Obradović, I., & Cvjetić, A. (2010). An intelligent hybrid system for surface coal mine safety analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4), 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2010.01.025> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197610000436>
- Longinos, M., & Widlund, J. (2024). *How AI can be used for OSHA regulations*. <https://civils.ai/blog/ai-for-osharegulations>
- Mança, S. (2024). İnşaat Sektöründe Yapay Zekâ Benimseme Oranları Artıyor. <https://tr.linkedin.com/pulse/in%C5%9Faat-sekt%C3%B6r%C3%BCnde-yapay-zeka-benimseme-oranlar%C4%B1-art%C4%B1yor-sedat-man%C3%A7a-gom4f>
- Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Parli, V., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Shoham, Y., Wald, R., & Clark, J. (2024). "The AI Index 2024 Annual Report", AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, USA, April 2024. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf
- Meciarova, J. (2011). Expert System for Assessing Health Hazards of Metalworking Fluids. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium* (Vol. 22), 0461-0462. https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2011/229.pdf
- Motorcu, A. R., Kayır, Y., & Murat, B. (2021). *İş Sağlığı ve Güvenliği Faaliyetlerinde Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi*. 5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi (pp. 240-248). İstanbul, Turkey. <https://avesis.gazi.edu.tr/yayin/f6237995-e337-4eda-9c85-b6d066a1c7f8/is-sagligi-ve-guvenligi-faaliyetlerinde-yapay-zeka-ve-uzman-sistem-uygulamalarinin-degerlendirilmesi>
- Oğur, İ. (2024). İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Yapay Zekâ Uygulaması, <https://haberisg.com/isg-gundem/is-sagligi-ve-guvenligi-calismalarinda-yapay-zeka-uygulamasi/>
- Okudan, O., Budayan, C., & Dikmen, I. (2021). A knowledge-based risk management tool for construction projects using case-based reasoning. *Expert Systems with Applications*, 173, 114776, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114776> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417421002177>
- Oracle, (2021). Yapay Zekâ Nedir? Yapay Zekâ hakkında bilgi edinin. <https://www.oracle.com/tr/artificial-intelligence/what-is-ai/>
- Özaslan, B. Ö. (2011). *İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerde Bir Araştırma*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yayımlanmış Doktora Tezi, İstanbul. <https://nek.istanbul.edu.tr/ekos/TEZ/47858.pdf>
- Öztürk, T., & Heperkan, H. A. (2021). İnşaat İş Kazalarının Şiddetini Etkileyen Faktörlerin Mevsimsel Farklılıklara Gore Değerlendirilmesi. *Ergonomi*, 4(2), 72-87. e-ISSN : 2651 - 4877. DOI: 10.33439/ergonomi.934656 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1758370>
- Patel, D. A., & Jha, K. N. (2014). Neural Network Model for The Prediction of Safe Work Behavior in Construction Projects. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 141(1), 04014066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000922](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000922) <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000922>
- Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A., & Veselinovic, M. (2016). An ergonomic expert system for risk assessment of work-related musculo-skeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.008> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016981411530055X>
- Pishgar, M., Issa, S. F., Sietsema, M., Pratap, P., & Darabi, H. (2021). REDECA: A Novel Framework to Review Artificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6705), 42. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8296875/pdf/ijerph-18-06705.pdf>
- Policy Brief, (2021). Impact of Artificial Intelligence On Occupational Safety and Health, European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), https://osha.europa.eu/sites/default/files/Policy-brief-Impact-AI-OSH_EN.pdf
- Robinson, A. (2020). The Top 5 Changes That Occur with AI in Logistics. <https://cerasis.com/ai-in-logistics/>
- Russell, S., & Norvig, P. (2003). "Artificial Intelligence A Modern Approach", Pearson Education Inc, ISBN:0-13080302-2, second edition, 1081 p., USA.
- Quentic, (2023). *Artificial intelligence in risk and safety management*. <https://www.quentic.com/articles/ai-in-risk-and-safety-management/>
- Sağbaş, E. A., Ballı, S., & Yıldız, T. (2016). "Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünyü, Bugünü ve Geleceği." *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, Konferans Bildiri Kitabı, 749-756, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye. <https://ab.org.tr/kitap/ab16.pdf>

- Sattari, F., Macciotta, R., Kurian, D., & Lefsrud, L. (2021). Application of Bayesian Network And Artificial Intelligence To Reduce Accident/Incident Rates In Oil & Gas Companies. *Safety Science*, 133, 104981, 1-11. https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/events/sattari_macciotta_kurian_lefsrud_2020_application_of_bayesian_network_and_ai_in_reducing_accident_rates.pdf
- Savadkoobi, M., Oladunni, T., & Thompson, L. A. (2021). Deep Neural Networks for Human's Fallrisk Prediction using Force-Plate Time Series Signal. *Expert Systems with Applications*, 115220. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115220> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417421006539>
- Sekmen, M., & Zengin, M. A. (2023). Türkiye Madencilik Sektörü İş Kazalarının Analizi ve Gelecek Perspektifleri. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2023, 35(2): 246-258. DOI: 10.7240/jeps.1242698 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2918615>
- SGK, (2022). İş kazası. <https://sgk.gov.tr/Content/Post/7b0b48c6-ceba-472b-8011-c4a9b3125133/Is-Kazasi-2025-02-27-10-08-15>
- Şahinkaya, S. (2015). Ana Metal Sanayisi-Türkiye Kalkınma Bankası. <https://www.yumpu.com/tr/document/view/37107074/ana-metal-sanayisi-turkiye-kalknma-bankas>
- Şengöz, T. E., & Bozkurt, Y. (2025a). Günümüz Teknolojisinde Madencilik, Metal Endüstrisi ve Malzeme Tasarımında Yapay Zekâ Kullanımı. *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Dergisi*, 2(2), 33-62. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4365233>
- Şengöz, T. E., & Bozkurt, Y. (2025b). Yerbilimleri Çalışmalarında Yapay Zekâ Kullanımı ve Mühendislik Projelerindeki Uygulama Örnekleri-The Use Of Artificial Intelligence In Geoscience Studies And Application Examples In Engineering Projects. *5. Uluslararası Topkapı Bilimsel Araştırmalarda Güncel Gelişmeler Kongresi*, 19-21 Mart, 2025. İstanbul. *International Topkapı Congress-V*, March 19-21, 2025. İstanbul. Kongre Bildiriler Kitabı-Proceedings Book, 704-718. ISBN: 979-8-89695-051-6 https://www.izdas.org/files/ugd/614b1f_50facb09fa7849848aa536a1a176c0ec.pdf https://www.researchgate.net/publication/390695505_Yerbilimleri_Calismalarinda_Yapay_Zeka_Kullanimi_ve_Muhendislik_Projelerindeki_Uygulama_OrnekleriThe_Use_Of_Artificial_Intelligence_In_Geoscience_Studies_And_Application_Examples_In_Engineering_Projec
- Taçgın, E., & Sağır, Z. (2020). Development of an intelligent knowledge base for identification of accident causes based on Fuzzy et al.'s model. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-18. DOI: 10.1080/10803548.2020.1831786 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33034272/>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (MBS, 2006). Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu. Kanun Numarası: 5510. Kabul Tarihi: 31.05.2006. Yayımlandığı Resmî Gazete Tarihi: 16.06.2006. Sayı: 26200. Yayımlandığı Düstur: Tertip:5 Cilt: 45. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5510.pdf>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (MBS, 2012). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Kanun Numarası: 6631. Kabul Tarihi: 20.06.2012. Yayımlandığı Resmî Gazete Tarihi: 30.06.2012. Sayı: 28339. Yayımlandığı Düstur: Tertip:5 Cilt: 52 <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- Tempus Corporation, (2024). Tempus Technology. Tempus: <https://www.tempus.com/about-us/tempus-tech/>
- TİSK, (2023). Türkiye'nin Sıfır Kazaya Yolculuğu, İSG Raporu. (TİSK, Mikrocerrahi ve Rekonstrüksiyon Vakfı, intenseye). <https://www.tisk.org.tr/dokuman/turkiyenin-sifir-kazaya-yolculugu.pdf>
- Tokdemir, O. B., & Ayhan, B. U. (2019). Keskin Bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma Kazalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 323-334. <https://doi.org/10.24012/dumf.466493>
- Turban, E. (1993). Decison support systems, Third edit. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA.
- Türker, M., & Kanıt, R. (2020). Yapı Üretim Sürecindeki İş Kazaları Şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu ile Tahmini. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 943-956. ISSN: 2667-8055 (Elektronik). DOI: 10.36306/konjes.764952 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1189739>
- UNESCO-UNEVOC, (2021). *Understanding the impact of artificial intelligence on skills development*. France-Germany: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; International Centre for Technical and Vocational Education and Training. https://unevoc.unesco.org/pub/understanding_the_impact_of_ai_on_skills_development.pdf
- Uşar, D., Uras, M., Ersoy, S., & Bozkurt, Y. (2018). Günümüzde Makineleşmenin İş Kazalarına Etkisi. *SETSCI-Conference Proceedings*, Vol. 2, pp. 361-365. Ist International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2018), Kemer-Antalya, Turkey. https://www.set-science.com/pdf_view.php?cacryn=ISAS%202018&cid=5&pid=249&fv=SETSCI_ISAS2018_005_00249

- Ünal, A. N. (2018). Bilgi Yönetim Sistemleri ve Siber Güvenlik. *International Journal of Social Inquiry*, 11(2), 375–394. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/607711>
- Wikipedia, (2025). Soma Faciası. https://tr.wikipedia.org/wiki/Soma_Facias%C4%B1 Fotoğraf: Mustafa Karaman (2014). https://tr.wikipedia.org/wiki/Soma_Facias%C4%B1#/media/Dosya:Soma_mine_disaster12.JPG
- Wu, H., Zhong, B., Li, H., Love, P., Pan, X., & Zhao, N. (2021). Combining Computer Vision With Semantic Reasoning For On-Site Safety Management in Construction. *Journal of Building Engineering*, 42, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103036> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221008949?via%3Dihub>
- Xie, X., Fu, G., Xue, Y., Zhao, Z., Chen, P., Lu, B., & Jiang, S. (2019). Risk prediction and factors risk analysis based on IFOA-GRNN and apriority algorithms: Application of artificial intelligence in accident prevention. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.019> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018307985?via%3Dihub>

Türkiye’de Yeşil Bina Sertifikasyonu: LEED Verileri Üzerinden Bir Değerlendirme

Green Building Certification in Turkey: An Evaluation Based on LEED Data

Sadık AKŞAR^{1*}

^{1*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Öğrencisi, Bursa, Türkiye

ÖZET

Yeşil bina kavramı, 20. yüzyılın sonlarından itibaren çevresel sürdürülebilirlik kaygılarının artmasıyla birlikte önem kazanmış ve enerji verimliliği, su tasarrufu, malzeme seçimi ve iç mekân kalitesi gibi unsurları içeren bir tasarım anlayışına dönüşmüştür. Bu bağlamda, bina sektöründe çevresel performansı değerlendirmek amacıyla çeşitli sertifikasyon sistemleri geliştirilmiştir. Çalışmada, küresel ölçekte yaygın olarak benimsenmiş olması ve Türkiye’de en sık kullanılan sistem olması nedeniyle LEED sertifikasyonu ele alınmıştır.

Bu araştırma, Türkiye’deki LEED sertifikalı binaların sayısını ve dağılımını küresel veriler ışığında inceleyerek, ülkenin mevcut konumunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, USGBC tarafından yayımlanan Mart 2025 verileri temel alınarak, bina tipleri, sertifika seviyeleri ve dağılım analizleri yapılmıştır. Bulgular, Türkiye’de LEED sertifikalı yapıların büyük ölçüde ticari yapılarla sınırlı kaldığını ve üst seviyeli sertifikaların nispeten düşük oranlarda alındığını göstermektedir.

Sonuç olarak, Türkiye’nin sürdürülebilir bina sertifikasyonu alanında gelişim gösterebilmesi için teşvik mekanizmalarının güçlendirilmesi, sertifikasyon süreçlerinin daha erişilebilir hale getirilmesi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunun artırılması gerekmektedir. Bu adımlar, Türkiye’nin küresel yeşil bina standartlarıyla uyumunu güçlendirecektir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, LEED sertifikası, Sürdürülebilir çevre, Yeşil bina uygulamaları, Çevresel performans değerlendirmesi

ABSTRACT

The concept of green buildings has gained significance since the late 20th century, driven by increasing concerns over environmental sustainability. It has evolved into a design approach encompassing energy efficiency, water conservation, material selection, and indoor environmental quality. In this context, various certification systems have been developed to assess the environmental performance of buildings. This study focuses on the LEED certification system, given its widespread global adoption and its status as the most commonly used system in Turkey.

This research aims to analyze the number and distribution of LEED-certified buildings in Turkey in comparison with global data, providing an assessment of the country’s current position. The study is based on data published by the USGBC in March 2025, examining factors such as building types, certification levels, and distribution patterns. The findings indicate that LEED-certified buildings in Turkey are predominantly limited to commercial structures, with higher certification levels being achieved at relatively low rates.

In conclusion, for Turkey to advance in the field of sustainable building certification, it is essential to strengthen incentive mechanisms, make certification processes more accessible, and enhance the integration of renewable energy systems. These steps will help align Turkey with global green building standards and promote the wider adoption of sustainable certification practices.

Keywords: Sustainable environment, LEED green building certification, Energy efficiency, Green building practices, Environmental performance assessment

1. GİRİŞ

Son yıllarda küresel çevresel sorunlar ve iklim değişikliği, yapı sektöründe daha sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamaların benimsenmesini zorunlu hale getirmiştir. Artan enerji tüketimi, karbon salınımı ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, yapıların çevresel etkilerinin minimize edilmesi yönündeki çalışmaları hızlandırmıştır. Bu bağlamda, sürdürülebilir bina uygulamaları enerji verimliliği, su tasarrufu, yenilenebilir enerji kullanımı, karbon salınımının azaltılması ve iç mekân konforunun artırılması gibi çok boyutlu kriterleri içeren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Yeşil bina sertifikasyon sistemleri, bu sürdürülebilirlik kriterlerini değerlendirmek ve binaların çevresel performansını ölçmek amacıyla geliştirilmiş önemli araçlar arasında yer almaktadır.

Bu sistemler arasında en yaygın ve uluslararası alanda kabul gören sertifikasyonlardan biri LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)'dir. USGBC (United States Green Building Council - ABD Yeşil Binalar Konseyi) tarafından geliştirilen LEED, bina tasarımı, yapımı ve işletimi açısından küresel bir standart haline gelmiş olup, enerji ve su kullanım verimliliği, iç hava kalitesi, sürdürülebilir malzeme seçimi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi kriterler doğrultusunda yapıların sürdürülebilirlik performansını değerlendiren kapsamlı bir sistemdir. LEED sertifikasyonu, farklı bina tiplerine ve kullanım amaçlarına göre çeşitli seviyelerde verilebilmekte olup, platin, altın, gümüş ve sertifikalı olmak üzere dört ana kategoriye ayrılmaktadır.

Türkiye'de yeşil bina sertifikasyon sistemleri arasında en yaygın olarak tercih edilen sistem LEED'dir. Türkiye'de yeşil bina uygulamalarının gelişimi, uluslararası sürdürülebilirlik kriterlerine uyum sağlama çabaları ve artan çevresel bilinçle birlikte giderek ivme kazanmıştır. Ancak, bu süreçte ekonomik faktörler, sertifikasyon maliyetleri, düzenleyici çerçeveler ve teşvik mekanizmaları gibi unsurlar, yeşil bina sertifikasyonlarının yaygınlaşmasında belirleyici olmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'de LEED sertifikasına sahip binaların mevcut durumunu, sertifikasyon sürecini ve bina tiplerine göre dağılımını inceleyerek sürdürülebilir mimarlığın geleceğine dair çıkarımlarda bulunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, USGBC tarafından Mart 2025 itibarıyla yayımlanan güncel veriler analiz edilerek, Türkiye'deki LEED sertifikalı binaların dağılımı, sertifika seviyeleri ve bina tipleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Verilerin Excel ortamında grafiklerle görselleştirilmesi, elde edilen bulguların daha anlaşılır hale gelmesini sağlamaktadır.

Bu araştırma, Türkiye'deki LEED uygulamalarının mevcut durumunu ortaya koyarak, sürdürülebilir bina tasarımı alanında gelecekte atılması gereken adımlara dair yol gösterici öneriler sunmayı hedeflemektedir. Aynı zamanda, yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin bina sektöründeki rolünü vurgulayarak, bu sistemlerin daha geniş kitlelere yayılmasını teşvik edecek politikaların geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

İnsanın en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma, küresel ölçekte önemli bir sorundur ve bu ihtiyacı karşılamak amacıyla inşa edilen yapılar, dünya üzerinde kalıcı ve geri dönülemez değişimlere yol açmaktadır. Günümüzde, küresel iklim değişikliği ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, her geçen gün daha fazla hissedilen bir gerçektir. Yükselen deniz seviyeleri, artan şiddetli hava olayları, kuraklık ve hastalıkların yaygınlaşması, bu değişimlerin sadece birkaç örneğidir. Bu durumlar, insanların yaşamlarını doğrudan etkileyerek, sürdürülebilirlik anlayışını yeniden şekillendirmektedir (Gökbağ ve Yıldız, 2016).

Yeşil yapılar, çevresel sürdürülebilirlik ilkesine dayalı olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş binalardır. Bu yapıların temel amacı, çevreye duyarlı, enerji verimli ve insan sağlığını iyileştiren alanlar yaratmaktır. Yeşil yapıların ortaya çıkışı, 20. yüzyılın sonlarına doğru çevre kirliliği ve doğal kaynakların tükenme tehlikesi gibi küresel sorunların farkına varılmasıyla hız kazanmıştır (United Nations Environment Programme, 2009).

Yeşil yapıların ilk adımları, özellikle inşaat sektörünün enerji tüketimi ve doğal kaynaklar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik olarak atılmaya başlanmıştır. Birçok ülkede, çevre dostu malzemelerin kullanımına teşvikler ve binaların enerji verimliliğini artıracak yönetmeliklerin getirilmesi, yeşil yapıların gelişimini desteklemiştir. Bu süreç, hem yerel hem de küresel ölçekte çevresel bilincin artmasına yardımcı olmuştur (United Nations Environment Programme, 2009).

Yeşil yapıların ilk uluslararası standartları, özellikle LEED sertifikası ile şekillenmiştir. 1998 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde başlatılan LEED sertifikası, dünyadaki pek çok yeşil yapının öncüsü olmuştur. Türkiye'de ise, yeşil yapıların yaygınlaşması daha geç başlamış olsa da, günümüzde büyük bir ivme kazanmıştır. ÇEDBİK (Çevre Dostu Binalar Derneği) gibi yerel kuruluşlar, Türkiye'deki yeşil bina projelerini desteklemek ve tanıtmak

adına önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye’de, LEED, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method - Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Yöntemi) gibi uluslararası sertifikasyon sistemleriyle birlikte, yerel sertifikalar da kullanılmaya başlanmıştır (US Green Building Council, 2015; ÇEDBİK, n.d.).

Yeşil yapıların sadece çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin ötesinde, insan sağlığına olan olumlu etkileri de ön plana çıkmaktadır. İç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi, doğal ışık kullanımının artırılması ve iç mekan sıcaklık düzenlemeleri gibi faktörler, yeşil binalarda yaşam kalitesini artırmak için dikkate alınan unsurlar arasında yer almaktadır. Bu, bina sakinlerinin daha sağlıklı ve verimli bir yaşam sürmelerine olanak tanımaktadır (Johnston ve Gibson, 2008).

Bugün, yeşil binalar yalnızca çevre dostu yapılar olarak değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da verimli çözümler olarak kabul edilmektedir. Uzun vadede enerji tasarrufu ve düşük işletme maliyetleri, yeşil yapıların ekonomik avantajlarından yalnızca birkaçıdır. Ayrıca, yeşil binaların değerinin artması ve sürdürülebilirlik alanındaki yasal düzenlemeler, yeşil yapıların yaygınlaşmasında etkili olmaktadır.

Sonuç olarak, yeşil yapıların gelişimi, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin birleşimiyle şekillenmiştir. Küresel iklim değişikliği, enerji krizi ve doğal kaynakların korunması gibi sorunlarla mücadele etmek adına yeşil yapıların önemi giderek daha fazla anlaşılmaktadır. Türkiye de bu alanda önemli bir yol kat etmiş ve yeşil yapıların artan sayısıyla sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır.

2.1. Dünya Geneline Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Kullanımı ve Tercih Edilme Sıklığı

Yeşil bina sertifikasyon sistemleri, yapıların çevresel etkilerini değerlendiren ve sürdürülebilirlik kriterlerine uygunluğunu belgeleyen programlardır. Dünya genelinde farklı bölgelerde çeşitli sertifikasyon sistemleri geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Bu makalede, en yaygın kullanılan yeşil bina sertifikasyon sistemleri, sertifikalandırılan bina sayıları ve bölgesel tercih edilme sıklıkları ele alınacaktır.

Sertifikalandırma uygulamalarının ilki, 1989’da İngiltere’de başlatılan BREEAM ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, bir yapının çevresel performansını ölçmek amacıyla tasarlanmış olup, Yeşil Bina kavramına standart bir tanım getirerek kısa sürede başarı elde etmiştir. BREEAM, aynı zamanda LEED gibi diğer sertifikalandırma sistemlerinin temellerini atmıştır (Gökbağ ve Yıldız, 2016).

2015 yılı itibariyle, İngiltere’de 250 binden fazla BREEAM sertifikalı bina bulunmaktadır ve 1 milyon bina da onay için sırada beklemektedir. Bu rakam, LEED sertifikalı binaların sayısının 20 katıdır. BREEAM, her tip yapının sertifikalandırılmasında kullanılabilir ve ayrıca belirli yapı tipleri için özel olarak tasarlanmış çeşitli sistemlere sahiptir. Ayrıca, BREEAM’in Hollanda, Norveç, İsveç ve İspanya gibi ülkeler için ülkeye özel formatları da mevcuttur. Bu sayılar ve sistemler, BREEAM’in geniş kapsamlı bir sertifikasyon süreci sunduğunu ve çeşitli ülkelerdeki farklı yapı ihtiyaçlarına uyum sağladığını göstermektedir (Kibert, 2008).

Projelerin denetlemesini gerçekleştiren kuruluşlar, iki sertifikalandırma sistemi arasındaki en temel farklardan birini oluşturur. LEED sertifikasında denetlemeler, Green Business Certification Inc. (GBCI) tarafından yapılırken, BREEAM denetçileri, gerekli eğitimi almış ve yetkilendirilmiş bağımsız kişilerden oluşmaktadır. Bu fark, LEED sisteminde ödediğiniz ücretin denetleme ücretini de kapsamasına karşın, BREEAM’de sertifika ücreti ile denetleme ücreti ayrı ayrı bütçe kalemlerini oluşturur. Dolayısıyla, bazı projelerde BREEAM sertifikası almak, LEED sertifikasına kıyasla daha yüksek maliyetler doğurabilmektedir (Gökbağ ve Yıldız, 2016).

- **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)**

LEED, 1998 yılında ABD Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilmiş olup, dünya genelinde en yaygın kullanılan yeşil bina sertifikasyon sistemlerinden biridir (U.S. Green Building Council, 2023). LEED sertifikası, enerji verimliliği, su tasarrufu, malzeme seçimi ve iç mekân çevre kalitesi gibi kriterlere dayanmaktadır.

- **BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method - Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Yöntemi)**

BREEAM, 1990 yılında Birleşik Krallık’ta geliştirilmiş olup, Avrupa ve diğer bölgelerde yaygın olarak kullanılan en eski yeşil bina değerlendirme sistemidir (BRE, 2022). BREEAM, binaların çevresel performansını değerlendirmek için enerji, su, sağlık ve refah, kirlilik, ulaşım, malzemeler, atık, ekoloji ve yönetim gibi kategorilerde kriterler belirler.

- **DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi)**

DGNB, 2009 yılında Almanya’da geliştirilmiş olup, Avrupa’da giderek daha fazla tercih edilen bir

sertifikasyon sistemidir (DGNB, 2023). DGNB, çevresel, ekonomik ve sosyo-kültürel faktörleri eşit derecede önemseyerek, binaların sürdürülebilirlik performansını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirir.

- **Green Star (Yeşil Yıldız)**

Green Star, 2003 yılında Avustralya Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilmiş olup, özellikle Avustralya ve Okyanusya bölgesinde yaygın olarak kullanılan bir sertifikasyon programıdır (Green Building Council of Australia, 2023). Green Star, yönetim, iç mekân çevre kalitesi, enerji, ulaşım, su, malzemeler, arazi kullanımı ve ekoloji, emisyonlar ve yenilikçilik gibi kategorilerde değerlendirme yapar.

- **CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency - Yapılı Çevre Verimliliği İçin Kapsamlı Değerlendirme Sistemi)**

CASBEE, 2001 yılında Japonya'da geliştirilmiş olup, Japonya ve Asya bölgesinde yaygın olarak kullanılan bir yeşil bina değerlendirme sistemidir (Japan Sustainable Building Consortium, 2022). CASBEE, binaların çevresel kalite ve performansını değerlendirirken, enerji ve kaynak verimliliği, yük azaltma, çevresel yükleme ve iç mekân çevre kalitesi gibi kriterleri dikkate alır.

2.1.1. Bölgesel tercihler ve sertifikasyon sayıları

Farklı bölgelerde, yerel koşullar ve ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli yeşil bina sertifikasyon sistemleri tercih edilmektedir:

- **Kuzey Amerika:** LEED, ABD ve Kanada'da en yaygın kullanılan sertifikasyon sistemidir (USGBC, 2023).
- **Avrupa:** BREEAM, özellikle Birleşik Krallık ve Batı Avrupa ülkelerinde tercih edilirken, DGNB Almanya ve çevresinde yaygınlaşmaktadır (BRE, 2022; DGNB, 2023).
- **Asya:** CASBEE, Japonya'da standart olarak kabul edilirken, diğer Asya ülkelerinde farklı sistemler kullanılmaktadır (Japan Sustainable Building Consortium, 2022).
- **Okyanusya:** Green Star, Avustralya ve Yeni Zelanda'da en çok tercih edilen sistemdir (GBCA, 2023).

2.2. Türkiye'de Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Kullanım ve Tercih Edilme Sıklığı

Türkiye, 2021 yılında Avrupa'da yeşil bina sertifikaları konusunda ilk sıraya yerleşerek önemli bir başarıya imza atmıştır. Ayrıca, 2017 yılından itibaren yeşil bina sayısında dünyada ilk 10 ülke arasında yer almış ve 2019 yılında altıncı sıraya yükselmiştir (Şantiye Dergisi, 2021). Bu gelişme, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik alanında önemli bir adım attığını ve yeşil bina uygulamalarında küresel ölçekteki etkisini artırdığını göstermektedir. Bu başarı, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadeledeki kararlılığını ve gayrimenkul sektöründeki çevre dostu projelere verdiği önemi ortaya koymaktadır. Türkiye'nin yeşil bina sertifikalarındaki başarı, çevresel sürdürülebilirliği ve ekonomik verimliliği destekleyecek güçlü bir temel oluşturmakta, sektördeki değer artışını teşvik etmektedir. Bu süreç, daha fazla işbirliği ve yerel yönetimlerin desteğiyle hız kazanabilir.

Türkiye'de yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin kullanımı, küresel eğilimlerle paralellik gösterse de yerel dinamiklerden etkilenmektedir. En yaygın olarak kullanılan sertifikasyon sistemleri şunlardır:

- **LEED**

Türkiye'de en yaygın tercih edilen uluslararası yeşil bina sertifikasyon sistemidir. Özellikle büyük ölçekli ticari projeler, AVM'ler, ofis binaları ve oteller LEED sertifikası almayı hedeflemektedir. ABD merkezli olması nedeniyle küresel pazarda faaliyet gösteren firmalar tarafından daha fazla tercih edilmektedir (USGBC, 2023). USGBC tarafından elde edilen verilere göre Türkiye'de LEED tarafından sertifika almış bina sayısı 608 adettir (U.S. Green Building Council, 2025).

- **BREEAM**

Avrupa ile olan coğrafi ve ticari bağlar nedeniyle Türkiye'de bazı projelerde BREEAM tercih edilmektedir. Ancak, LEED kadar yaygın değildir. Genellikle konut ve ticari yapılar için kullanılmaktadır (BRE, 2022). BREEAM tarafından elde edilen verilere göre Türkiye'de BREEAM tarafından sertifika almış bina sayısı 71 adettir (BREEAM, 2025).

- **DGNB**

Türkiye'de nispeten daha az bilinen bir sertifikasyon sistemidir. Alman merkezli olması nedeniyle Alman yatırımcıların yer aldığı projelerde tercih edilmektedir (DGNB, 2023). DGNB tarafından elde edilen verilere göre Türkiye'de DGNB tarafından sertifika ön hazırlığında bulunan bina sayısı 1 adettir (DGNB, 2025).

Sonuç olarak, elde edilen veriler ışığında, Türkiye’de en yaygın şekilde kullanılan yeşil yapı sertifikasyon sistemi, 608 adet ile LEED sertifikasıdır. Türkiye’de en sık tercih edilmesinin ve tüm ülkelerle ilgili verilere erişim imkânının mevcut olmasının bir sonucu olarak, bu çalışmanın bulguları, LEED sertifikasyon sistemi üzerinden ele alınacaktır.

2.3. LEED Yeşil Yapı Sertifika Sistemi

LEED, sürdürülebilir bina tasarımı, inşası, işletimi ve bakımı için kullanılan bir değerlendirme sistemidir. Yeşil binaların çevresel etkilerini en aza indirerek doğal kaynakları verimli kullanmalarını teşvik eden bu sistem, gönüllü ve pazar tabanlı bir araç olarak geliştirilmiştir. LEED, konutlardan ticari yapılara, kurumsal binalardan mahalle ölçeğindeki projelere kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. 1993 yılında USGBC Rick Fedrizzi, Mike Italiano ve David Gottfried tarafından Washington’da kurulmuştur. Bu kuruluş; üyelik tabanlı, kâr amacı gütmeyen ve sürdürülebilir binaları teşvik eden, günümüzde ulusal ve uluslararası düzeyde sertifikasyon veren bir kuruluştur (USGBC, 2023; Yeşilbaş, 2014).

LEED sertifikasyon sistemi, ilk kez 1998 yılında USGBC tarafından geliştirilmiş olup, inşaat sektörünün sürdürülebilirlik konusunda ilerlemesini teşvik etmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu sistemin temel hedefi, yapı sektöründe kullanılan malzeme ve tekniklerin zaman içinde çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda dönüştürülmesini sağlamaktır. Böylece, doğaya en az zarar veren binaların inşa edilmesi teşvik edilmektedir (Bingöl, 2020).

LEED sertifikasyon sistemi, belirli aralıklarla güncellenerek gereksinimleri daha kapsamlı ve etkili hale getirilir. Sistemin ilk versiyonu olan LEED v1.0, 1998 yılında geliştirilmiştir. İlk sürümdeki eksikliklerin giderilmesiyle birlikte, 2000 yılında LEED v2.0 yayınlanmıştır. Ardından, 2002’de LEED v2.1 ve 2005’te LEED v2.2 sürümleri kullanıma sunulmuştur. 2009 yılında LEED v3.0, 2013 yılında ise LEED v4.0 hayata geçirilmiştir. Günümüzde en güncel versiyon olarak 2019 yılında duyurulan LEED v4.1 kullanılmaktadır (Arslan, 2015; USGBC, 2020).

LEED sertifikasyon sisteminde, başvuru yapılan kategoriye göre belirlenen kriterler doğrultusunda bir değerlendirme süreci yürütülür ve puanlama tablosu oluşturulur. Bu sistemde başvurular, toplamda 110 puan üzerinden değerlendirilir. Elde edilen puan, projenin hangi sertifika seviyesine hak kazandığını belirler. Bu doğrultuda, başvurular dört farklı seviyede sertifika alabilir (Bingöl, 2020).

2.3.1. LEED sertifika değerlendirme kategorileri

LEED sertifikası, projelerin çevresel performansını ölçmek için belirlenen puan sistemine göre verilmektedir. Sertifika düzeyleri, elde edilen puanlara bağlı olarak dört kategoride (Şekil 1) sınıflandırılır:

- Sertifikalı: 40-49 puan
- Gümüş: 50-59 puan
- Altın: 60-79 puan
- Platin: 80 puan ve üzeri

Bu sistem, yenilikçi ve çevre dostu uygulamaların benimsenmesini teşvik ederek sürdürülebilir yapılaşmayı desteklemeyi amaçlamaktadır (USGBC, 2023).



Şekil 1. LEED sertifikasyon sisteminin seviyeleri (Bingöl, 2020)

LEED sertifikası alan projelerde ifade edilen enerji ve su tasarruf oranları, bu projelerin Amerikan ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği) ve EPA (Environmental Protection Agency - Çevre Koruma Ajansı) standartlarına göre gerçekleştirilen projelerle kıyaslanması ile elde edilmektedir. Buna göre LEED sertifikasına

sahip olabilmek için en az %10 enerji verimliliği ve en az %20 su verimliliği önkoşuldur. Bu oranların üzerine çıkan tasarruflar ise puanlandırılır. LEED (yeni binalar) sertifikasında su verimliliği kredisi toplam puanların %11'ini oluştururken, enerji kredisi ise toplam puanların %32'sini oluşturmaktadır. Tablo 1'de konutlarda LEED sertifika seviyesine göre enerji tasarrufu, su tasarrufu, bakım tasarrufu oranları belirtilmektedir (Çekici, 2014).

Tablo 1. LEED sertifika seviyelerine göre konutlarda tasarruf oranları (Çekici, 2014)

Sertifika Seviyesi	Enerji Tasarrufu (%)	Su Tasarrufu (%)	Bakım, Onarım, Personel, Hizmet Tasarrufu (%)
Platin	35%	40%	20%
Gold	32%	35%	20%
Silver	27%	32%	15%
Certificate	25%	30%	15%

LEED yapı sertifika sistemleri, çeşitli kategorilere ve versiyonlara sahiptir. LEED, BD+C (Building Design and Construction – Bina Tasarımı ve İnşaat) ana kategori olmak üzere, NC (New Construction – Yeni İnşaat), CS (Core & Shell – Çekirdek ve Kabuk), Schools (Okullar), NC (Retail - Ticari), Healthcare (Sağlık) alt kategorileri, ID+C (Interior Design and Construction – İç mekân tasarımı ve İnşaat), O+M (Operation and Maintenance – İşletme ve Bakım), Homes (Evler), ND (Neighbourhood Design – Mahalle Tasarımı), Cities (Şehirler) kategorilerinden oluşmaktadır. LEED NC-New Construction, LEED CS-Core & Shell ve LEED Commercial Interiors Türkiye'deki, en yaygın sertifika türleridir. Bu LEED sertifikalarına ilaveten LEED for Homes sertifikası da Türkiye'de popülerlik kazanmaya başlamıştır (Çekici, 2014). Şekil 2'de LEED yeşil bina kategorileri görülmektedir.



Şekil 2. LEED yeşil bina kategorileri (Everblue, 2020)

LEED sertifikasyon sistemi, altı temel değerlendirme ölçütü çerçevesinde projeleri analiz etmektedir. Bu ölçütler şunlardır:

- Sürdürülebilir araziler (Sustainable Sites),
- Malzeme ve kaynaklar (Materials & Resources),
- Enerji ve atmosfer (Energy & Atmosphere),
- Su verimliliği (Water Efficiency),
- İç mekân çevre kalitesi (Indoor Environmental Quality)
- İnovasyon ve bölgesel öncelik (Innovation & Regional Priority).

Bu kriterler, projelerin çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesinde temel alınmaktadır (Şekil 3) (Bingöl, 2020).



Şekil 3. LEED sertifikasyon sisteminin temel değerlendirme ölçütleri (Bingöl, 2020)

2.4. Metot

Bu çalışmada, USGBC tarafından Mart 2025 itibarıyla yayımlanan LEED sertifikalı binalara ilişkin veriler temel alınmıştır. Söz konusu veriler, Türkiye'deki LEED sertifikalı binaların sayısı, bina tipleri, sertifika seviyeleri ve coğrafi dağılımlarına ilişkin bilgileri içermektedir.

Metot olarak, Türkiye'de en sık kullanılan yeşil bina sertifika sistemi olan LEED seçilerek, Türkiye'deki LEED sertifikalı binaların mevcut durumu, küresel verilerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu analiz kapsamında:

- LEED sertifikalı binaların yıllara göre dağılımı ve yıllara göre kabul oranı incelenmiştir.
- Dünyadaki ve Türkiye'deki LEED sertifikalı yapıların coğrafi dağılımı incelenerek, bölgesel yoğunluklar analiz edilmiştir.
- Bina tipleri bazında değerlendirme yapılarak, ticari, konut, kamu yapıları ve diğer kategoriler arasındaki farklar belirlenmiştir.
- Türkiye ile dünya genelinde LEED sertifikasyonuna sahip en fazla bina bulunan ülkeler karşılaştırılarak, Türkiye'nin küresel konumu değerlendirilmiştir.
- Türkiye'deki LEED sertifikalı binaların sayısal dağılımı, farklı sertifika seviyelerine (Sertifikalı, Gümüş, Altın, Platin) göre incelenmiştir.
- Türkiyede'ki LEED sertifikalı binaların, büyüklüklerine göre dağılımı incelenmiştir.

Tüm veriler Excel ortamında düzenlenmiş ve grafiklerle desteklenerek görselleştirilmiştir. Ayrıca, elde edilen bulguların daha iyi yorumlanabilmesi için ilgili akademik çalışmalar ve sektör raporları ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

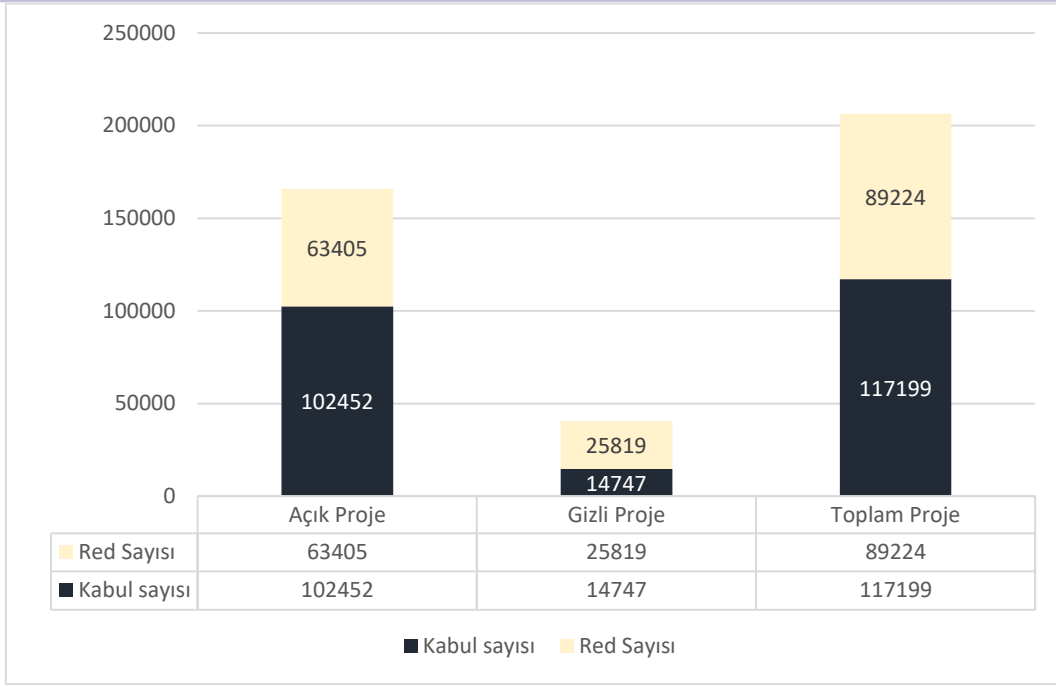
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yeşil bina sertifikalandırma sistemlerinden biri olan ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan LEED sertifikasyon sistemi ele alınmıştır. Araştırmanın ana materyalini dünyadan LEED sertifikası için yapılan 206.423 adet başvuru ve içerisinde bulunan Türkiye'den LEED sertifikası için yapılan 1.946 adet başvuru oluşturmaktadır.

3.1. Dünyada LEED Verilerine Göre Araştırma Sonuçları

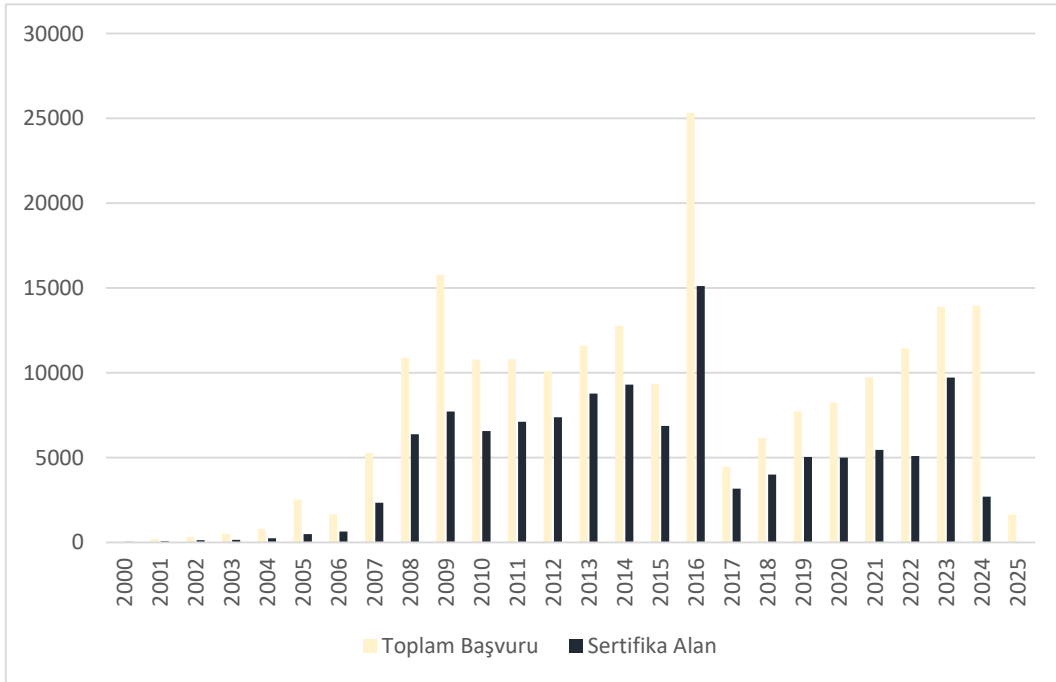
Dünyadan LEED sertifikası için yapılan başvurular incelendiğinde toplam 206.423 başvuru olduğu belirlenmiştir. Bu başvurulardan 165.857 (%80.3) adetinin açık başvuru, 40.566 (%19.7) adetinin ise gizli başvuru olduğu görülmektedir. Açık ve gizli başvurular ayrı ayrı incelendiğinde ise 165.857 açık başvuruda 102.452 (%61.8) adet başvurunun sertifika aldığı görülürken, 40.566 gizli başvuruda ise 14.747 (%36.4) adet sertifika alan başvuru vardır.

Toplam 206.423 başvuru incelendiğinde, sertifika alan başvuru sayısı 117.199 (%56,8) adet iken, sertifika alamayan başvuru sayısı 89.224 (%43.2) adettir (Şekil 4). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise dünyada yapılan başvuruların yarısından fazlasının, LEED sertifikasını aldığı tespit edilmiştir.



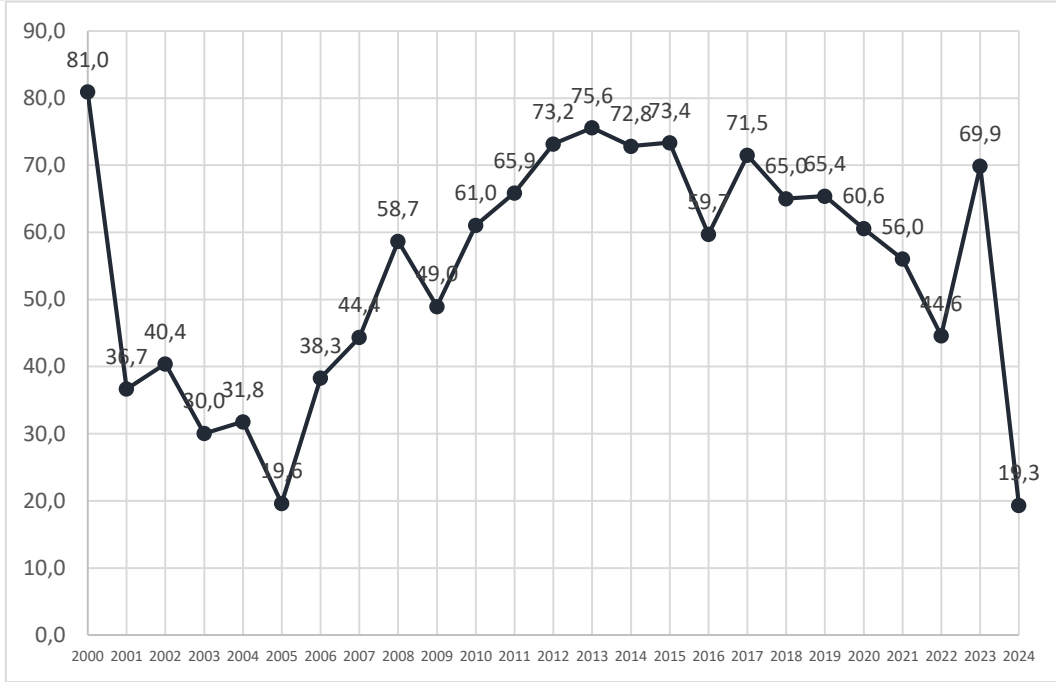
Şekil 4. Dünyada yapılan LEED sertifikası başvuru sayıları ve sonuçlarının dağılımı

Dünyada LEED sertifikası almış başvurular, yıllara göre incelendiğinde en çok sertifika başvurusu yapılan yılların sırasıyla 2016, 2009 ve 2024 olduğu, sertifika alınan yılların ise sırasıyla 2016, 2023 ve 2014 yıllarının olduğu görülmektedir. 2016 yılında 15.125 adet, 2023 yılında 9.711 adet, 2014 yılında 9.307 adet LEED sertifikasının alındığı görülmektedir (Şekil 5). Sonuçlara göre, 2016 senesi de dahil olmak üzere başvuru sayısında bir artış olduğu görülmesiyle birlikte, 2017 senesinde ciddi bir başvuru düşüklüğü görülmektedir.



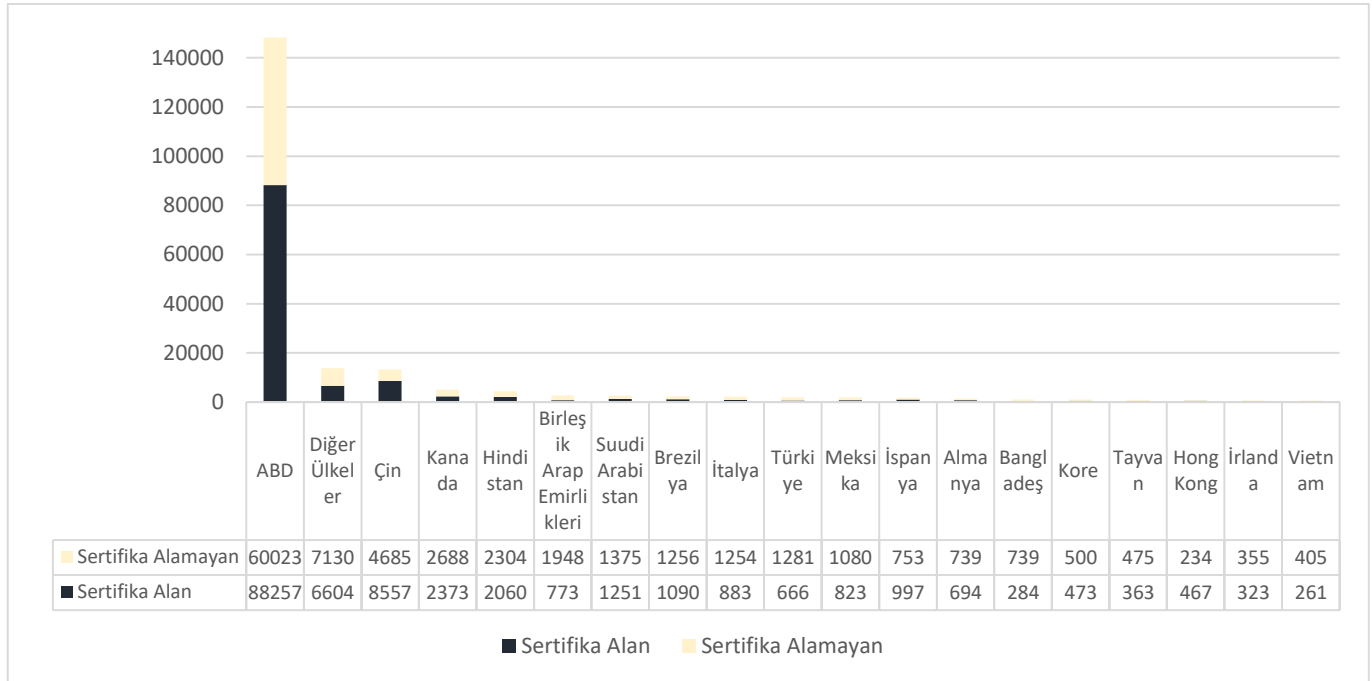
Şekil 5. Dünyada LEED sertifikasına başvuran ve sertifika almış başvuruların yıllara göre dağılımı

Dünyada LEED sertifikasına başvuran ve sertifika alan başvuru sayısı, yıllara göre değişkenlik göstermektedir. Sertifika başvurusunda bulunan ve sertifika alan proje sayısı arasında oran incelendiğinde, en yüksek oranlar sırasıyla 2000 yılı (%81.0), 2013 yılı (%75.6), 2015 yılı (%73.4), en düşük oranlar ise sırasıyla 2024 yılı (%19.3), 2005 yılı (%19.6), 2003 yılı (%30.0) olduğu görülmektedir (Şekil 6). Sonuçlar incelendiğinde, 2000 yılından, 2005 yılına göre kabul oranında düşüş, 2005-2013 yılları arasında kabul oranında yükseliş, 2013-2025 yılları arasında dalgalanma olmasıyla birlikte genelinde bir düşüş görülmektedir. 2025 yılı tamamlanmadığından dolayı verileri eklenmemiştir.



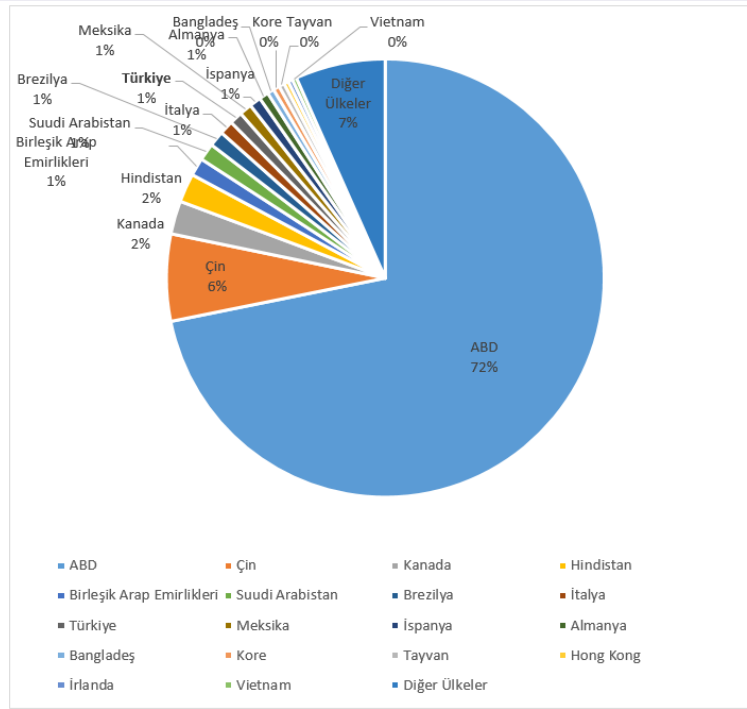
Şekil 6. Dünyada LEED sertifikası yıllara göre kabul oranı

Dünyada başvuran ülkeler göre incelendiğinde, 190 ülkeden çeşitli sayılarda başvurular görülmektedir. En fazla başvuruya sahip olan ülkeler, sırasıyla ABD 148.280 (%71.8) adet ile birinci sırada, Çin 13.242 (%6.4) adet başvuru ile ikinci sırada, Kanada 5.061 (%2.5) adet başvuru ile üçüncü sırada yer almakta, Türkiye ise 1.946 (%0.9) ile sekizinci sırada yer almaktadır (Şekil 7). 666 adet başvuru altında kalan ülkeler tablonun anlaşılması için diğer ülkeler kategorisinde toplanmıştır.



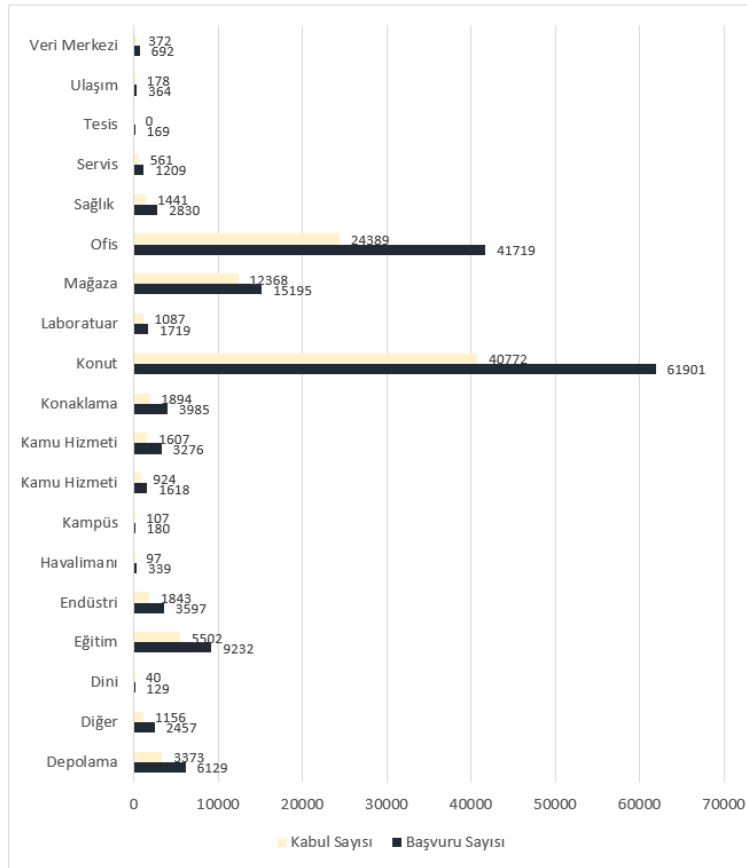
Şekil 7. Dünyada LEED sertifikasına başvuran ülkeler ve sertifika alma durumları

Başvuru yapan ülkeler, sertifika başvuru sayısına göre yüzdelik oran içerisinde ne kadar yer kapladığı Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Dünyada başvuran ülkelerin dairesel grafikte oranları

Dünyada LEED başvuruları kullanım tiplerine göre incelendiğinde ise, sırasıyla en çok 61.901 (%30.0) adetle konut, 41.719 (%20.2) adetle ofis, 15.195 (%7.4) adetle mağazalar olduğu görülmektedir (Şekil 9). LEED sertifikasına başvuran ve sertifika alan projeler tiplerine göre incelendiğinde başvuru sayısına benzer bir sıralama göstermektedir. Dünyada LEED sertifikasına başvurup, sertifika alan bina oranı incelendiğinde, sırasıyla en yüksek %81.4 oranıyla mağazalar, %65.9 oranıyla konut, %63.2 oranıyla laboratuvarlar takip etmektedir. En fazla başvuru yapan ikinci sıralamadaki ofis kullanım tipi %58.5 kabul oranına sahiptir.

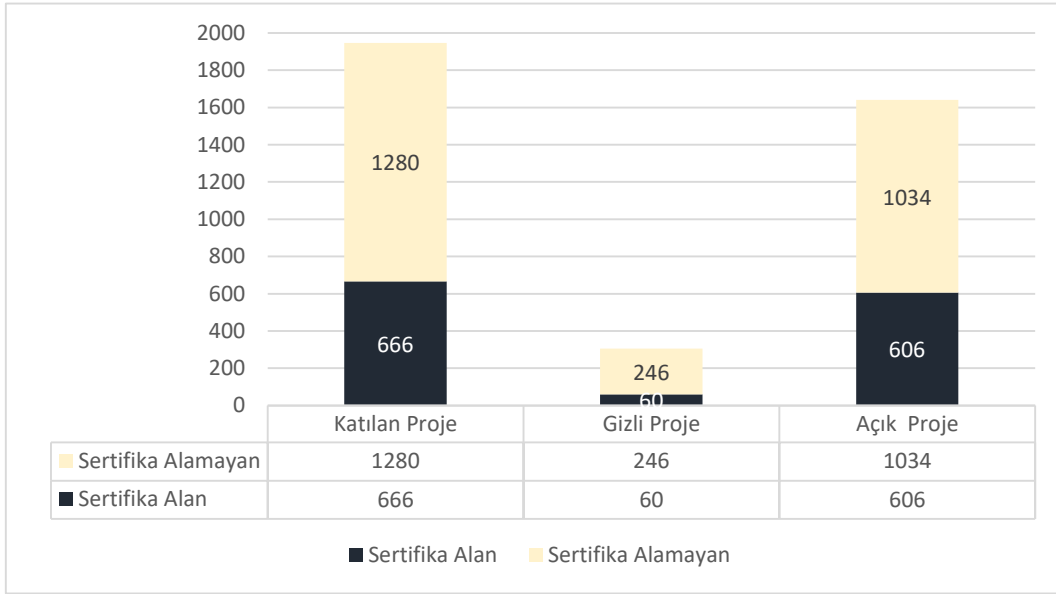


Şekil 9. Dünyada LEED sertifikası başvuran ve alanların kullanım tiplerine göre dağılımı

3.2. Türkiye’de LEED Verilerine Göre Araştırma Sonuçları

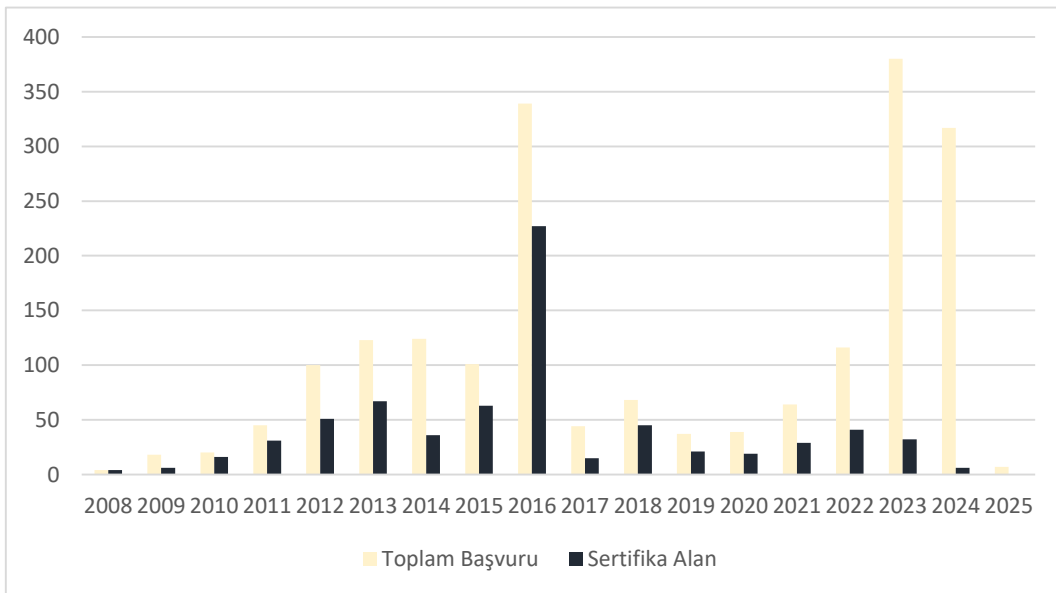
Türkiye’den LEED sertifikası için yapılan başvurular incelendiğinde toplam 1.946 başvuru olduğu belirlenmiştir. Bu başvurulardan 1.640 (%84.3) adetinin açık başvuru, 306 (%15.7) adetinin ise gizli başvuru olduğu görülmektedir. Açık ve gizli başvurular ayrı ayrı incelendiğinde ise 1.640 açık başvuruda 606 (%37.0) adet başvurunun sertifika aldığı görülürken, 306 gizli başvuruda 60 (%19.6) adet sertifika alan başvuru vardır (Şekil 10).

Toplam 1.946 başvuru incelendiğinde, sertifika alan başvuru sayısı 666 (%34.2) iken, sertifika alamayan başvuru sayısı 1.280 (%65.8) adettir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise Türkiye’den yapılan başvuruların büyük çoğunluğunun sertifika alamadığı tespit edilmiştir.



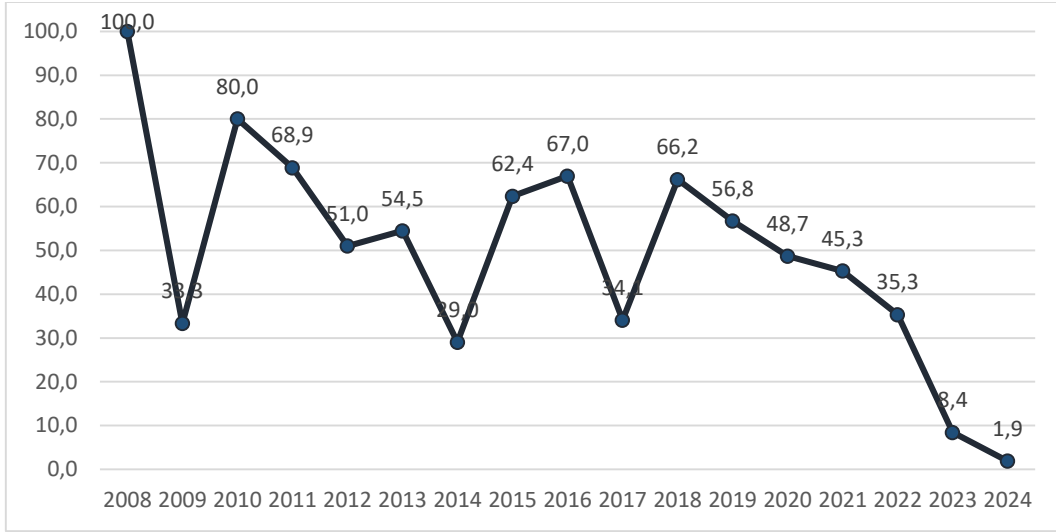
Şekil 10. Türkiye’den yapılan LEED sertifikası başvuru sayıları ve sonuçlarının dağılımı

Türkiye’de LEED sertifikası almış başvurular, yıllara göre incelendiğinde en çok sertifika başvurusu yapılan yılların sırasıyla 2023, 2016, 2024 olduğu, sertifika alınan yılların ise sırasıyla 2016, 2013 ve 2015 olduğu görülmektedir. 2016 yılında 227 adet, 2013 yılında 67 adet, 2015 yılında 63 adet LEED sertifikasının alındığı görülmektedir (Şekil 11). Sonuçlara göre, 2008-2016 tarihlerinde başvuru sayılarına göre grafik artış eğilimindedir. 2017 senesinde ciddi bir başvuru düşüklüğü görülmektedir, benzer başvuru sayıları 2017-2021 yılları arasında da görülmektedir. 2022 yılında başlayan artış, 2023 yılında Türkiye’de en çok LEED sertifikasına başvuru yapılan yıl olarak görülmektedir. LEED sertifika kabul sayısı ise 2022 sonrasında olan başvuru sayısı eğilimine zıtlık göstermektedir.



Şekil 11. Türkiye’de LEED sertifikasına başvuran ve sertifika almış başvuruların yıllara göre dağılımı

Türkiye’de LEED sertifikasına başvuran ve sertifika alan başvuru sayısı, yıllara göre değişkenlik göstermektedir. Sertifika başvurusunda bulunan ve sertifika alan proje sayısı arasında oran incelendiğinde, en yüksek oranlar sırasıyla 2008 yılı (%100), 2010 yılı (%80), 2011 yılı (%68,9), en düşük oranlar ise sırasıyla 2024 yılı (%1,9), 2023 yılı (%8,4), 2014 yılı (%29,0) olduğu görülmektedir (Şekil 12). Sonuçlar incelendiğinde, 2008-2017 yılları arasında dalgalı olmak ile birlikte düşüş eğilimi göstermektedir. 2018-2024 yıllarında arasında ise sertifika kabul oranı hızlı bir düşüşe geçmektedir. 2025 yılı tamamlanmadığından dolayı verileri eklenmemiştir.

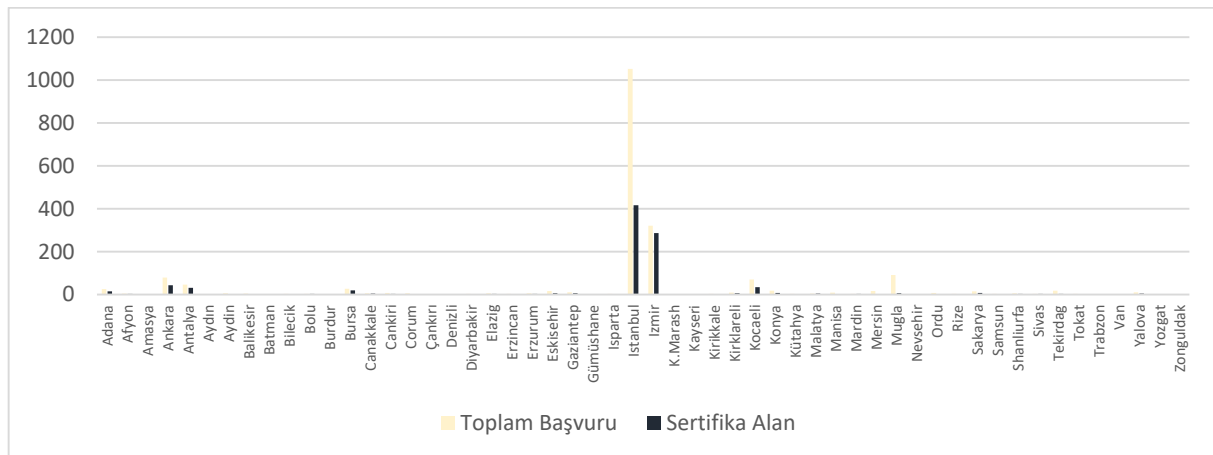


Şekil 12. Türkiye’de yıllara göre LEED sertifikası kabul oranı

Türkiye’de LEED başvuruları şehirlere göre incelendiğinde, 55 şehirden katılım görülmektedir (Şekil 13). En fazla başvuruya sahip olan şehirler, sırasıyla İstanbul 1.051 (%54,0) adet ile birinci sırada, İzmir 286 (%16,4) adet başvuru ile ikinci sırada, Muğla 90 (%4,6) adet ile üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 14). En fazla sertifikaya sahip olan şehirler ise, sırasıyla İstanbul, İzmir, Ankara ve Kocaeli şeklindedir.

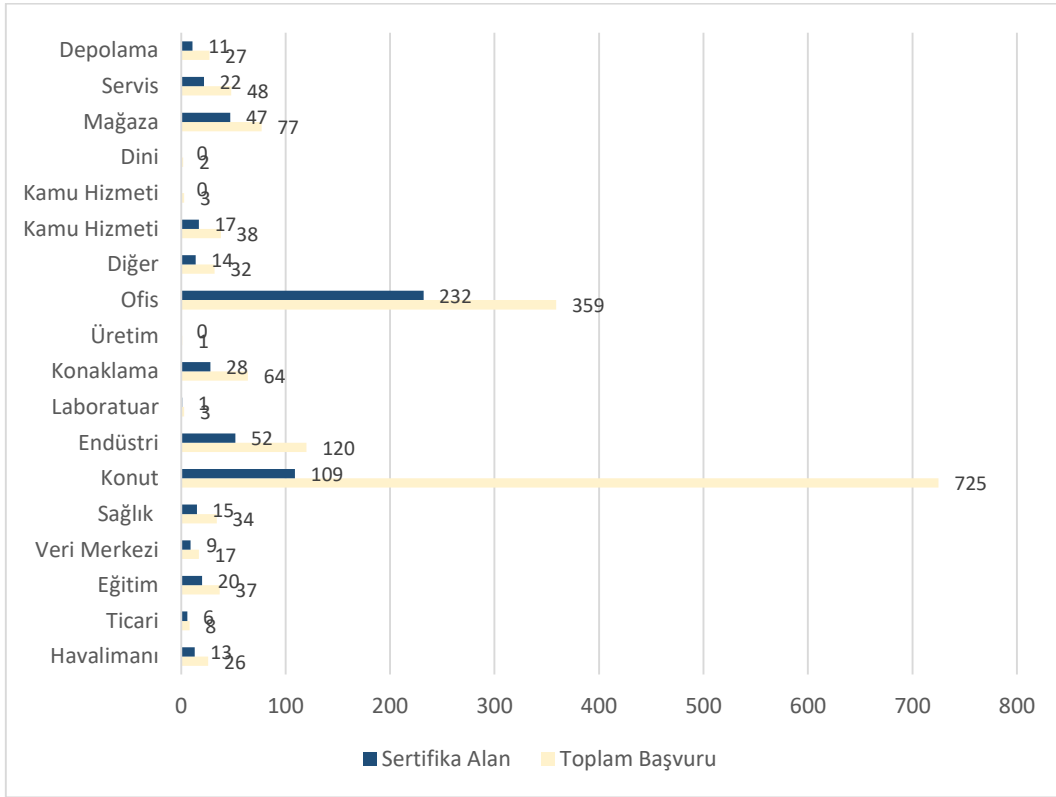


Şekil 13. Türkiye’de LEED başvurusu bulunan şehirler



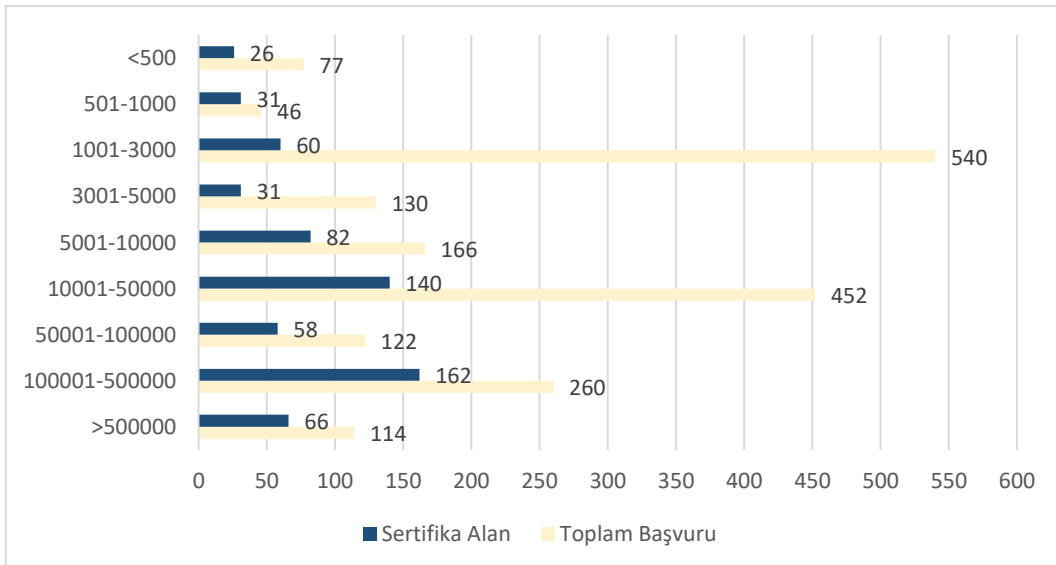
Şekil 14. Türkiye’de LEED sertifikasına başvuran şehirler ve sertifika alma durumları

Türkiye’de LEED başvuruları kullanım tiplerine göre incelendiğinde ise, sırasıyla en çok 725 (%37.3) adetle konut, 359 (%18.4) adetle ofis, 120 (%6.2) adetle endüstri tesisleri olduğu görülmektedir (Şekil 15). LEED sertifikasına başvuran ve sertifika alan projeler tiplerine göre incelendiğinde sıralamada farklılık olduğu görülmektedir. Sertifika alan projeler tiplerine göre incelendiğinde, en çok 232 (%34.8) adetle ofis, 109 (%16.4) adetle konut, 52 (%6.2) adetle endüstri tesisleri olduğu görülmektedir. Sonuçlara göre en fazla başvuru tipi konut olmasına rağmen oldukça düşük oranda sertifika almaktadır. Bu durum Türkiye’de konut üretiminde dikkat edilmesi gereken bir husustur.



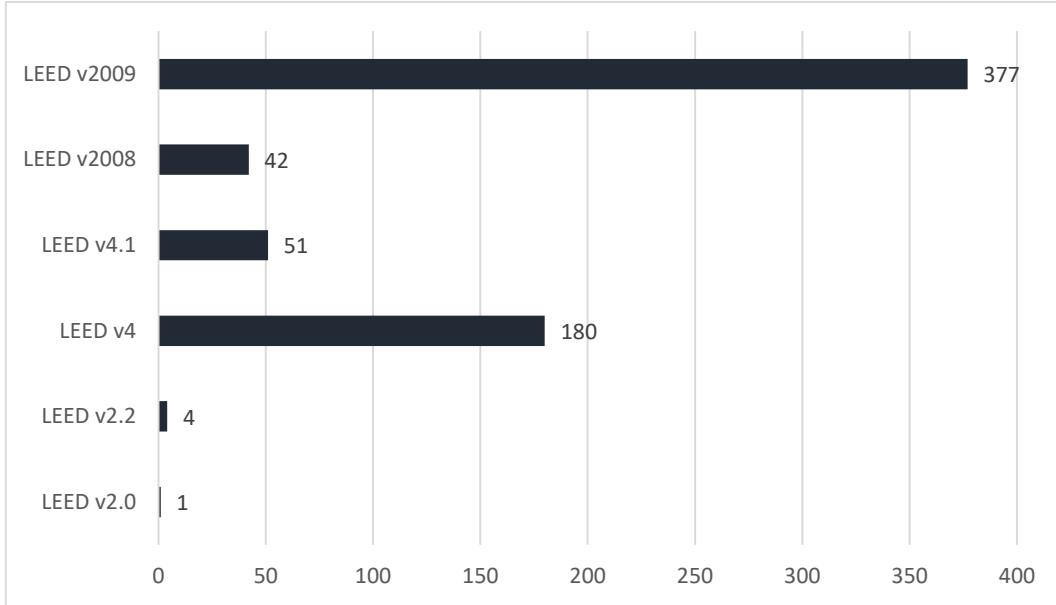
Şekil 15. Türkiye’de LEED sertifikası başvuran ve alanların kullanım tiplerine göre dağılımı

Türkiye’den LEED sertifikasına başvuran ve alan projeler, proje büyüklüğüne(m²) göre incelendiğinde ise, ilk sırada 540 (%27.7) adetle 1.001-3.000 m² arasındaki projelerin yer aldığı görülmektedir. Bunu ikinci sırada 452 (%23.2) adetle 10.001-50.000 m² arasındaki ve üçüncü sırada ise 260 (%13.4) adetle 100.001-500.000 m² arasındaki projelerin takip ettiği görülmektedir. Türkiye’den LEED sertifikası alan projeler, proje büyüklüğüne (m²) göre incelendiğinde ise, ilk sırada 162 (%24.3) adetle 100.001-500.000 m² arasındaki projelerin yer aldığı görülmektedir. Bunu ikinci sırada 140 (%21.0) adetle 10.001-50.000 m² arasındaki ve üçüncü sırada ise 82 (%12.3) adetle 5.001-10.000 m² arasındaki projelerin takip ettiği saptanmıştır (Şekil 16).



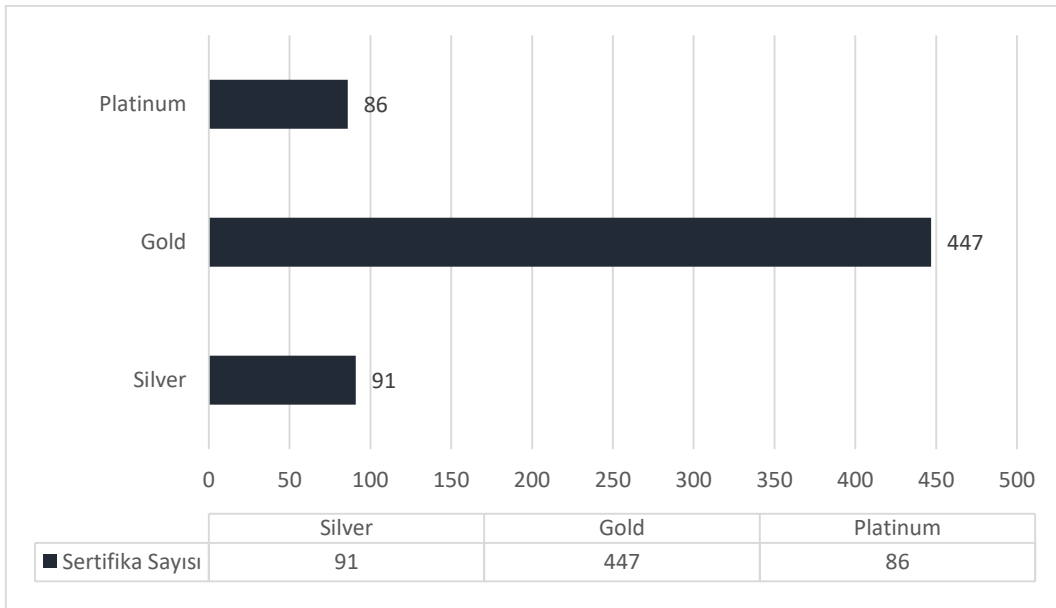
Şekil 16. Türkiye’den proje büyüklerine göre LEED sertifikasına yapılan başvurular ve sonuçların dağılımı

Türkiye’den LEED sertifikası almış başvurular, sertifika sürümü açısından incelendiğinde ise ilk sırada 377 (%57.6) adetle LEED v2009, ikinci sırada 180 (%27.5) adetle LEED v4, üçüncü sırada ise 51 (%7.8) adetle LEED v4.1 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Türkiye’den LEED sertifikası almış başvuruların sertifika sürümleri

Türkiye’den LEED sertifikası almış başvurular, LEED sertifika seviyeleri açısından incelendiğinde ise ilk sırada Gold (Altın) sertifika alanların 447 (%71.6) adet, ikinci sırada Silver (Gümüş) 91 (%14.6) adet ve üçüncü sırada Platin (Platinum) 86 (%13.8) adet olduğu görülmektedir (Şekil 18). Sonuçlar incelendiğinde, LEED sertifikası alan başvuruların ağırlıklı olarak Gold (Altın) sertifikasına sahip oldukları tespit edilmiştir. LEED sertifika sisteminde belirlenen seviyeler, puanlama üzerinden hesaplandığı için LEED sertifikası alan başvuruların ağırlıklı olarak 110 üzerinden 60-79 puan aralığında olduğu da söylenebilir.



Şekil 18. Türkiye’den LEED sertifikası almış başvuruların sertifika seviyeleri

4. SONUÇLAR

Enerji ve çevre dostu yapı tasarımını teşvik etmek amacıyla USGBC tarafından geliştirilen LEED sertifikasyon sistemi, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektörünün sürdürülebilirlik alanında ilerlemesini destekleyen bu sistem, teknolojik gelişmelere ve değişen çevresel gereksinimlere uyum sağlayarak sürekli olarak güncellenmektedir.

Günümüzde, yeşil bina ve sertifikasyon sistemleri ülkemizde de giderek yaygınlaşmakta ve önem kazanmaktadır. Yapılan araştırmalar, Türkiye’de en çok tercih edilen sertifikasyon sisteminin LEED olduğunu göstermektedir. Bu

çalışmada, USGBC veri tabanı kullanılarak dünyada ve Türkiye’de gerçekleştirilen LEED sertifikasyon süreçlerine ilişkin veriler elde edilmiş, yapılan başvurular ve elde edilen sonuçlar analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye’deki mevcut durum ile dünya genelindeki eğilimler karşılaştırılarak, Türkiye’nin sürdürülebilir bina sertifikasyon süreçlerindeki gelişim süreci değerlendirilmiştir. Elde edilen başlıca çalışma sonuçları bunlardır:

- Dünyada LEED sıklıkla kullanılan bir bina sertifikasyonudur, 2000-2016 yılları arasında artış eğilimi gösterirken, 2016 yılında bir kırılmaya uğramaktadır. Benzer grafik Türkiye’de de görülmektedir. 2016 yılından sonraki süreçlerde yapılan başvuru sayısı artış eğilimi göstermektedir fakat sertifika kabul oranı düşüş eğilimi göstermektedir. Burada LEED sertifika sisteminin kendini güncellemesi, bazı zorluklar oluşturduğu çıkarılabilir.
- Küresel eğilimler incelendiğinde, konut sektöründe yeşil bina sertifikasyonlarının artış gösterdiği ve enerji verimli yapıların bireysel yatırımcılar tarafından da talep edildiği anlaşılmaktadır. Türkiye’nin bu noktada gelişim göstermesi için sürdürülebilir bina sertifikalarının yalnızca büyük yatırım projeleri ile sınırlı kalmaması, bireysel konut sahipleri ve küçük ölçekli işletmeler için de erişilebilir hale getirilmesi gerekmektedir.
- Büyüklüklerine göre Türkiye’de LEED başvurusu yapan projeler incelendiğinde, küçük ölçekli binalarda başvuru sayısı oldukça az görülmektedir. Daha fazla başarı sağlamak adına küçük ölçekli projeler bireysel başvuruların olması gereklidir. Bu durum için gerekli finansman sağlanabilir, ayrıca destekleyici politikalar sağlanabilir. Böylelikle daha sürdürülebilir bir yapı üretimi gerçekleşir, küresel ölçekte Türkiye daha başarılı bir konuma gelebilir.
- Türkiye’de sürdürülebilir bina sertifikasyonu, özellikle büyük kent merkezlerinde yoğunlaşmış olup, bölgesel dağılım açısından dengesizlik göstermektedir. Türkiye’de çoğunlukla büyük ölçekli ticari ve ofis binalarının sertifikalandırıldığı, buna karşın konut, eğitim ve sağlık yapılarında sertifikasyon oranlarının görece düşük olduğu görülmektedir. Konut yapılarında sertifika başvuru sayısı en yüksek sayıda olmakla birlikte büyük oranda kabul almamaktadır. Buradan Türkiye’de sürdürülebilirlik kriterlerine geliştirilmiş konut yapılarının bile yeterli seviyede olmadığı yorumlanabilir. Konut sayısının oldukça fazla olduğu Türkiye’de konut üretiminde sürdürülebilirlik politikaları geliştirilmelidir.
- Sertifikasyon seviyelerine bakıldığında, Türkiye’de genellikle giriş ve orta seviyeli sertifikaların kazanıldığı görülmektedir. Bu durum, sürdürülebilir bina uygulamalarının Türkiye’de henüz tam anlamıyla benimsenmediğini ve ileri düzey sürdürülebilirlik kriterlerinin daha az tercih edildiğini göstermektedir. Sertifikasyon süreçlerinde maliyet faktörünün etkili olduğu, özellikle küçük ölçekli yatırımcılar için sertifikasyon maliyetlerinin caydırıcı olabileceği anlaşılmaktadır. Bu noktada, devlet desteklerinin artırılması, finansal teşviklerin sağlanması ve sertifikasyon süreçlerinin daha erişilebilir hale getirilmesi, Türkiye’nin sürdürülebilir bina sektöründe ilerleme kaydetmesini sağlayacaktır.
- Elde edilen verilerde bazı dönemlerde Türkiye’nin LEED sertifika başarısı görülmektedir. Diğer ülkelere göre iyi bir konumda olduğu görülmektedir. Fakat başvuru ve sertifika alma oranına bakıldığında diğer ülkelere göre son yıllarda oldukça geri kalmaktadır. Burada bina üretiminde sürdürülebilirlik politikalarının geliştirilmesi, sertifika sistemlerine yapılan yatırımların karşılıksız kalmaması sağlanmalıdır.

Türkiye’nin gelişim yönü açısından değerlendirildiğinde, öncelikle yasal ve düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir bina uygulamalarının teşvik edilmesi ve belirli sertifikasyon seviyelerinin kamu binaları için zorunlu hale getirilmesi, bu alandaki ilerlemeyi hızlandıracaktır. Ayrıca, özel sektörün sürdürülebilir bina yatırımlarına yönlendirilmesi için daha kapsamlı teşvik sistemleri oluşturulmalı ve sürdürülebilir projelerin finansmanı kolaylaştırılmalıdır.

Ayrıca, Türkiye’nin coğrafi ve iklimsel avantajları göz önünde bulundurularak, bölgesel sürdürülebilir bina stratejileri geliştirilmeli ve yenilenebilir enerji kaynakları daha etkin bir şekilde sertifikasyon süreçlerine entegre edilmelidir. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bina tasarımlarında daha fazla yer bulması, Türkiye’nin uluslararası standartlara uyum sağlamasını hızlandıracaktır.

Sonuç olarak, Türkiye’nin sürdürülebilir bina sertifikasyonu konusunda küresel ölçekte rekabet edebilir bir konuma ulaşması için hem politika yapımcıların hem de sektör paydaşlarının daha aktif rol alması gerekmektedir. Mevcut uygulamaların geliştirilmesi, finansal desteklerin artırılması, sertifikasyon süreçlerinin kolaylaştırılması ve sürdürülebilirlik konusundaki bilinç düzeyinin yükseltilmesi ile Türkiye’nin dünya genelindeki lider ülkelerle arasındaki farkı kapatması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arslan, N. C. (2015). *Yeşil bina projelerinde tasarım süreci için bir yaklaşım: Leed v4 sertifikalandırma süreci modeli*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bingöl, B. (2020). LEED Sertifikasyon Sisteminin Değerlendirilmesi Ve Türkiye Verilerinin Analizi. *Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Teori ve Araştırmalar II* sf:188-206. Gece Kitaplığı.
- BRE. (2022). *BREEAM: The World's Leading Sustainability Assessment Method*. Building Research Establishment.
- BREEAM. (2025). *BREEAM-certified buildings in Turkey*. Retrieved March 31, 2025, from <https://tools.breeam.com/projects/explore/buildings.jsp?sectionid=0&projectType=&rating=&certNo=&buildingName=&client=&developer=&certBody=&assessor=&location=&countryID=7&partid=10023&Submit=Search>
- ÇEDBİK. (n.d.). *Yeşil bina*. Retrieved March 31, 2025, from <https://www.cedbik.org/yesilbina?utm>
- Çekici, N. (2014). Yeşil bina sistemlerinin gayrimenkul değerine etkisi. *Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği*.
- DGNB. (2023). *DGNB System for Sustainable Buildings*. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.
- DGNB. (2025). *DGNB-certified projects*. Retrieved March 31, 2025, from [https://www.dgnb.de/en/certification/dgnb-certified-projects?tx_mqsolr_search\[params\]=31741f117a900c37acf391d47bf978c8_15325](https://www.dgnb.de/en/certification/dgnb-certified-projects?tx_mqsolr_search[params]=31741f117a900c37acf391d47bf978c8_15325)
- Everblue, (2020). LEED Certification, LEED AP Acronym Comes with Some History & Context. Erişim adresi <https://everbluetraining.com/want-become-leed-ap/>
- Gökbağ, A. Yıldız, Ö. (2016). *Yeşil Binalar ve Yalıtım*, Yeşil Bina Dergisi 36. Sayı (Mart-Nisan 2016), Retrieved March 31, 2025, from https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/730/yesil-binalar-ve-yalitim_22252.html
- GBCA. (2023). *Green Star Certification*.
- Japan Sustainable Building Consortium. (2022). *CASBEE: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*.
- Johnston, D., & Gibson, S. (2008). *Green from the ground up: The guide to healthy, sustainable, and energy-efficient construction*. Taunton.
- Kibert, C. J. (2008). *Sustainable construction: Green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Şantiye Dergisi. (2021). *Türkiye, yeşil bina sayısında Avrupa'da ilk sırada*. Şantiye Dergisi. Retrieved March 31, 2025, from <https://www.santiye.com.tr/turkiye-yesil-bina-sayisinda-avrupa-da-i-lk-sirada-1673.html>
- USGBC. (2015). *Green building facts*.
- USGBC. (2020). Brand. Where LEED began. Erişim adresi: <https://www.usgbc.org/about/brand>
- USGBC. (2023). LEED Rating System <https://www.usgbc.org/LEED>
- USGBC. (2025). *LEED-certified projects in Turkey*. Retrieved March 31, 2025, from <https://www.usgbc.org/projects?Country=%5B%22Turkey%22%5D>
- United Nations Environment Programme. (2009). *Buildings and climate change: Summary for decision makers*. Sustainable Buildings and Climate Initiative. Retrieved March 31, 2025, from <https://www.uncclearn.org/resources/library/buildings-and-climate-change-summary-for-decision-makers/>
- Yeşilbaş, S. (2014). *Yeşil binaların yapım ve yönetim tekniklerinin enerji ve çevre dostu tasarımda liderlik (leed) kriterleri kapsamında incelenmesi ve peyzaj mimarlığı meslek disiplini ile ilişkilerinin irdelenmesi üzerine bir araştırma*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Konut Tasarımında Minimalizmi Yeniden Tanımlamak: NLP ve Çok Ölçekli Kriterler ile M1-M13 Değerlendirme Modeli

Redefining Minimalism in Housing: Introducing the M1-13 Evaluation Framework via NLP and Multi-Scale Criteria

Duygu Yıldız^{1*}, İlkin Markoç²

^{1*} Yildiz Technical University, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

² Yildiz Technical University, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

ÖZET

Bu çalışma, mimari minimalizmi yalnızca estetik bir tercih olarak değil; konut tasarımında verimlilik, kullanıcı memnuniyeti ve kültürel sürekliliği odağına alan çok katmanlı bir stratejik yaklaşım olarak yeniden tanımlamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen “M1-M13 Minimalist Konut Tasarım Kriterleri”, minimalizmi biçimsel boyutların ötesinde değerlendirerek, tasarım süreçlerinin ölçülebilir, karşılaştırılabilir ve veri temelli bir çerçevede analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin, M2 kriteri kullanıcı refahına, M5 enerji verimliliğine ve M10 modüler üretime odaklanmaktadır.

Araştırma kapsamında Amerika, Kanada, Birleşik Krallık, Hindistan ve Portekiz’den seçilen yedi çağdaş konut projesinin mimari anlatıları, doğal dil işleme (NLP) teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Doğal dil işleme (NLP) teknikleri, projelere ait metinlerde hangi tasarım temalarının ne sıklıkla ve ne derinlikte işlendiğini tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Her projeye ait yaklaşık 1500-2000 kelimelik metin kümesi BoW, TF-IDF ve kavramsal eşleşme analizleri ile değerlendirilmiş; tematik yoğunluklar, önceden tanımlanmış anahtar kelime kümeleri aracılığıyla M1-M13 kriterleriyle eşleştirilmiştir.

Bulgular, UDAAN ve Platforms for Life projelerinin özellikle modüler üretim, fonksiyonel esneklik ve teknik yalınlık gibi kriterlerde yüksek temsiliyete sahip olduğunu; buna karşın Adro ve Park Hill projelerinde kültürel bağlamın güçlü ancak teknik verimliliğin sınırlı düzeyde temsil edildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, tasarımda şeffaflık, müdahale kolaylığı ve kültürel süreklilik gibi sosyal sürdürülebilirlik odaklı kriterlerin pek çok projede düşük düzeyde kaldığı görülmüştür.

Çalışmanın teorik katkısı, minimalizmin yalnızca “az” ilkesiyle tanımlanamayacağını; bunun yerine sadeleştirilmiş ve çok yönlü karar stratejilerinin bir ifadesi olarak ele alınması gerektiğini savunmaktadır. Mimarlıkta nadiren kullanılan NLP teknikleri, bu çalışmada mimari metinlerin nesnel biçimde analiz edilmesini sağlayarak değerlendirme süreçlerine yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu model, akademik araştırmaların ötesinde, tasarım yarışmaları, sosyal konut politikaları ve planlama süreçlerinde karar destek aracı olarak pratik bir potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: “Minimalist konut tasarımı”, “Tasarım değerlendirme kriterleri”, “Doğal dil işleme (NLP)”, “Mimari metin analizi”, “Konut üretimi”

ABSTRACT

This study redefines architectural minimalism in contemporary housing not as a visual trend, but as a strategic and multi-layered design approach. It highlights how minimalism can support project efficiency, enhance user satisfaction, and maintain cultural continuity throughout the entire life cycle of housing projects. In this context, the “M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria” have been developed to extend beyond the formal dimensions of minimalism and enable the evaluation of design processes within a measurable, comparable, and data-driven framework. For example, M2 relates to user well-being, M5 to energy efficiency, and M10 to modular construction.

Başvuru: 31.05.2025 Revizyon Talebi: 12.05.2025 Son Revizyon: 14.05.2025 Kabul: 15.06.2025

Doi: 10.51764/smutgd.1707768

^{1*} Duygu Yıldız, Yildiz Technical University; duygu.yildiz2@std.yildiz.edu.tr; ORCID: 0009-0004-8097-2797

² İlkin Markoç, Yildiz Technical University; ilkim@yildiz.edu.tr; ORCID: 0000-0002-7805-1153

The architectural narratives of seven housing projects from the U.S., U.K., Canada, India, and Portugal were analyzed using Natural Language Processing (NLP) techniques. Natural Language Processing (NLP) methods were used to analyze architectural texts, helping identify how frequently and deeply specific design themes, such as flexibility or sustainability, are emphasized in project descriptions. The study utilized Natural Language Processing (NLP) techniques, including Bag of Words (BoW), Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF), and conceptual keyword matching, to analyze a text corpus of approximately 1500-2000 words per project. These techniques identified how often and how deeply specific design themes appeared in the texts. Thematic densities were then mapped to the M1-M13 criteria using predefined keyword clusters, and each project was scored on a 0-6 scale for comparative visualization.

The findings indicate that UDAAN and Platforms for Life exhibit high representation particularly in criteria such as modular construction, functional flexibility, and technical simplicity. In contrast, Adro and Park Hill demonstrate strong cultural contextuality, but limited technical efficiency. Moreover, several projects showed low levels of representation in socially sustainable criteria such as transparency in design, ease of intervention, and cultural continuity. Theoretical contributions of this study argue that minimalism cannot be defined solely by the principle of “less” but must be reconsidered as the expression of simplified, multi-dimensional decision-making strategies. At the methodological level, the study utilizes the analytical potential of natural language processing techniques, rarely employed in architectural research, to evaluate architectural narratives through a data-based approach, thereby enhancing the objectivity of architectural critique. Practically, the M1-M13 criteria serve as an applicable, modular, and replicable decision support tool for architectural education, design competitions, public housing policies, and sustainable urbanization strategies.

Keywords: “Minimalist housing design”, “Design evaluation criteria”, “Natural language processing (NLP)”, “Architectural narrative analysis”, “Housing production”

1. INTRODUCTION

The dynamics of neoliberal urbanization, coupled with factors such as rising population density and spatial expansion, have rendered the development of more holistic evaluation frameworks for the social, environmental, and economic sustainability of housing production imperative (Marrero et al., 2024; Markoc, 2012). This study argues that minimalism in housing must be redefined not simply as a stylistic or aesthetic expression but as a strategic, multi-dimensional design paradigm that intersects with sustainability, user agency, and cultural continuity. In this context, the discipline of architecture is being reexamined not only through formal aesthetics or design language but also through multidimensional criteria such as production processes, spatial quality, energy efficiency, and sensitivity to local context (Kumar et al., 2025). Architectural minimalism plays a central role in this transformation. It offers a paradigm that combines simplified aesthetics, lean production methods, adaptable user behavior, and environmental efficiency (Blackburn et al., 2024).

Initially conceptualized through the modernist principle of “Less is More,” minimalism has evolved in the 21st century from a purely visual inclination into a strategic tool extending from building technologies to principles of social justice. Particularly in the context of housing production, minimalism is increasingly viewed as a multidimensional response capable of offering both economic accessibility and environmental efficiency at the structural scale in the face of crises such as population pressure, limited land supply, socioeconomic inequality, and climate change (Kallis, 2023, Markoc, 2018). However, realizing this potential requires reconceptualizing minimalism beyond its formal boundaries by approaching it through a lens that emphasizes functionality, construction-oriented logic, and user-centered thinking.

This study responds to this need by developing an original evaluation criteria set designed to quantify architectural narratives using quantitative methods. To operationalize this redefinition, the study introduces a new evaluation framework, the M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria. These thirteen criteria extend beyond formal aesthetics and cover ecological (M5: energy efficiency), technological (M10: modularity), and user-centered (M2: well-being) dimensions. The model enables a structured, comparative analysis of architectural narratives in contemporary housing. The “M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria” encompass thirteen core domains including production efficiency, technical simplicity, functional flexibility, modularity, energy efficiency, user well-being, and contextual sensitivity. The criteria are grounded in theoretical foundations and were subsequently applied to the architectural texts of seven contemporary housing projects using natural language processing (NLP) techniques.

Given the interpretive nature of architectural discourse, Natural Language Processing (NLP) techniques such as BoW and TF-IDF are employed to quantify design-related language across project narratives. These computational methods offer a novel way to assess the thematic weight and conceptual recurrence of minimalist principles across diverse projects. One of the key contributions of this study is the integration of an NLP-based thematic clustering approach into architectural evaluation processes. Architect statements, project narratives, and promotional texts, often overlooked in architectural literature, are utilized here as primary data sources. Each project was associated with a text corpus of approximately 1500-2000 words, analyzed through methods such as Bag of Words (BoW), Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF), and contextual importance metrics. By transcending subjective interpretations, this method offers a systematic, replicable, and comparable scoring model, thereby proposing a distinctive analytical framework. By bridging computational linguistics with architectural theory, the study contributes to a growing interdisciplinary effort that treats design as both a conceptual and data-driven practice. The seven housing projects analyzed in this study were selected from the United States, the United Kingdom, India, Canada, and Portugal. These projects were assessed with consideration for geographical diversity and sociocultural context. The NLP-based analysis process examined each project's architectural narrative within the framework of the M1-M13 criteria and identified their strengths and weaknesses in terms of minimalist approaches. The research design is presented in Table 1.

Table 1 Research Design

Stage	Content
1.Problem Definition	The relationship between production efficiency, environmental sustainability, and user well-being in minimalist housing design is examined through architectural narratives.
2.Theoretical Background	Concepts such as minimalism, sustainability, technical simplicity, project life cycle efficiency, and cultural context are structured through an extensive literature review.
3. Development of the Criteria Set	Thirteen conceptual categories (M1-M13) derived from the literature are defined, and keyword clusters are constructed for each criterion.
4.Project Selection	Seven contemporary, accessible, and well-documented housing projects based on architectural texts are selected from five different countries.
5. Data Collection	Promotional texts, architect interviews, project brochures, and technical reports are compiled in .pdf/.docx formats.
6. Data Analysis	- Text corpora of approximately 1500-2000 words are compiled for each project. - Punctuation, special characters, and stop words are removed. Lemmatization is applied to reduce words to their base forms. - Conceptual matches are performed between the texts and the defined keyword sets for each criterion. - Term frequencies and contextual significance are calculated using TF-IDF and Bag of Words (BoW) analysis. - Based on match frequency, contextual placement, and content depth, each criterion is scored on a 0-6 scale. - The scores for each project according to the M1-M13 criteria are presented in a heatmap matrix. - Strengths and weaknesses, thematic intensities, and discursive gaps of each project are analyzed and contextualized with the relevant literature.
7.Original Contribution	The method offers theoretical and practical suggestions regarding its potential applications in architectural research.

This multi-layered research design not only ensures methodological consistency but also enables the systematic structuring and justification of the theoretical foundation of the M1-M13 evaluation criteria set. By proposing an innovative approach to architectural assessment, the study offers a comprehensive analysis on both theoretical and practical levels through the quantification of architectural narratives articulated by project authors. The developed M1-M13 criteria set functions as an applicable, modular, and scalable decision support tool, suitable not only for academic research but also for architectural competitions, public housing initiatives, sustainable development policies, and architectural education. In this context, the following section presents the theoretical background of the study and elaborates the conceptual foundations of minimalism in relation to its historical evolution, interdisciplinary dimensions, and conceptual expansions.

The broader aim is to inform architectural education, design competitions, and public housing policy by offering a replicable and scalable decision support framework. The M1-M13 criteria model is intended not only as a

theoretical construct but also as a practical tool for evaluating and guiding minimalist housing strategies in real-world contexts. Thematic density refers to the frequency and contextual clustering of key concepts related to each criterion in architectural texts. Conceptual matching denotes the alignment of narrative expressions with predefined design keywords.

2. MINIMALISM AND HOUSING DESIGN

2.1.Minimalism

Minimalism is not only an approach to formal simplification but also a way of living and thinking. This approach encompasses a wide range of domains, from consumption habits to spatial organization, from production methods to patterns of social interaction. At its core lies the principle of orienting toward the essential and eliminating all unnecessary elements. In the architectural context, this approach was epitomized by Mies van der Rohe's well-known dictum "Less is more," and has been recognized as one of the most refined interpretations of modernist design (Rulli, 2007). This principle is grounded in a design philosophy that prioritizes functional integrity over decorative aesthetics. The origins of minimalism can be traced through cultural bridges built between Eastern Zen philosophy and Western Bauhaus modernism. The phrase "Form follows function," coined by Louis Sullivan in the late 19th century, sought to transform not only architectural form but also patterns of living (Freidin, 2021). Concepts such as light, void, simplicity, and tranquility play a central role in the spatial experience of minimalism, while natural materials, plain surfaces, and geometric clarity embody its physical expression (Heikkilä & Hautamäki, 2024).

Minimalism extends beyond the physical environment to deeply influence individual psychology and collective behavioral patterns. Kang et al. (2021) define minimalism as a behavior pattern directly related to personal well-being, proposing that simplification supports a more meaningful life by reducing environmental and mental burdens. Accordingly, minimalism should not merely be regarded as a design preference, but rather as a holistic approach encompassing the interaction between individual, society, and environment.

2.2. Minimalist Approach in Architecture

Within the architectural discipline, minimalism has evolved into a comprehensive strategy that extends beyond design into construction, usage, and maintenance processes. Intentionally preserved voids, the directional use of natural light, a preference for raw materials, and the avoidance of ornamentation are among the fundamental principles of this approach. These principles contribute not only to aesthetic goals but also to critical areas such as environmental sustainability, cost-effectiveness, and user experience (Lucchi, 2023). Carvajal-Arango et al. (2019) demonstrate that the integration of lean construction principles into architectural design processes yields positive outcomes in terms of energy efficiency, material optimization, and operational sustainability. Accordingly, minimalism in architecture represents not only a formal simplification but also a strategic choice at the production and environmental levels. This approach is particularly relevant for large-scale projects such as public spaces and social housing developments. In this context, minimalism both enhances efficiency in project life cycle processes and enables meaningful architectural outcomes.

2.3. Minimalist Design in Housing Production

Neoliberal urbanization policies not only amplify urban land speculation but also further hinder access to housing due to social inequalities, economic vulnerabilities, and environmental threats (Ertürk & Markoç, 2025). Consequently, housing production has shifted from merely fulfilling the need for shelter toward becoming a multi-dimensional tool for addressing resource management, quality of life, and cultural continuity (Markoç & Çınar, 2018). This transformation pushes architectural practice toward more integrated and strategic approaches, positioning minimalism not just as an aesthetic choice but as a paradigm capable of responding to various urban challenges. In this regard, minimalist housing design has the potential to serve as an alternative model to address structural issues arising from neoliberal urban policies such as limited land supply, rising construction costs, and accessibility constraints (Markoç & Çınar, 2017). In dense urban contexts, open-plan layouts, multifunctional furniture, compact living spaces, and modular systems can offer effective solutions to spatial and social constraints. According to Ertürk and Markoç (2025), increasing population pressure and spatial constraints have heightened the demand for housing typologies that can deliver maximum functionality within minimal space.

From the perspective of sustainability, minimalist housing design provides environmental advantages such as reduced material consumption, the integration of energy-efficient systems, and a lower carbon footprint (Carvajal-Arango et al., 2019). However, the assumption that aesthetic simplicity directly equates to environmental sustainability must be critically reassessed. Visually minimalist structures may still generate significant carbon emissions or waste during construction. True sustainability, therefore, can only be achieved through life cycle

analysis and holistic design decisions (Perrucci & Baroud, 2020). Moreover, minimalist design holds significant value in terms of cultural sustainability (Sutantio et al., 2022). This concept includes not only the preservation of architectural heritage but also the continuity of lifestyles, collective memory, and value systems (Kaur, 2024). By reinterpreting local materials, traditional construction techniques, and regional architectural identities, minimalist design can symbolically bridge the past and the future. The integration of design and cultural identity observed in Scandinavian countries offers a powerful example of this potential. Similarly, in the context of Turkey, minimalist structures developed using local techniques can play a strategic role in balancing heritage conservation with contemporary needs (Oktay, 2020; Sarı Haksever & Markoç, 2020).

Minimalist housing offers flexibility not only at the physical level but also behaviorally and socially (Radogna & Kalhoefer, 2022). De Paris and Lopes (2018) emphasize that functional flexibility entails not only the transformability of spaces but also the creation of multifaceted experiential areas that can adapt to diverse lifestyles. Within this scope, modular systems, off-site construction methods, and digital fabrication tools enhance both production efficiency and user satisfaction (Molavi & Barral, 2016; Kamali & Hewage, 2017). For instance, modular systems such as expandable housing units or prefabricated wall panels can be easily adapted to different household sizes or local climatic conditions, illustrating the scalability and flexibility of minimalist solutions. Industrialized construction technologies in particular shorten construction time, reduce costs, and limit environmental impacts by minimizing waste generation (Du et al., 2023).

Another key dimension of minimalist housing production is its potential contribution to social sustainability. Planning decisions that prioritize shared spaces, communal areas supporting neighborhood relationships, and expandable modular units contribute to the formation of integrated living environments at the community scale (Vijayakumar et al., 2024). In this context, the success of minimalist housing should be evaluated not only in terms of spatial efficiency but also in its capacity to foster social cohesion and solidarity (Kang et al., 2021). For example, the provision of adaptable communal zones and expandable modules in social housing not only promotes neighborhood cohesion but also allows users to shape their environment over time.

Accordingly, minimalist housing design should be conceptualized as a holistic strategy, one that brings together formal simplicity, production efficiency, environmental performance, cultural continuity, and social adaptability within a unified architectural response. The effective implementation of this approach requires not only architectural practice but also a broader transformation toward simplification and transparency in urban policies, planning norms, and economic models. The following section will elaborate on the theoretical foundations and methodological justifications of the M1-M13 evaluation framework, followed by case analyses.

In practical terms, the M1-M13 model can be applied as a design evaluation tool during early project phases. For example, public housing competitions can integrate the criteria to assess not only spatial aesthetics but also contextual relevance, user needs, and long-term adaptability. Similarly, municipalities may utilize the model to shape urban development guidelines aligned with sustainability and inclusivity goals.

3. METHODOLOGY

3.1. Research Design

This study adopts a case analysis approach utilizing natural language processing (NLP) techniques to examine the multifaceted impact of minimalism in contemporary housing design. The foundation of the study lies in the M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria Set, derived from interdisciplinary literature and structured to encompass dimensions ranging from aesthetics to production processes, energy efficiency to social sustainability. The research design was structured to enable architectural data to be analyzed not only visually but also through textual content.

In this context, architectural narrative forms such as architect statements, project briefs, and presentation documents were rendered measurable, and a text-based analytical model was developed beyond conventional observational interpretations. This approach allows the design tendencies of the projects to be evaluated not through their physical form but through the architect's discourse. This approach is especially valuable in architectural research, where discourse often shapes perception as much as physical form. By applying NLP techniques, the study transforms interpretive, language-based data into quantifiable indicators. This not only enhances the objectivity of architectural critique but also enables large-scale comparisons of projects based on their thematic priorities.

3.2. M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria

The formulation of the M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria is grounded in the necessity of establishing a comprehensive framework that encompasses not only the aesthetic qualities of minimalism but also its functional, environmental, social, and user-oriented dimensions. This study combines theory-driven foundations with

computational text analysis to develop an original and replicable evaluation model that translates abstract architectural ideals into measurable indicators. The development process of the criteria began with a systematic literature review spanning multiple disciplines, including architecture, sustainable construction, behavioral sciences, and urban studies. Accordingly, the criteria are not solely based on formal definitions of minimalism, but are informed by literature that emphasizes its pragmatic, environmental, and psychological implications in housing design.

In this regard, Cuadrado et al. (2015) and Carvajal-Arango et al. (2019) emphasize operational simplification and resource optimization in architectural production through the exclusion of non-value-adding processes (M1) and the promotion of lean construction principles (M8). The central role of user well-being (M2), mental clarity, and sensory comfort in minimalist environments is supported by the work of Kang, Martinez, and Johnson (2021), which frames minimalism as a behavioral and emotional model of well-being rather than merely an aesthetic sensibility. Criteria such as functional simplicity (M3), life-cycle-based design (M4), and environmental efficiency (M5) are derived from sustainability-oriented studies, including those by Sutantio et al. (2022) and Carvajal-Arango et al. (2019), which advocate for decision-making based on life-cycle assessments and low-carbon material strategies in housing design. The M6 criterion, centered on functional flexibility, is theoretically based on Radogna and Kalhoefer's (2022) work, which promotes spatial configurations and adaptable lifestyles oriented toward user-centric design in multilayered urban contexts. Criteria such as transparency in the design process (M7) and ease of intervention using low-tech strategies (M9) draw on findings by El-Husseiny and El-Setouhy (2022) and Markoc (2021), which underscore user participation and community engagement as essential components of sustainable practices, thus highlighting the social dimension of minimalism. The modularity and off-site construction criterion (M10) is derived from Kamali and Hewage (2017) and Molavi and Barral (2016), whose research emphasizes that prefabrication enhances construction speed, cost efficiency, environmental control, and waste reduction. Technological simplicity (M11), use of local materials (M12), and durability through ease of maintenance (M13) attribute significance to minimalism in terms of contextual sensitivity, resilience, and cultural sustainability. These criteria align with the holistic design frameworks advocated by Sutantio et al. (2022) and Carvajal-Arango et al. (2019), which highlight the necessity of integrating material choices, life-cycle approaches, and site-specific adaptations.

Unlike traditional assessment schemes in the literature that often prioritize visual or spatial form, the M1-M13 criteria set positions minimalism as a system of values and a set of operational strategies. Each criterion is articulated using discipline-specific terminology and is structured through thematic keyword clusters. This framework allows the application of Natural Language Processing (NLP) techniques to architectural narratives. Beyond increasing the objectivity of architectural critique, this approach enables large-scale comparative analyses through numerical metrics such as contextual richness, term frequency, and thematic co-occurrence. Each criterion is grounded in established literature across architecture, sustainability, production efficiency, and user-centered design. In this regard, the proposed evaluation framework encompasses both conceptual coherence and practical applicability. For instance, modularity (M10) and scalability are exemplified in prefabricated wall systems that can be adapted to varying plot sizes or household needs, supporting flexible implementation across diverse project contexts. Table 2 presents the theoretical foundation of the M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria.

Table 2 Minimalist Housing Design Criteria.

Code	Minimalist Design Criterion	References
M1	Avoidance of non-value-added activities	Cuadrado et al. (2015); Carvajal-Arango et al. (2019)
M2	Focusing on basic user needs and enhancing human well-being	Kang, Martinez & Johnson (2021); Radogna & Kalhoefer (2022)
M3	Avoidance of uncertainty and functional complexity in design	Radogna & Kalhoefer (2022)
M4	Integration of simplification and optimization of construction time and life cycle	Carvajal-Arango et al. (2019); Sutantio et al. (2022)
M5	Reduction of resource use, carbon emissions, and construction waste through simplification of processes, materials, and spaces	Carvajal-Arango et al. (2019); Sutantio et al. (2022)
M6	Providing spatial diversity through functional flexibility	Radogna & Kalhoefer (2022)
M7	Increasing transparency and simplicity in the design process	El-Husseiny & El-Setouhy (2022)
M8	Lean thinking throughout all design, production, and disposal phases	Carvajal-Arango et al. (2019); Sutantio et al. (2022)
M9	Early identification and simple optimization of intervention-required points	El-Husseiny & El-Setouhy (2022)
M10	Use of modular and off-site construction to support construction time and	Molavi & Barral (2016); Kamali &

Code	Minimalist Design Criterion	References
	workflow	Hewage (2017)
M11	Enhancing design impact by minimizing the use of tools and technologies	Sutantio et al. (2022); Carvajal-Arango et al. (2019)
M12	Emphasis on locality (natural materials, cultural compatibility)	Sutantio et al. (2022)
M13	Durability and ease of maintenance	Carvajal-Arango et al. (2019)

This criteria set, which integrates theoretical paradigms with data-driven content analysis, serves as a modular, replicable, and scalable tool applicable across various fields such as architectural evaluation, policy development, and academic research. In this way, minimalism is redefined not as an abstract formal ideology, but as a concrete, measurable, and strategic design approach.

3.3. Data Collection and Case Selection

The sample analyzed in this research consists of seven mass housing projects built between 2012 and 2024, selected from diverse geographies including the United States, United Kingdom, India, Canada, and Portugal. The selection criteria were as follows: (i) the project must qualify as mass housing aimed at social, affordable, or mixed-income groups; (ii) accessibility to design documents, plans, interviews, and visual materials must be ensured; (iii) the project must align with principles of sustainability, functionality, and simplification; (iv) the availability of qualified textual data enabling an in-depth analysis based on the M1-M13 criteria. The selected projects are presented in Table 3.

Table 3 Projects analyzed in the study

Project Name	Year	City / Country	Architecture Firm	Functions
Via Verde	2012	New York, USA	Grimshaw Architects, Dattner Architects	Housing, commercial, health center, public green spaces
52 New Street	2021	Cambridge, USA	Just-A-Start, Rode Architects	Affordable housing, community room, commercial, gym
Park Hill Phase 2	2017	Sheffield, UK	Mikhail Riches	Housing, studios, student dormitory, offices
UDAAN	2018	Mumbai, India	Sameep Padora and Associates	Affordable housing, daycare, gym, commercial
Cité Angus II	2023	Montreal, Canada	Ædifica	Housing, commercial, public green spaces
Platforms for Life	2021	Vancouver, Canada	LWPAC, Intelligent City	Net-zero housing, education, health, urban farming, social spaces
Adro	2023	Lisbon, Portugal	MASSLAB	Affordable housing, commercial, public spaces

3.4. NLP Based Analyzing Process

This section outlines the process of converting qualitative architectural narratives into quantifiable data for analytical purposes.

-Text Corpus Construction and Preprocessing

The text corpus for each project was compiled from architectural narratives, promotional documents, interviews, and technical reports in PDF and DOCX formats. Each corpus comprised approximately 1,500 to 2,000 words. During preprocessing, all text was converted to lowercase. Then, punctuation marks, stop words, numerical data, and HTML codes were removed. Lastly, lemmatization was applied to reduce words to their root forms. This stage was executed using Python programming language with the support of the spaCy, NLTK, scikit-learn, pandas, and TextBlob libraries.

-Construction of Thematic Dictionaries and Conceptual Matching

For each of the M1-M13 design criteria, thematic keyword sets were constructed based on literature review. For

instance, the M5 (Energy and Resource Efficiency) criterion included terms such as energy-saving, solar, passive, and emission, while the M12 (Locality and Cultural Context) criterion featured terms like vernacular, local materials, and cultural continuity. Using these term clusters, conceptual matches within the texts were identified, and overlap maps were created for each criterion. These matches were implemented using regular expressions (Regex) via Python's re library. The complete list of key terms associated with each criterion is shown in Table 4.

Table 4 Minimalist Design Criteria and Associated Key Terms

Criteria	Key Terms
M1	efficiency, simplification, waste reduction, streamlined, optimization, eliminate steps, unnecessary process, non-value-added
M2	comfort, well-being, daylight, human scale, livability, health, accessibility, mental health, thermal comfort, social inclusion
M3	clarity, legibility, simplicity, clean lines, visual order, functional clarity, reduced complexity, uncluttered, minimal elements
M4	lifecycle, durability, maintenance, long-term use, adaptability over time, life-span, disassembly, cradle-to-cradle
M5	energy-saving, solar, thermal mass, passive design, low-carbon, emission reduction, renewable, insulation, green energy, reuse, embodied energy
M6	adaptable, convertible, flexible layout, multipurpose, hybrid space, reconfigurable, transformation, modular use
M7	stakeholder involvement, participation, co-design, transparency, community engagement, user feedback, inclusive process, consultation
M8	lean construction, lean thinking, process efficiency, just-in-time, minimal intervention, value-driven, streamlined workflow
M9	passive systems, self-regulation, intuitive solutions, straightforward repair, easy fix, low-tech intervention, modular upgrade
M10	prefabricated, modular, off-site, dry-construction, pods, panelized, factory-built, rapid assembly, plug-in units
M11	low-tech, simplified technology, user-friendly systems, minimum infrastructure, passive systems, reduced mechanical dependency
M12	local materials, vernacular, cultural context, indigenous, site-specific, regional identity, local climate, cultural continuity
M13	durability, robustness, low maintenance, weather resistance, material longevity, replaceability, resilient design, ease of upkeep

-Frequency and Contextual Relevance Analysis

Thematic intensity refers to how strongly a specific concept (e.g., user well-being) is emphasized across a text, while conceptual matching involves identifying semantically related terms within predefined clusters, ensuring both direct and indirect associations are captured. Using Bag of Words (BoW) and Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) vectorization techniques, each term's frequency and contextual distinctiveness within the documents were calculated. These analyses allowed for a quantifiable distribution of thematic intensity across each corpus. The implementation was carried out in Python using the CountVectorizer and TfidfVectorizer classes from the sklearn.feature_extraction.text module of the scikit-learn library.

-Thematic Coverage and Depth Scoring (0-6 Scale)

The keyword matches were evaluated not solely based on numerical frequency but also considering their contextual placement and conceptual depth within the texts. Accordingly, each criterion was scored on a 0-6 scale. Initial scoring was performed automatically via NLP algorithms. In edge cases (particularly between score levels 2 and 3), manual contextual verification was conducted by the authors to refine the scoring. This step minimized potential false positives or negatives and enhanced the reliability of the results.

-Visualization

The scores obtained for each project under the M1-M13 criteria were compiled into a numerical matrix, forming the foundational dataset for thematic analysis. The matrix was structured along the project-criterion axes, enabling both project-wise and criterion-wise comparisons. The multidimensional dataset was then visualized using various techniques. In the first stage, radar charts were employed to depict each project's representational strength across the M1-M13 criteria. These visuals highlighted strong and weak thematic areas. In the second stage, a heatmap matrix encompassing all seven projects was produced, revealing thematic intensities and representational gaps across criteria. Visualization was conducted using Matplotlib and Tableau software. This methodological

framework allowed the integration of both qualitative and quantitative data into a single platform, ensuring a replicable and objective analysis of architectural narratives. The resulting visualizations not only served descriptive purposes but also functioned as tools for explanatory and comparative analysis, offering a robust foundation for the systematic evaluation of architectural discourse.

The evaluation model developed in this study can be adapted for use in design education studios, housing competition juries, and early-stage municipal project assessments. For example, by applying M1-M13 scores during preliminary reviews, stakeholders can prioritize projects that align not only with aesthetic expectations but also with long-term sustainability and user-centered design goals.

4.FINDINGS

Within the scope of this research, seven housing projects selected from diverse geographical and cultural contexts were analyzed using the M1-M13 Minimalist Design Criteria. The scoring was conducted on a 0-6 scale, with 78 identified as the highest cumulative score, serving as an objective reference point for cross-project comparisons. Criterion-based assessments revealed clear strengths and weaknesses of each project.

Located in New York, the Via Verde project demonstrated strong representation in lifecycle approach (M4), energy efficiency (M5), and user well-being (M2). The architectural narratives prominently emphasized passive strategies and comfort-oriented design. However, limited content was found regarding transparency in the design process (M7), formal clarity (M3), and technical simplicity (M11), while themes such as modularity and stakeholder participation were underrepresented.

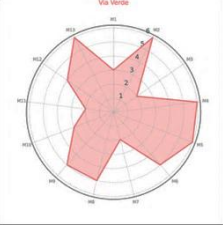
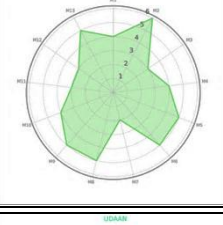
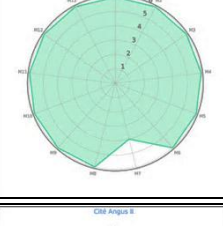
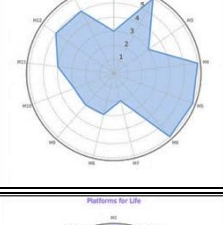
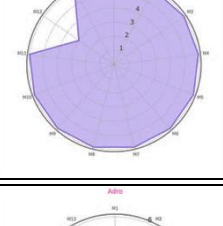
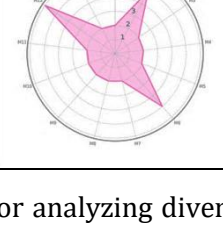
From the United Kingdom, the 52 New Street project clearly highlighted environmental strategies (M5), process simplification (M1), and low-tech solutions (M11), with explicit references to the Passive House certification. However, it lacked depth in cultural context (M12), modular systems (M10), and user engagement (M7). Similarly located in the UK, the Park Hill Phase 2 project stood out for its strong emphasis on user orientation (M2), spatial flexibility (M6), and repairability (M9). Yet, the project scored low in cultural continuity (M12), participatory processes (M7), and formal simplicity (M3). It also lacked narrative depth in production efficiency (M8).

India's UDAAN project exhibited the most holistic minimalist approach among all, with high scores across all criteria. Themes such as process efficiency (M1), modularity (M10), durability (M13), and the use of local materials were strongly articulated. Integration of low-tech systems (M11) was also evident. However, the content lacked sufficient emphasis on social participation (M7).

In Canada, the Cité Angus II project presented rich narratives around energy efficiency (M5), user satisfaction (M2), and spatial flexibility (M6). Nonetheless, it showed weaker representation in process management (M8), modular construction (M10), and technical simplification (M11). While integration with the local context (M12) was expressed with conceptual strength, content regarding transparency in the design process (M7) was limited.

The Platforms for Life project from Portugal demonstrated balanced and advanced representation across all criteria. In particular, it stood out in modularity (M10), user satisfaction (M2), and low-tech system integration (M11). Its narratives offered detailed and conceptually rich content on production processes and energy efficiency. However, discussion on cultural context (M12) was sparse, with little emphasis on themes like regional identity or local adaptation. Also located in Portugal, the Adro project focused on urban integration (M12) and spatial flexibility (M6), but exhibited weak representation in energy efficiency (M5), process simplicity (M8), and technical clarity (M11). The architectural narratives mainly revolved around formal design and the relationship with public space, with insufficient attention given to user-system interaction and project lifecycle strategies. This evaluation clearly demonstrates the systematic variation among projects in terms of their performance across the M1-M13 design criteria (Table 5).

Table 5 Evaluation of Projects According to Minimalist Design Criteria: Strengths, Weaknesses, and Radar Analysis

Project Name	Total Score	Strong Criteria	Weak Criteria	Commentary	Radar Graph
Via Verde	58	M2, M5, M8, M13	M4, M3, M6, M11, M9,	M7, Strong in sustainability, user well-being, and lifecycle; weak in design transparency and simplicity.	
52 New Street	59	M1, M5, M13	M2, M7, M11, M12	M10, Highlights energy and process efficiency; lacks cultural context and user engagement.	
Park Hill Phase 2	54	M2, M6, M9, M13	M5, M3, M8, M12	M7, Strong user orientation and flexibility; weak cultural continuity and formal clarity.	
UDAAN	72	M1-M6, M8-M13	M7	High achievement across all criteria; only participation theme is underrepresented.	
Cité Angus II	56	M2, M6, M13	M4- M1, M11- M7, M10	M3, Strong in energy and local context; weak M8, in process and lean strategies.	
Platforms for Life	72	M1-M6, M7-M11, M13	M12	Balanced and comprehensive success; lacks content on cultural context.	
Adro	50	M2, M12	M6, M1, M5, M7- M11, M13	M4, Focused on urban integration and flexibility; lacking in energy performance and technical clarity.	

The M1-M13 criterion set provides a comprehensive and comparative framework for analyzing diverse housing strategies in relation to environmental, technical, cultural, and user-oriented dimensions. Notably, the criteria of modular construction systems (M10) and technical simplification (M11) were found to be represented at a high level only in the Platforms for Life and UDAAN projects. These two cases explicitly integrate industrialized construction techniques, the use of prefabricated elements, and strategies aimed at reducing mechanical

dependencies within their architectural narratives. In contrast, these criteria were either only marginally addressed or entirely absent in the design discourse of the other projects.

Regarding locality and cultural context (M12), the assessment shows that European projects, particularly Adro and Park Hill Phase 2, more strongly reference local architectural traditions, material selection, and regional identity. Conversely, projects from North America and Asia tend to reflect cultural continuity only through indirect expressions and display a lower level of thematic intensity. Thematic intensity in this context refers to the depth and frequency with which specific design themes are discussed or emphasized within architectural narratives, rather than their mere mention. This finding suggests that the project's relationship with its socio-cultural context can be as influential as its formal design content.

Among the minimalist design criteria, transparency in the design process (M7) and ease of intervention (M9) received low scores across all analyzed projects. In most cases, architectural texts did not adequately address user participation, stakeholder dialogue, co-design processes, or the representation of low-tech systems. These results indicate that minimalism in the analyzed projects has primarily been interpreted through visual aesthetics or environmental benefit, while deeper dimensions such as social sustainability and process-oriented decision-making strategies have been largely overlooked. This imbalance underscores the need to expand the scope of minimalist housing design beyond environmental and visual efficiency. In future projects, embedding participatory design practices and stakeholder engagement into architectural narratives will be essential to fulfill the holistic vision of minimalism advocated in this study. Without such integration, minimalist discourse risks remaining reductive and disconnected from community-based value systems. These findings are visually represented in Figure 1, which presents a heatmap comparing the selected housing projects according to the M1-M13 Minimalist Design Criteria.

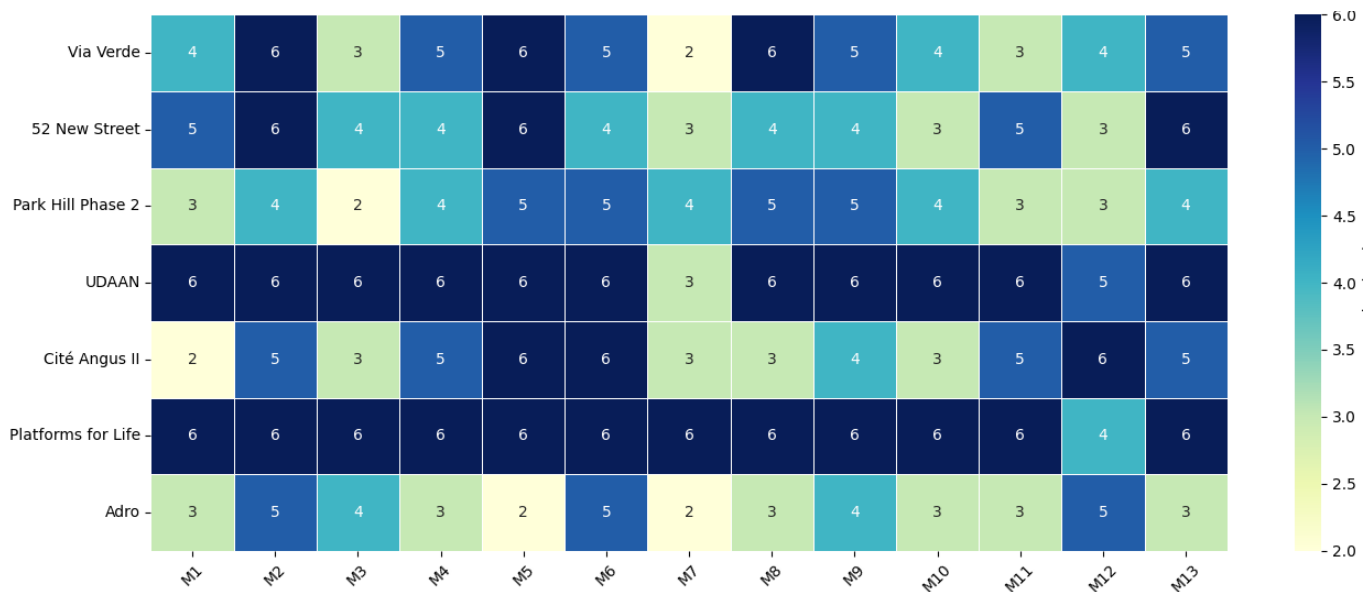


Figure 1 Heatmap of Project Evaluations According to the Minimalist Design Criteria

As observed in the heatmap (Figure 1), M7 and M9 criteria are consistently underrepresented across projects, reflecting limited emphasis on participatory design and ease of intervention. Natural language processing (NLP) analysis of the architectural narratives belonging to the selected housing projects revealed that the most frequently occurring terms were “daylight,” “flexibility,” “prefabricated,” “modular,” and “efficiency.” This finding suggests that contemporary architectural discourse predominantly centers around concepts such as user satisfaction, functional flexibility, and modular production. In contrast, terms like “participation,” “cultural continuity,” and “repairability” were found to be only sparsely represented in the narratives. In this context, the NLP-based architectural narrative analysis method functions as an objective, reproducible, and digitally sustainable methodological tool that quantifies conceptual density within architectural discourse. These findings demonstrate the necessity of evaluating architectural projects not only in terms of aesthetics and environmental performance but also in relation to broader parameters such as simplicity across lifecycle phases, social participation, and construction strategies. These insights can be operationalized in architectural competitions, municipal housing guidelines, and design education studios. For instance, early-phase project evaluations may adopt the M1-M13 model to prioritize submissions that integrate lifecycle thinking, cultural continuity, and user adaptability. Such applications can help bridge the gap between architectural discourse and policy-making. The results presented here lay a robust analytical foundation for the theoretical and practical insights discussed in the subsequent sections of the study.

5. DISCUSSION

The natural language processing (NLP)-based textual analyses conducted in this study have revealed, in a comprehensive and multidimensional manner, how seven contemporary housing projects selected from different geographical and cultural contexts are positioned in relation to the M1-M13 Minimalist Design Criteria. The findings reveal meaningful distinctions in the projects' conceptual density, representational gaps, and theoretical orientations, based not on visual appearances but on the architectural narratives themselves, marking a significant departure from traditional evaluation approaches. Here, conceptual density refers to how often and deeply a theme is engaged within a project's narrative, while representational gaps denote the complete or partial absence of critical criteria in design discourse.

5.1. Comparison with the Literature

The NLP-based analysis results show that advanced construction strategies such as modular production (M10) and technological simplification (M11) were comprehensively represented only in the Platforms for Life and UDAAN projects. This aligns with Kamali and Hewage (2017) and Molavi and Barral (2016), who emphasize the environmental and operational efficiency offered by industrialized construction techniques. For instance, modularity (M10) in Platforms for Life is represented through the use of prefabricated, plug-in units, while technological simplicity (M11) involves reduced mechanical systems that rely on natural ventilation and passive lighting. In the remaining projects, modularity and simplified construction systems were either minimally represented or entirely absent from the architectural narratives. This indicates that architectural discourse continues to prioritize formal and aesthetic expressions, often sidelining construction technologies.

Similarly, the cultural contextuality criterion (M12) was found to be more strongly represented in European projects, which referenced local materials, architectural traditions, and regional identity more prominently. This finding resonates with the concept of "design-integrated cultural identity" as described by Kaur (2024) and Oktay (2020). In contrast, North American and Asian projects tended to reflect universality through formal design principles, with only indirect references to local specificity. Notably, the weak representation of cultural contextuality in a project from India, a country with strong local architectural heritage, is especially striking.

One of the most critical findings of this study is the consistently weak representation of design process transparency (M7) and ease of intervention (M9), both of which are closely linked to social sustainability. Themes such as user participation, simplified intervention, and low-tech accessibility, emphasized by El-Husseiny and El-Setouhy (2022), were found to be marginal both in architectural narratives and in actual design processes. This suggests that minimalism, as interpreted in the analyzed projects, is still largely constrained to environmental performance and aesthetic formalism, while deeper structural dimensions like social sustainability remain underdeveloped. Similarly, criteria such as the elimination of non-value-adding processes (M1) and the integration of lean thinking principles into production (M8), highlighted by Carvajal-Arango et al. (2019) and Cuadrado et al. (2015), were underrepresented in architectural texts.

The NLP analyses revealed that the most frequently occurring terms in the architectural narratives were "daylight," "flexibility," "prefabricated," "modular," and "efficiency." This suggests a strong discourse focus on user well-being (M2), functional flexibility (M6), and production efficiency (M1-M5), while more holistic social and cultural themes like "participation," "repairability," and "cultural continuity" remained marginal. In this context, the user well-being representation aligns with Kang et al. (2021), who connect minimalism with individual welfare and behavioral harmony. Overall, the M1-M13 Minimalist Design Criteria Set provides a robust evaluative framework that goes beyond aesthetics to encompass variables such as production processes, user experience, technical systems, and cultural adaptability. This multidimensional model not only supports the "strong minimalist thesis" advanced by Freidin (2021) but also operationalizes the conceptual frameworks proposed by Lucchi (2023) and Heikkilä & Hautamäki (2024) through architectural narrative analysis.

5.2. Theoretical and Methodological Contributions

The theoretical contribution of this study lies in its redefinition of architectural minimalism, not as a purely formal aesthetic, but as a strategic, multidimensional structural framework that incorporates production processes, lifecycle optimization, and user-centricity. By moving beyond paradigms such as Bauhaus, Wabi-Sabi, or Lagom, and integrating contemporary sustainability practices with industrialized building technologies, the study addresses a significant gap in the literature. The M1-M13 Minimalist Design Criteria Set not only offers a theoretical structure but also functions as a functional evaluation tool validated through empirical analysis. This study views minimalism not as mere "reduction" but as the synthesis of simplified multi-parameter decisions, integrating frequently overlooked concepts such as functionality, durability, ease of intervention, and contextual sensitivity into architectural theory. Thus, minimalism is repositioned not as a stylistic tendency, but as a systematic strategy

directly tied to measurable goals like social sustainability, production efficiency, and user satisfaction.

On the methodological front, this study transforms NLP techniques, rarely employed in architectural research, into a systematic approach for analyzing textual narratives. Through tools such as spaCy, TF-IDF, and contextual intensity mapping, architectural texts were evaluated via replicable, quantifiable methods instead of subjective interpretation. This provides an original analytical approach that renders design strategies legible through their textual representations. Particularly, the relationship between spatial minimalism and user well-being, as conceptualized by Kang et al. (2021), is tested in both conceptual and contextual terms within this study's project sample. In doing so, the psychological, behavioral, and social outputs of architectural design are made analyzable through narrative data.

The M1-M13 Minimalist Design Scale reconceptualizes architectural minimalism along the form-process-context axis and positions itself as an original tool enabling the quantitative measurement of multiple dimensions of minimalist practice. The study thus provides a theoretical grounding for viewing minimalism not just as a stylistic expression, but as a structured strategy for multidimensional design decision-making. Rather than restating architectural theory, the NLP-driven model allows researchers and practitioners to map conceptual focus and thematic gaps across diverse projects in a quantifiable way.

5.3. Practical Contributions

In addition to its theoretical depth, this study also offers significant guidance for practical implementation in the architectural field. The integration of the M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria Set with the NLP-based analysis method transforms the model into a multidimensional decision-support tool applicable not only in academia but also in real-world planning and evaluation contexts. One of its primary practical contributions is the introduction of a criteria-based design guidance system. By translating abstract concepts into measurable parameters, the M1-M13 Criteria Set serves as a systematic guide from the early stages of the design process onward. This framework supports the objective interrogation of design content and the standardization of quality levels in architectural competitions, sustainable housing policies, and urban regeneration initiatives. It also enhances interdisciplinary accountability by enabling architects to document conceptual decisions transparently and measurably.

Moreover, the NLP-based thematic analysis method employed in this study moves architectural discourse beyond traditional interpretive approaches, allowing for the quantitative analysis of textual content. By treating architect statements, project descriptions, and promotional texts as primary data, the study replaces subjective evaluation models with reproducible, comparable, and objective outputs. This enables a clearer and more systematic analysis of the alignment, or misalignment, between architectural discourse and actual design actions. The model can be directly adapted into architectural studio coursework to assess student projects based on user-centric and ecological principles. Moreover, municipal planning departments may embed the criteria into affordable housing guidelines, enabling policymakers to screen proposals based on design clarity, lifecycle alignment, and social inclusion. In post-occupancy evaluation, the M1-M13 matrix can also guide community feedback assessments.

One of the key practical advantages of the M1-M13 model is its capacity to support objective, comparative analysis. Visualizations such as radar charts and heatmaps enable stakeholders, including jurors, municipalities, and policy-makers, to identify thematic strengths and gaps across housing projects with clarity. This enhances transparency and consistency in multi-criteria decision-making, particularly in high-stakes contexts. Moreover, the model provides a scalable and replicable framework suitable for guiding public policies focused on affordable, energy-efficient, and socially responsive housing. Its scalability allows it to be applied across diverse project sizes, while replicability ensures consistent evaluation across different geographic and cultural contexts, fostering a data-driven design culture within architectural practice.

6.CONCLUSION

This study redefines architectural minimalism not merely as an aesthetic preference, but as a multidimensional and measurable design paradigm. The developed M1-M13 Minimalist Housing Design Criteria offer a structured framework that extends architectural minimalism beyond formal aesthetics to encompass production efficiency, technical simplification, functional adaptability, and cultural continuity. By integrating natural language processing (NLP) techniques, the model enables a hybrid evaluation approach that combines qualitative depth with semi-quantitative analysis of architectural narratives from seven contemporary housing projects.

The analyses demonstrate that minimalism can be structured not only at the level of architectural products but also across the entire project life cycle, environmental strategies, and user-oriented design approaches. Projects that scored highly in criteria such as modular construction systems (M10), energy and resource efficiency (M5),

technical simplification (M11), and user well-being (M2) stand out as comprehensive examples that reflect the holistic potential of minimalism in contemporary architecture. On the other hand, low representation in criteria such as transparency in design (M7), sensitivity to cultural context (M12), and ease of intervention (M9) indicates that minimalism must also incorporate social and behavioral dimensions, beyond its physical manifestations.

On a theoretical level, the study repositions minimalism not as a strict interpretation of the “less is more” principle, but rather as a distilled expression of strategic design decision-making. The M1-M13 scale offers an objective and conceptual assessment model across the form-process-user triad in architectural theory, expanding the contemporary interpretation of minimalism in an interdisciplinary context. Methodologically, the study integrates NLP techniques, rarely applied in the field of architecture, into architectural text analysis, enabling designer statements to be analyzed in a data-driven and reproducible manner. The scoring based on thematic density and contextual correlation derived from architectural narratives provides a tangible and original evaluation tool for critical architectural theory. In this context, thematic density refers to the depth and recurrence of key design ideas in the text, while contextual correlation evaluates how well these ideas align with specific criteria clusters across different projects. Moreover, the M1-M13 criteria set holds the potential to serve as a modular, flexible, and scalable decision-support system for applications in architectural education, design competitions, housing policy, and urban regeneration practices. For instance, architectural schools may integrate the M1-M13 framework into studio evaluations; housing agencies could use it to assess design proposals in affordable housing calls; and municipalities might embed the model in planning guidelines to ensure lifecycle sustainability and user engagement. Here, modularity denotes the ability to adapt the criteria set based on context (e.g., public vs. private housing), while scalability reflects its potential to evaluate both small-scale units and large-scale urban development projects.

6.1. Limitations and Future Research

In addition to its contributions, the study also outlines several limitations to guide future research. First, all analyses were conducted based solely on textual architectural narratives. The absence of direct observation of physical outputs, user experiences, or project life cycle performance limited the capacity to evaluate user-centered criteria in real-world terms. Future studies would benefit from incorporating empirical data such as user feedback, post-occupancy satisfaction surveys, and on-site observations, thereby enhancing the internal validity of the scale. Second, the number and geographic diversity of analyzed projects were limited. While the sample represents countries like the USA, Canada, the UK, India, and Portugal, the architectural practices, local construction traditions, and socio-economic dynamics of the Global South remain underrepresented. In this respect, cross-cultural comparative studies could better illuminate the meaning and application of minimalist housing architecture in diverse socio-cultural contexts. A third limitation lies in the fact that the NLP algorithms used in this study were focused solely on textual analysis. In future research, integrating OCR-based visual recognition tools, plan-reading algorithms, or machine learning-supported models could facilitate a more layered and comprehensive architectural analysis that extends beyond textual data. Lastly, no simulation or pilot implementation has yet been conducted to explore how the M1-M13 criteria set could be directly used as a policy-making tool. Pilot implementations in collaboration with housing authorities or design competition juries could help validate the model's applicability and refine its operational criteria based on stakeholder feedback. The model's practical applicability in fields such as social housing, post-disaster reconstruction, and sustainable urban transformation needs to be tested through advanced fieldwork. These limitations simultaneously indicate areas for future development and offer new pathways for research, enabling the complex nature of minimalism to be explored and tested across multiple contexts and scales.

Conflict of Interest Statement

The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contribution Statement

The article is a result of joint work by the authors, each of whom contributed equally.

REFERENCES

- Blackburn, R., Leviston, Z., Walker, I., & Schram, A. (2024). Could a minimalist lifestyle reduce carbon emissions and improve wellbeing? A review of minimalism and other low consumption lifestyles. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 15(2), e865. <https://doi.org/10.1002/wcc.865>
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1322-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216>
- Cuadrado, J., Zubizarreta, M., Rojí, E., García, H., & Larrauri, M. (2015). Sustainability-related decision making in industrial buildings: An AHP analysis. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(1), Article 157129. <https://doi.org/10.1155/2015/157129>
- De Paris, S. R., & Lopes, C. N. L. (2018). Housing flexibility problem: Review of recent limitations and solutions. *Frontiers of Architectural Research*, 7(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.11.004>
- Du, J., Zhang, J., Castro-Lacouture, D., & Hu, Y. (2023). Lean manufacturing applications in prefabricated construction projects. *Automation in Construction*, 150, 104790. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104790>
- El-Husseiny, M. A., & El-Setouhy, H. (2022). Sürdürülebilirlik yöntemi olarak düşük teknoloji inşaat modlarının canlandırılması. *Sürdürülebilirlik*, 14(21), 13762. <https://doi.org/10.3390/su142113762>
- Ertürk, Ö. F., & Markoç, İ. (2025). Young adults' accessible and affordable housing challenge in Istanbul. *Eren Journal*, 4(6), 9-27.
- Freidin, R. (2021). The strong minimalist thesis. *Philosophies*, 6(4), 97. <https://doi.org/10.3390/philosophies6040097>
- Heikkilä, M., & Hautamäki, R. (2024). Restorative environmental experiences: Uncovering the invisible and visible attributes in Finnish forests and Japanese gardens - A literature review. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/09640568.2024.2418343>
- Kalhofer, G., & Radogna, D. (2022). Environmental and technological flexibility for new housing needs. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 7(1), 30-45. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2022.17461>
- Kallis, A. (2023). *The minimum dwelling revisited*.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2017). Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3592-3606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.108>
- Kang, J., Martinez, C. M. J., & Johnson, C. (2021). Minimalism as a sustainable lifestyle: Its behavioral representations and contributions to emotional well-being. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 802-813. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.001>
- Kaur, A. (2024). Minimalism: A game changer for industries. In *Sustainable Consumption Experience and Business Models in the Modern World* (pp. 125-143). 10.4018/978-1-6684-9277-2.ch006
- Kumar, S., Sakagami, K., & Lee, H. P. (2025). Beyond sustainability: The role of regenerative design in optimizing indoor environmental quality. *Sustainability*, 17(6), 2342. <https://doi.org/10.3390/su17062342>
- Lucchi, E. (2023). Energy and climatic performances of modern architecture: A complete overview of building physics implications. *Engineering Proceedings*, 53(1), 19. <https://doi.org/10.3390/IOCBD2023-15203>
- Markoç, İ. (2012). Bursa'nın Kentsel Gelişimi ve Konut Üretimi, Ph.D. Thesis, Uludağ University, Bursa, Turkey.
- Markoç, İ. (2018). Konut Kullanıcısı Hareketliliğinde Kalite ve Memnuniyet Değerlendirmesi: Sarıgöl Konut Dönüşüm Alanı. (Doctoral dissertation), Yıldız Technical University, Institute of Science, Istanbul, Turkey.
- Markoç, İ., & Çınar, C. (2017). Reading housing satisfaction parameters over housing mobility in the redevelopment process: Sarıgöl, Istanbul, Turkey. *Cogent Social Sciences*, 3(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311886.2017.1412915>
- Markoç, İ., & Çınar, C. (2018). Loss of social belonging, displacement and social exclusion in the neighbourhood:

- Urban redevelopment in Sarıgöl, Istanbul, Turkey. *Megaron*, 13(2), 169-181. <https://doi.org/10.5505/megaron.2017.97658>
- Markoc, Ilkim (2021). Poverty and Difficulties in Participation of Urban Social Life: Young Women in Istanbul. *Journal of International Women's Studies*, 22(9), 49-67.
- Marrero, M., Rivero-Camacho, C., Martínez-Rocamora, A., Alba-Rodríguez, D., & Lucas-Ruiz, V. (2024). Holistic assessment of the economic, environmental, and social impact of building construction: Application to housing construction in Andalusia. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140170>
- Molavi, J., & Barral, D. L. (2016). A construction procurement method to achieve sustainability in modular construction. *Procedia engineering*, 145, 1362-1369. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.201>
- Oktay, D. (2020). Towards sustainable habitats in Turkey: Challenges and prospects for the future. *Ekistics and The New Habitat*, 80(1), 3-10. <https://doi.org/10.53910/26531313-E2020801436>
- Perrucci, D., & Baroud, H. (2020). A review of temporary housing management modeling: Trends in design strategies, optimization models, and decision-making methods. *Sustainability*, 12(24), 10388. <https://doi.org/10.3390/su122410388>
- Rulli, D. (2007). Less is more: Ludwig Mies Van Der Rohe, glass houses and immigration. *Teaching History: A Journal of Methods*, 32(2), 92-97. <https://doi.org/10.33043/TH.32.2.92-97>
- Sari Haksever, T., & Markoç, İ. (2020). Social Perception of the Green Roofs in contribution to Urban Sustainability: Istanbul. *Journal of Developing Country Studies*, 10(4). <http://doi.org/10.7176/dcs/10-4-08>
- Sutantio, A., Anwar, N., Wiguna, I. P. A., & Suryani, E. (2022). Developing a model of sustainable construction for condominium projects in developing countries; case of Indonesia. *GEOMATE Journal*, 23(96), 85-94. <https://doi.org/10.21660/2022.96.3319>
- Vijayakumar, A., Mahmood, M. N., Gurmu, A., Kamardeen, I., & Alam, S. (2024). Social sustainability assessment of road infrastructure: A systematic literature review. *Quality & Quantity*, 58(2), 1039-1069. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01683-y>