

Yönetim Bilişim Sistemleri *Derneği Dergisi*

Cilt:1 | Sayı:1 | 2025

ISSN: 3108-6454



*Journal of Management Information
Systems Association*

<https://www.ybs.org.tr/ybsdd>



YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ DERNEĞİ DERGİSİ
Journal of Management Information Systems Association

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

Yıl/Year: 2025

Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği Yayınevi

© Tüm Hakları Saklıdır (All Rights Reserved)

İzmir 2025

Baş Editörden

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin yönetim süreçleri üzerindeki dönüştürücü etkisi, Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) alanını günümüzün en dinamik ve disiplinler arası araştırma alanlarından biri hâline getirmiştir. Teknolojik gelişmelerin yalnızca teknik yönleriyle değil; organizasyonel, yönetsel, stratejik, etik ve toplumsal boyutlarıyla da ele alınması, bu alanda üretilen bilimsel bilginin önemini her geçen gün artırmaktadır.

Elinizdeki bu sayı, Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği Dergisi (YBSDD)'nin ilk sayısı olup, dergimiz için planlı, sürdürülebilir ve nitelik odaklı bir akademik yayın sürecinin başlangıcını temsil etmektedir. YBSDD, Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği bünyesinde yayımlanan hakemli bir bilimsel dergi olarak; Yönetim Bilişim Sistemleri alanına katkı sunan özgün ve nitelikli akademik çalışmaları yayımlamayı amaçlamaktadır.

Dergimiz, Türkiye merkezli bir yayın olmakla birlikte uluslararası akademik camiaya açık bir yayın politikası izleyecektir. Yayın dili Türkçe ve İngilizce olan YBSDD, yurt içi ve yurt dışından gelecek akademik çalışmaları bilimsel özgünlük ve etik ilkeler çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamakta; ulusal akademik birikimin görünürlüğünü artırırken uluslararası akademik etkileşimi teşvik etmeyi hedeflemektedir.

YBSDD; yönetim bilişim sistemleri alanındaki kuram, model ve uygulamalar başta olmak üzere; dijital dönüşüm ve iş zekâsı, veri bilimi ve analitiği, karar destek sistemleri, yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları, bilgi güvenliği, etik ve gizlilik, kurumsal kaynak planlama (ERP) ve iş süreçleri yönetimi, e-iş ve e-ticaret, bilişim yönetimi, kullanıcı deneyimi ve sürdürülebilir dijitalleşme gibi pek çok alanda yapılan çalışmalara açıktır. Dergimizde araştırma makaleleri, derleme çalışmaları, teknik notlar ve vaka analizleri yoluyla alan yazına kalıcı katkılar sunulması hedeflenmektedir.

Dergimizde yayımlanmak üzere gönderilen tüm çalışmalar, çift kör hakemlik süreci kapsamında; akademik özgünlük, bilimsel etik ve yayın ilkeleri doğrultusunda titizlikle değerlendirilmektedir. YBSDD, yayın süreçlerini uluslararası akademik standartlarla uyumlu biçimde yapılandırmayı; DergiPark başta olmak üzere akademik dizinlerde yer almayı ve zaman içerisinde derginin görünürlüğünü ve etki alanını artıracak indeksleme çalışmalarını sürdürmeyi amaçlamaktadır.

Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki sayı yayımlanan YBSDD'nin, Yönetim Bilişim Sistemleri alanında çalışan akademisyenler, araştırmacılar ve uygulayıcılar için güvenilir, erişilebilir ve saygın bir bilimsel yayın platformu hâline gelmesini temenni ediyorum.

Bu ilk sayının hazırlanmasında emeği geçen editörümüze, danışma kuruluna ve yayın kuruluna; dergi sekreteryası, tasarım ile dizgi ve mizanpaj süreçlerini titizlikle yürüten ekibimize ve derginin dijital altyapısının oluşturulmasına katkı sağlayan web tasarım sorumlularımıza teşekkür ederim. Ayrıca, değerlendirme sürecine katkı sunan hakemlerimize ve dergimizin yayın hayatına nitelikli çalışmalarıyla destek veren yazarlarımıza şükranlarımı sunarım.

Saygılarımla,

Prof. Dr. Üstün Özen

Baş Editör

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ DERNEĞİ DERGİSİ

Journal of Management Information Systems Association

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

Yıl/Year: 2025

Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği Dergisi (YBSDD), Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği bünyesinde Haziran ve Aralık aylarında yılda iki kere çevrim içi olarak yayımlanan hakemli ve süreli bir dergidir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergide yayımlanan çalışmalara ilişkin olarak yazarlara ödeme yapılmamakta ve yazarlardan makale gönderimi, editörlük süreçleri, yayın ücreti gibi hiçbir ad altında ücret talep edilmemektedir. Dergide yer alan yazıların sorumluluğu yazarlarına aittir. Dergide yer alan yazılar kaynak gösterilmeksizin alıntılanamaz.

Yayımcı/Publisher

Yönetim Bilişim Sistemleri Derneği

Baş Editör/Editor in Chief

Prof. Dr. Üstün ÖZEN, Atatürk Üniversitesi

Editör/Editor

Prof. Dr. Serkan ADA, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Dergi Sekreteryası/Editorial Assistant

Öğr. Gör. Yasemin BERTİZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Dizgi ve Mizanpaj/Typesetting and Layout

Demet KÖSEOĞLU, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Web Tasarım/Web Design

Dr. Öğr. Üyesi Uğur DEMİREL, Gümüşhane Üniversitesi

Adres/Address: Yalı Mah. Mithatpaşa Cad. Dış Kapı No:341 İç Kapı No: 1,
Güzelbahçe/İzmir/Türkiye

E-Posta/E-Mail: ybsdd@ybs.org.tr

Web Sitesi/Web Site: www.ybs.org.tr/ybsdd

DANIŞMA KURULU/ADVISORY BOARD

Prof.Dr. Erman COŞKUN, Bahçeşehir Üniversitesi
Prof.Dr. Yılmaz GÖKŞEN, Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof.Dr. Sabri ERDEM, Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof.Dr. Oğuz KAYNAR, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Prof.Dr. Handan CAM, Gümüşhane Üniversitesi
Prof.Dr. Serkan ADA, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi
Doç. Dr. Ömer AYDIN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammet DAMAR, Muğla Sıtkı Koçma Üniversitesi

YAYIN KURULU/EDITORIAL BOARD

Doç. Dr. Ahmet Gürkan Yüksek, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Fulya Aslay, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Doç. Dr. Naciye Güliz Uğur, Sakarya Üniversitesi
Doç. Dr. Özel SEBETCİ, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Vildan ATEŞ, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Başak Gök, Gazi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Burcu Sayın Okatan, Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Denizhan DEMİRKOL, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilek GÖNÇER DEMİRAL, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Doruk AYBERKİN, Bayburt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ersin Çağlar, Lefke Avrupa Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Funda AKAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Merve Vural Allaham, İstanbul Gelişim Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Akif Yenikaya, Kafkas Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Onur OKTAYSOY, Kafkas Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Uğur DEMİREL, Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Üzeyir Fidan, Uşak Üniversitesi
Dr. Metin Akbulut, İzmir Demokrasi Üniversitesi

BU SAYIDA KATKISI OLAN HAKEMLER/REFEREES OF THIS ISSUE

Prof. Dr. Aşkın ÖZDAĞOĞLU, Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Hülya BAKIRTAŞ, Aksaray Üniversitesi
Prof. Dr. Dilek PENPECE DEMİRER, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet Gürkan YÜKSEK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa KARTAL, Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Osman PALA, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Doç. Dr. Özel SEBETCİ, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Şule ÖZTÜRK BİRİM, Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi, Hasan Sadık TATLI, Galata Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi, Said ALTINIŞIK, Düzce Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Seyyide DOĞAN, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

URL ve HTML Özelliklerine Dayalı Yığın Modeliyle Kimlik Avı Web Sitelerinin Tespiti <i>Detection of Phishing Websites Using a Stacking Model Based on URL and HTML Features</i>	1-26
Aleyna Torlak, Esra Odabaş Yıldırım, Üstün Özen	
Blokzincir Tabanlı Finansal İşlem Uygulamalarının Tüketici Kabulü: Genişletilmiş TAM Modeli ile Ampirik Bir İnceleme <i>Consumer Adoption of Blockchain-based Financial Transaction Applications: An Empirical Investigation Using an Extended TAM Model</i>	27-56
Demet Köseoğlu, Serkan Ada	
Endüstri 4.0 Döneminde Enerji Verimliliğinin Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye <i>Impact of Energy Efficiency in Industry 4.0 Era: European Union Countries and Turkey</i>	57-69
Doğa Fehim, Ersin Çağlar	
Sınırların Yeniden Tanımlanması: BS ve YBS Disiplinlerinin Teorik Bir İncelemesi <i>Redefining the Boundaries: A Theoretical Review of IS and MIS Disciplines</i>	70-87
Beyza Güdek, Sharabiddin Ahmayev, Erman Coşkun	
Karbon Ayak İzi Dinamiklerinin Konu Modelleme ile İncelenmesi <i>Investigation of Carbon Footprint Dynamics Using Topic Modeling</i>	88-103
Özge Tuncer, Handan Çam	

URL VE HTML ÖZELLİKLERİNE DAYALI YIĞIN MODELİYLE KİMLİK AVI WEB SİTELERİNİN TESPİTİ

Aleyna TORLAK^a, Esra ODABAŞ YILDIRIM^b ve Üstün ÖZEN^c

Makale Bilgisi	Özet
Makale Türü Araştırma Makalesi Gönderim Tarihi: 16/10/2025 Kabul Tarihi: 26/11/2025 Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenimi, Lojistik Regresyon, Kimlik Avına Karşı Koruma, HTML Dizesi Yerleştirme, Yığın Modeli	Bu çalışmada, URL ve HTML özelliklerinden yararlanarak kimlik avı web sitelerinin tespiti için bir yığın (stacking) modeli önerilmektedir. Geliştirilen model, üçüncü taraf servislerine ihtiyaç duymadan hafif, gerçek zamanlı ve maliyet etkin bir tespit mekanizması sunmaktadır. Yığın modelinin Level-0 katmanında Naive Bayes, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier) gibi sınıflayıcılar; Level-1 katmanında ise meta öğrenici olarak Lojistik Regresyon kullanılmıştır. Model performansı, 130.127 web sayfasından oluşan “phish.csv” veri seti üzerinde değerlendirilmiştir. Temel sınıflayıcılar arasında SVM %90,60 doğruluk ve %95,19 ROC AUC değeri ile en yüksek performansı göstermiştir. MLPClassifier %91,16 doğruluk, Lojistik Regresyon %90,50 doğruluk, Naive Bayes %88,94 doğruluk ve Karar Ağacı %90,62 doğruluk değerleri elde etmiştir. Yığın modelinin meta öğrenicisi ise tüm modellerden daha iyi performans göstererek %92,15 doğruluk ve %96,47 ROC AUC değerine ulaşmıştır. Bulgular, önerilen yığın modelinin farklı algoritmaların güçlü yönlerini bir araya getirerek kimlik avı tespitinde daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağladığını ortaya koymaktadır.

^a Yüksek Lisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Erzurum/Türkiye, aleyna.torlak19@ogr.atauni.edu.tr ORCID: 0009-0008-1833-2843

^b Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği, Erzurum/Türkiye, esra.odabas@atauni.edu.tr ORCID: 0000-0002-0936-1342

^c Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Erzurum/Türkiye, uozen@atauni.edu.tr ORCID: 0000-0002-7595-4306 (Sorumlu Yazar)

DETECTION OF PHISHING WEBSITES USING A STACKING MODEL BASED ON URL AND HTML FEATURES

Article Information	Abstract
Article Type Research Article	This study proposes a stacking model for detecting phishing websites using URL and HTML features. The developed model provides a lightweight, real-time, and cost-effective detection mechanism without relying on third-party services. In the stacking architecture, Naive Bayes, Decision Tree, Logistic Regression, Support Vector Machines (SVM), and Multi-Layer Perceptron (MLPClassifier) are employed as Level-0 base classifiers, while Logistic Regression is used as the Level-1 meta-learner. The model's performance was evaluated on the "phish.csv" dataset, which consists of 130,127 web pages. Among the base classifiers, SVM achieved the highest performance with 90.60% accuracy and a 95.19% ROC AUC score. MLPClassifier reached 91.16% accuracy, Logistic Regression 90.50%, Naive Bayes 88.94%, and Decision Tree 88.94%. The meta-learner of the stacking model outperformed all individual models, achieving 92.15% accuracy and a 96.47% ROC AUC score. The findings demonstrate that the proposed stacking model enhances phishing detection accuracy and reliability by combining the strengths of multiple machine learning algorithms.
Submission Date: 16/10/2025	
Acceptance Date: 26/11/2025	
Keywords: Machine Learning, Logistic Regression, Anti-Phishing, Html String Embedding, Stacking Model	

1. GİRİŞ

İnternetin hızlı gelişimi ve dijitalleşmenin yaygınlaşması, çevrimiçi ortamları hem bireyler hem de kurumlar için vazgeçilmez hâle getirmiştir. Ancak bu dönüşüm, siber saldırıların çeşitlenmesine ve karmaşıklığının artmasına da zemin hazırlamıştır. Özellikle kimlik avı (phishing) saldırıları, son yıllarda küresel ölçekte en hızlı büyüyen siber tehditlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Anti-Phishing Working Group'un (APWG, 2023) raporuna göre kimlik avı girişimleri 2022–2023 yılları arasında tarihsel olarak en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Kimlik avı saldırıları, sahte ve meşru görünümlü web siteleri aracılığıyla kullanıcıların banka giriş bilgileri, kredi kartı verileri veya kimlik numaraları gibi hassas bilgilerinin ele geçirilmesini hedeflemekte ve bu nedenle ciddi güvenlik riskleri oluşturmaktadır (Aleroud ve Zhou, 2017).

Saldırganların sürekli olarak tekniklerini güncellemesi ve sahte web sitelerini gerçek sitelere neredeyse birebir benzer şekilde tasarlaması, kullanıcıların bu tehditleri fark etmesini zorlaştırmaktadır (Jain ve Gupta, 2018). Bu noktada, makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, kimlik avı tespitinde giderek daha etkili hâle gelmiş ve geleneksel kural tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek tespit başarısı sunduğu literatürde birçok çalışmada gösterilmiştir (Basnet vd., 2011; Zaki, 2020). Özellikle URL ve HTML tabanlı özelliklerin bir arada değerlendirilmesi, kimlik avı sitelerinin yapısal ve içeriksel özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayarak tespit doğruluğunu artırmaktadır (Aburrous vd., 2010).

Bu çalışmada, kimlik avı web sitelerinin tespiti için URL ve HTML tabanlı özellikleri birlikte değerlendiren bir yığın modeli yaklaşımı önerilmiştir. Yığın modeli, ensemble öğrenme stratejilerinden biri olup farklı sınıflandırıcılardan elde edilen tahminlerin meta bir öğrenici tarafından yeniden

işlenmesine dayanan bir meta-öğrenme yapısıdır (Wolpert, 1992). Çalışmada Level-0 katmanında Naive Bayes, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, SVM ve MLPClassifier temel sınıflandırıcıları kullanılmış; Level-1 katmanında ise bu tahminleri birleştirerek nihai çıktıyı üreten meta öğrenici olarak Lojistik Regresyon tercih edilmiştir. Buradaki “katman” kavramı yapay sinir ağlarındaki parametrik ağ katmanlarıyla ilişkili olmayıp yalnızca yığın modelinin öğrenici seviyelerini ifade etmektedir. Bu yapı sayesinde model, farklı algoritmaların güçlü yönlerini bir araya getirerek tekil modellerin üzerinde bir sınıflandırma performansı elde etmeyi amaçlamaktadır.

Yığın modeli, üçüncü taraf kara liste servislerine ihtiyaç duymadan gerçek zamanlı ve maliyet etkin bir kimlik avı tespit mekanizması sunmaktadır. URL tarafında uzunluk, alt alan adı yapısı, şüpheli karakter kullanımı ve hassas kelimeler gibi yapısal özellikler; HTML tarafında ise bağlantı yapısı, form etiketleri ve içerik yoğunluğu gibi nitelikler giriş değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Bu özniteliklerin makine öğrenmesi algoritmalarıyla bütünleştirilerek işlenmesi sonucunda, kimlik avı amaçlı web sitelerinin yüksek doğrulukla sınıflandırılabilirdiği görülmüştür.

2. TEORİK ARKAPLAN

Günümüzde makine öğrenmesi temelli kimlik avı tespit çalışmaları, farklı algoritmaların birlikte kullanıldığı yığın öğrenme modellerine dayanmaktadır. Bu kısımda, çalışmada kullanılan temel yöntem ve algoritmaların teorik temelleri özetlenmiştir.

2.1. Yığın Öğrenme (Stacking) Yöntemi

Yığın öğrenme ya da yığın genellemesi, birden fazla sınıflandırma modelini bir araya getirerek tahmin performansını iyileştirmeyi amaçlayan bir topluluk öğrenme tekniğidir. Yığın öğrenme modellerinin temel fikri, çeşitli modellerin güçlü yönlerinden yararlanarak zayıf yönlerini hafifletmektir. Tipik bir çerçevesinde, birden fazla temel model (level-0 modelleri olarak da bilinir) aynı veri seti üzerinde eğitilir ve bu modellerin tahminleri, daha üst düzey bir model (level-1 modeli) için giriş özellikleri olarak kullanılır ve nihai tahmini yapar. Bu yaklaşım, bireysel modellerin kaçırabileceği çeşitli veri desenlerini yakalayarak doğruluğu artırabilir (Zou ve Nan, 2019).

Kimlik avı tespit bağlamında, yığın öğrenme modelleri Destek Vektör Makineleri (SVM), Lojistik Regresyon ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier) gibi farklı algoritmaları entegre ederek URL ve HTML özelliklerine dayalı olarak kimlik avı web sitelerini tespit edebilen güçlü bir sistem oluşturabilir. Bu modellerin birleştirilmesiyle, yığın öğrenme yaklaşımı genel tespit oranını iyileştirebilir ve siber güvenlik uygulamaları açısından kritik olan yanlış pozitifleri azaltabilir (Al-Sarem vd., 2021).

2.2. Destek Vektör Makineleri (SVM)

Destek Vektör Makineleri (SVM), sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılan denetimli öğrenme modelleridir. SVM'nin kuramsal temeli Vapnik ve Chervonenkis tarafından tanımlanan İstatistiksel Öğrenme Teorisine dayanmaktadır (Vapnik ve Chervonenkis, 1974). Günümüzde kullanılan

modern SVM formülasyonu ise Vapnik'in 1995 tarihli çalışmasıyla geliştirilmiştir (Vapnik, 1995). SVM'nin temel amacı, yüksek boyutlu özellik uzayında farklı sınıfları en geniş marj ile ayıran optimum hiper düzlemi belirlemektir. Yüksek boyutlu verilerde gösterdiği başarılı genelleme performansı nedeniyle SVM, kimlik avı tespitinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Literatürdeki çalışmalar, SVM'nin URL ve HTML temelli özelliklere dayalı olarak web sitelerini meşru veya kimlik avı olarak yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini göstermektedir (Tang ve Mahmoud, 2021; Sahingoz vd., 2019).

2.3. Lojistik Regresyon

Lojistik Regresyon, ikili sınıflandırma problemleri için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Verilen bir girdinin belirli bir sınıfa ait olma olasılığını lojistik fonksiyonu kullanarak modeller. Lojistik Regresyon modelinin çıktısı, girdinin pozitif sınıfa ait olma olasılığı olarak yorumlanabilen 0 ile 1 arasında bir değerdir (Shaukat, 2023).

Kimlik avı tespit bağlamında, Lojistik Regresyon bir URL veya HTML özellik setinin bir kimlik avı web sitesine ait olma olasılığını değerlendirmek için kullanılabilir. Modelin hesaplama verimliliği ve istatistiksel olarak iyi tanımlanmış yapısı, onu hem temel karşılaştırmalarda hem de yığın öğrenme çerçevelerinde tamamlayıcı bir sınıflayıcı olarak uygun hâle getirmektedir (Al-Sarem vd., 2021).

2.4. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier)

Çok Katmanlı Algılayıcı olan Multi-Layer Perceptron (MLP), birbirine bağlı düğümlerden (nöronlar) oluşan çok katmanlı bir yapıdır. MLP'ler, verilerdeki karmaşık desenleri öğrenme yeteneğine sahiptir ve hata geri yayılımı (backpropagation) ile model, tahmin hatalarına göre ağırlıklarını ayarlar. MLP'ler, veri içindeki doğrusal olmayan ilişkileri işleyebilir ve bu da onları çeşitli sınıflandırma görevleri için uygun hale getirir (Ariyadasa, 2020). Kimlik avı tespitinde, MLPClassifier, URL ve HTML içeriklerinden türetilen özellikler üzerinde eğitilerek kimlik avı girişimlerini tanımlayabilir. MLP'lerin büyük veri setlerinden karmaşık desenleri öğrenme yeteneği, kimlik avı tespit sistemlerinin yeteneklerini artırabilir ve yığın öğrenme çerçevesindeki diğer modellerle birleştirildiğinde daha da etkili olabilir (Shabudin vd., 2020).

2.5. Naive Bayes

Naive Bayes, sınıflandırma görevlerinde kullanılan, Bayes teoremine dayalı olasılıksal algoritmalar ailesidir. Naive Bayes'in temel prensibi, tahmin ediciler arasında bağımsızlık varsayımında bulunmasıdır; bu da olasılıkların hesaplanmasını basitleştirir. Bu varsayım, modelin girdideki özelliklere dayalı olarak bir sınıfın olasılığını verimli bir şekilde hesaplamasını sağlar (Uppalapati, 2023).

Kimlik avı tespiti bağlamında, Naive Bayes sınıflandırıcıları, yüksek boyutlu verileri işleyebilme yetenekleri ve ilgisiz özelliklere karşı dayanıklılıkları nedeniyle oldukça etkili olabilir. Algoritma, bir kimlik avı web sitesinin URL özellikleri ve HTML içeriği gibi özelliklere dayalı olarak posterior

olasılığını hesaplar. Naive Bayes hem kimlik avı hem de meşru web sitelerinde özelliklerin görülme sıklığından yararlanarak, yeni örnekleri öğrenilen olasılıklara göre sınıflandırabilir (Ali, 2017). Naive Bayes'in en büyük avantajlarından biri, hızı ve verimliliğidir; bu da onu gerçek zamanlı kimlik avı tespit sistemleri için uygun hale getirir. Ayrıca, genellikle etiketlenmiş verilerin sınırlı olduğu kimlik avı tespit senaryolarında, az miktarda eğitim verisiyle bile iyi performans gösterir (Ali, 2017). Bununla birlikte, bağımsızlık varsayımı her zaman gerçek dünyada geçerli olmayabilir ve bu durum, modelin bazı bağlamlarda performansını etkileyebilir.

2.6. Karar Ağaçları

Karar Ağaçları hem sınıflandırma hem de regresyon görevlerinde kullanılan popüler bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Karar Ağaçları, veri setini özellik değerlerine göre yinelemeli olarak alt kümeler böler ve her bir iç düğüm bir özelliği, her bir dal bir karar kuralını ve her bir iç düğümün bir özelliği, her bir dalın bir karar kuralını ve her bir yaprak düğümün ise nihai bir sonucu temsil ettiği ağaç benzeri bir yapı oluşturur (Yang vd., 2019). Bölme kriteri değişiklik gösterebilir; yaygın yöntemler arasında Gini kirliliği (Gini impurity) ve bilgi kazancı (information gain) bulunur. Kimlik avı tespitinde, Karar Ağaçları, URL'lerden ve HTML içeriğinden çıkarılan özellikler arasındaki karmaşık ilişkileri etkili bir şekilde modelleyebilir. Bu algoritma, sınıflandırmaların arkasındaki karar verme sürecini anlamayı sağlayan açık ve anlaşılır bir model sunar. Bu açıklanabilirlik, siber güvenlik uygulamalarında özellikle değerlidir; çünkü bir tespitin mantığını anlamak, tespit stratejilerini geliştirmeye ve kullanıcıları kimlik avı tehditleri hakkında eğitmeye yardımcı olabilir (Purwanto vd., 2022). Karar Ağaçları hem sayısal hem de kategorik verileri işleyebilme yeteneğine sahip olup, kimlik avı tespitinde karşılaşılan çeşitli özellik türleri için çok yönlüdür. Ancak, ağaç çok derinleştğinde aşırı öğrenmeye (overfitting) yatkın hale gelebilir. Bunu hafifletmek için, az önem taşıyan dalları kaldırarak modelin genelleme yeteneklerini artıran budama (pruning) gibi teknikler uygulanabilir (Al-Tamimi ve Shkoukani, 2023).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Kimlik avı web sitelerinin tespiti, özellikle kimlik avı saldırıları daha karmaşık ve yaygın hale geldikçe, siber güvenlik araştırmalarında kritik bir alan haline gelmiştir. Literatürde, URL ve HTML özelliklerine dayalı stacking modelleri ile Destek Vektör Makineleri (SVM), Lojistik Regresyon ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier) gibi belirli makine öğrenimi algoritmalarının kimlik avı tespitinde kullanımına ilişkin pek çok çalışma bulunmaktadır.

Kimlik avı tespitindeki son gelişmeler, birden fazla sınıflandırıcıyı entegre eden yığın (stacking) öğrenme modellerinin doğruluk oranlarını artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Kalabarige vd. (2022), özellikle SVM ve Random Forest algoritmalarını bir araya getirdikleri çok katmanlı bir yığın öğrenme modeli önermiş ve bu yaklaşımın bireysel sınıflayıcılara kıyasla farklı veri setlerinde anlamlı ölçüde daha yüksek performans sunduğunu raporlamıştır. Bu bulgular, Ali (2017) tarafından

vurgulanan, kimlik avı tespitinde makine öğrenimi modellerinin başarımını artırmak için wrapper (sarıcı) tabanlı özellik seçimi tekniklerinin önemini desteklemektedir. Wrapper tabanlı yaklaşımda, özellik seçimi genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) veya karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) gibi sezgisel ve meta-sezgisel optimizasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmekte olup, model performansına göre en uygun özellik alt kümesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında Bhagat (2023), URL ve HTML özniteliklerini birlikte işleyen bir özellik sınıflandırma tekniğini Aşırı Öğrenme Makinesi (Extreme Learning Machine, ELM) algoritmasıyla birleştirerek kimlik avı sitelerinin daha etkili biçimde tanımlanabileceğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, kimlik avı saldırılarının farklı yapısal ve içeriksel özelliklerini aynı anda ele almanın tespit başarımını artırdığını göstermektedir.

SVM, yüksek boyutlu verileri işleme konusundaki dayanıklılığı nedeniyle kimlik avı tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Shaukat (2023), kimlik avı web sitelerinin metin tabanlı sınıflandırmasında SVM kullanarak %88 doğruluk elde ettiklerini bildirmiş ve SVM'nin URL, metin ve görüntü özniteliklerine dayalı olarak kimlik avı ve meşru siteler arasında ayırım yapmadaki etkinliğini göstermiştir. Bu bulgu, SVM'yi özellik ağırlıklandırmada partikül sürü (particle swarm) optimizasyonu ile birleştiren ve geliştirilmiş tespit doğruluğu elde eden Ali ve Malebary'nin (2020) çalışması tarafından da doğrulanmaktadır.

Lojistik Regresyon, güçlü istatistiksel temellere dayanan ve belirli varsayımların sağlanmasını gerektiren bir yöntem olmasına rağmen, yorumlanabilirliği sayesinde kimlik avı tespitinde de sık kullanılan modellerden biridir. Shaukat (2023) tarafından yapılan çalışmada, Lojistik Regresyon %87 doğruluk oranına ulaşmış ve kimlik avı web sitelerini sınıflandırmadaki kullanışlılığını göstermiştir. Bu model, özellikle bireysel özelliklerin tahmin sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirme olanağı sunduğu için, sonuçların yorumlanabilir olmasının hedeflendiği durumlarda avantajlıdır.

MLPClassifier, bir tür yapay sinir ağı olarak kimlik avı web sitelerini tespit etme potansiyeli için incelenmiştir. Kalla (2023) tarafından yapılan çalışma, MLP'nin kimlik avı URL'lerini tespit etmek için doğal dil işleme teknikleri ile kullanımının etkinliğini vurgulamıştır. MLP'nin verilerden karmaşık desenleri öğrenme yeteneği, özellikle bir topluluk öğrenme yaklaşımında diğer modellerle birleştirildiğinde kimlik avı tespiti için uygun bir aday haline gelmektedir.

Literatür, çeşitli algoritmaların güçlü yönlerini birleştiren hibrit ve yığın öğrenme modellerine doğru bir eğilim olduğunu göstermektedir. Örneğin, Almalki (2023), kimlik avı tespit yeteneklerini artırmak için birden fazla makine öğrenme tekniğini entegre eden akıllı bir model önermiştir. Bu yaklaşım, kimlik avı tehditlerinin dinamik doğasına yanıt verebilecek uyarlanabilir ve sağlam tespit sistemlerine duyulan ihtiyacın artmakta olduğunu yansıtmaktadır.

Hassan (2015), Naive Bayes, Karar Ağaçları ve Destek Vektör Makineleri (SVM) gibi çeşitli sınıflandırıcıların halka açık veri setlerinde karşılaştırmalı bir analizini yapmıştır. Sonuçlar, Naive

Bayes'in özellikle özellik seçimi teknikleriyle birleştirildiğinde rekabetçi bir performans sergilediğini ve sınıflandırma doğruluğunu artırdığını göstermiştir. Bu, modelin URL ve HTML özelliklerine dayalı olarak kimlik avı girişimlerini tespit etmedeki faydasını ortaya koymaktadır. Ek olarak, Shinde vd., (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, kimlik avı web sitelerini tespit etmek için K-Means kümeleme ve Naive Bayes kombinasyonu kullanılmıştır.

Kümeleme yaklaşımı, verileri organize etmeye yardımcı olurken, Naive Bayes sınıflandırma için olasılıksal bir çerçeve sağlamıştır ve bu da modelin kimlik avı tespiti senaryolarındaki çok yönlülüğünü göstermektedir.

Karar Ağaçları ise, kimlik avı tespitinde yorumlanabilirlikleri ve hem kategorik hem de sayısal verileri işleyebilme yetenekleri nedeniyle popüler bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Algoritma, veri setini özellik değerlerine göre yinelemeli olarak bölerek, her bir düğümün belirli bir özellik ile ilgili bir kararı temsil ettiği ağaç benzeri bir yapı oluşturur (Ogonji, 2023). Kimlik avı tespitinde, Karar Ağaçları, URL'lerden ve HTML içeriklerinden çıkarılan çeşitli özellikler arasındaki ilişkileri etkili bir şekilde modelleyebilir. Örneğin, Uppalapati (2023), kimlik avı tespit modelleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışmada Karar Ağaçları da dahil olmak üzere birden fazla algoritmayı incelemiştir. Bulgular, Karar Ağaçlarının net karar yolları sağlayabildiğini ve kullanıcıların sınıflandırmaların arkasındaki mantığı anlamasını kolaylaştırdığını göstermiştir.

Ogonji (2023), kimlik avı saldırılarını tespit etmek için Karar Ağaçlarını içeren hibrit bir model önermiştir. Çalışma, model performansını artırmada özellik seçimi ve ön işlemenin önemini vurgulamış ve Karar Ağaçlarının uygun özellik mühendisliği teknikleriyle birleştirildiğinde kimlik avı web sitelerini etkili bir şekilde tespit edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Al-Tamimi ve Shkoukani (2023) tarafından yapılan çalışma, kimlik avı URL'lerinden çıkarılan özellikler aracılığıyla kimlik avı web sitelerini tespit etmede Karar Ağaçlarının etkililiğini vurgulamıştır. Çalışma, Karar Ağaçlarının kimlik avı girişimlerini doğru bir şekilde sınıflandırabileceğini ortaya koymuş ve bu algoritmaların bu alandaki kullanımını güçlendirmiştir.

Zhu vd. (2019) tarafından tartışıldığı gibi özellik seçimi yöntemlerinin entegrasyonu, kimlik avı tespit modellerinin performansını iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. En ilgili özelliklere odaklanarak, araştırmacılar modellerinin verimliliğini ve doğruluğunu artırabilir, böylece yanlış pozitif ve negatif sonuçları azaltabilirler. Tiny-Bert Yığın Modeli tabanlı yaklaşım, URL'leri özellik vektörlerine dönüştürerek ve temel öğrenicilerle bir yığın modeli oluşturarak kimlik avı web sitelerini tespit etmede üstün performans sergilemiştir. Bu yaklaşım, geleneksel yöntemlere kıyasla daha az manuel özellik çıkarma gerektirir ve yüksek doğruluk oranlarıyla kimlik avı tehditlerine karşı etkili bir savunma mekanizması sunar (He vd., 2024). Fazal (2023) ise, çeşitli web sitesiyle ilgili özellikler içeren bir veri setini analiz etmek için Karar Ağaçlarını kullanmıştır. Araştırma, model performansını artırmada özellik

seçimi ve ön işlemenin önemini vurgulamış ve kimlik avı tespitinde Karar Ağaçlarının etkililiğini daha da doğrulamıştır.

Yığın öğrenme yöntemlerinin optimize edilmesiyle elde edilen model, diğer tespit yöntemlerine göre üstün performans göstermiş ve yüksek doğruluk oranlarına sahip olmuştur. Yığın öğrenme yöntemleri, kimlik avı tespiti alanında etkili bir savunma mekanizması oluşturabilir (Al-Sarem vd.,2021). Özellik tabanlı bir makine öğrenme çerçevesi, kimlik avı tehditlerini doğru bir şekilde tespit etmede etkili olmuştur. Rao ve Pais (2019), farklı özellik çıkarma tekniklerini ve makine öğrenme algoritmalarını kullanarak yüksek doğruluk oranları elde etmiş ve kimlik avı web sitelerini meşru sitelerden ayırt edebilmiştir. Zamir ve Khan (2020), farklı makine öğrenme algoritmalarının kimlik avı tespiti üzerindeki etkinliklerini değerlendirmiştir. Rastgele ormanlar ve Destek Vektör Makineleri gibi karmaşık modellerin daha yüksek doğruluk sağladığı gözlemlenmiştir. Doğru sınıflandırma algoritmaları, kimlik avı tespitinde kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, Igwilo ve Odumuyiwa (2022), Yığın öğrenme ve non-ensemble algoritmalarının kimlik avı URL'lerini tespitindeki performanslarını karşılaştırmıştır. Yığın Modeli öğrencisinin URL kimlik avı tespitinde üstün yetenek gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

4. YÖNTEM

4.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, kimlik avı web sitelerinin tespitinde farklı makine öğrenimi algoritmalarının performanslarını karşılaştırmak ve bu algoritmaları bir yığın model çerçevesinde bütünleştirmek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, deneysel ve karşılaştırmalı bir tasarım benimsemiştir. Yöntem hem URL hem de HTML temelli özellikleri kullanarak web sayfalarının kimlik avı olup olmadığını sınıflandırmaya odaklanmaktadır. Çalışmanın genel akışı aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Veri setinin toplanması ve ön işleme,
2. URL ve HTML temelli özelliklerin çıkarımı,
3. Beş temel makine öğrenimi algoritmasının eğitimi (Level-0),
4. Tahmin çıktılarının meta sınıflayıcıya aktarılması (Level-1),
5. Modelin performans metrikleriyle değerlendirilmesi.

Çalışmanın deneysel süreci şu adımlardan oluşmaktadır:

1. Veri setinin yüklenmesi ve ön işleme adımlarının uygulanması,
2. URL ve HTML temelli özellik çıkarımı,
3. Beş temel algoritmanın eğitimi ve doğrulama süreci,
4. Yığın öğrenme modelinin oluşturulması ve meta sınıflayıcının eğitimi,
5. Tüm modellerin test seti üzerindeki performans karşılaştırması,
6. ROC eğrileri ve karışıklık matrislerinin görselleştirilmesi.

Sonuç olarak, yığın öğrenme modeli tekil algoritmalara göre daha yüksek doğruluk (%91,16) ve ROC AUC (%95,19) değerleri elde etmiştir.

Tablo 1. Veritabanında Kullanılan Öznitelikler

Öznitelikler				
domain_is_ip	subdomain_level	embedded_domain	num_tokens_url	sensitive_word
obfuscated_token	len_domain	len_path	len_url	num_dots_url
suspicious_token_url	out_of_position_tld	len_fqdn	len_mld	num_terms_mld
bad_forms	bad_action_fields	non_matching_urls	out_of_position_brand_name	num_terms_in_text
num_terms_in_title	num_input_fields	num_images	num_iframes	num_links
internal_link_ratio	empty_link_frequency	login_form	len_html_style	len_html_script
len_html_link	len_html_comment	len_html_form	alarm_window	redirection
hidden_content	title_domain	internal_resource_ratio	domain_occurence	len_html
len_html_text	dom_depth	dom_node_count	dom_node_type	dom_node_mean
dom_node_std	same_page_ratio	same_folder_ratio	unique_subdomain_type	unique_file_type
directory_depth	directory_path_unique	directory_path_mean	directory_path_std	dist_top_domain
script_percentage	phish			

4.2. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, GitHub üzerinden elde edilen phish.csv dosyasıdır. Veri seti, toplam 130.127 web sayfasına ait 57 öznitelik içermekte olup URL yapısı, HTML içerik özellikleri, bağlantı türleri ve form etiketleri gibi web sitelerinin yapısal ve davranışsal bileşenlerini kapsamaktadır. Her gözlem etiketlenmiş bir örnek olup, “1” kimlik avı (phishing), “0” ise yasal (legitimate) web sayfasını temsil etmektedir. Veri setinin sınıf dağılımı dengesiz bir yapı göstermekte olup, 93.241 adet meşru (0) ve 36.886 adet kimlik avı (1) örneği bulunmaktadır. Veri, farklı kaynaklardan derlenmiş ve PhishTank gibi güvenilir referans veri tabanlarıyla doğrulanmıştır. Bu veri setinin tercih edilme nedenleri hem URL hem HTML tabanlı özellikleri aynı anda içermesi, güncel kimlik avı kalıplarını yansıtması ve geniş örnek hacmi sayesinde modellerin genelleme performansının değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır.

4.3. Veri Ön İşleme

Veri ön işleme süreci, modelin öğrenme başarısını doğrudan etkileyen kritik bir aşamadır. Bu kapsamda aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

- Veri seti incelenmiş ve herhangi bir eksik değer bulunmadığı için silme veya doldurma işlemine ihtiyaç duyulmamıştır.
- Niteliksel (kategorik) değişkenler sayısal değerlere dönüştürülmüştür.
- Sürekli değişkenler, min-max normalizasyonu ile [0,1] aralığına ölçeklendirilmiştir:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

- Veri seti %80 eğitim ve %20 test oranıyla iki alt kümeye ayrılmıştır.

- Eğitim sürecinde, modelin aşırı öğrenmesini önlemek ve genelleme yeteneğini artırmak amacıyla 5 katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation) yöntemi uygulanmıştır.

4.4. Özellik Çıkarımı

URL ve HTML yapılarından elde edilen öznitelikler, kimlik avı web sayfalarını meşru sitelerden ayıran en belirgin göstergeleri temsil etmektedir. Bu süreçte, özellik mühendisliği ve Word2Vec tabanlı HTML gömülü teknikleri kullanılmıştır.

4.4.1. URL ile İlgili Özellikler

URL tabanlı özellikler, web adresinin yapısal formundan çıkarılmıştır. Aşağıdaki 8 temel öznitelik, kimlik avı sitelerinde sıklıkla görülen karakteristik davranışlara dayanmaktadır:

1. **IP Adresi Kullanımı:** Alan adının doğrudan IP formatında olup olmadığı (ör. <http://62.141.45.54/...>) — kimlik avı sitelerinde sık görülür.
2. **Şüpheli Semboller:** '@', '-' ve '~' gibi karakterlerin sayısı. Özellikle '@' sembolü, kullanıcı yönlendirmesi için riskli kabul edilir.
3. **HTTPS Kullanımı:** URL'nin güvenli bağlantı protokolü (https) içerip içermediği.
4. **URL Uzunluğu:** Uzun URL'lerin genellikle kimlik avı sitelerinde bulunması.
5. **Alan Adındaki Nokta Sayısı:** Çoklu alt alan adı (ör. www.bank.login.verify.com) kimlik avı göstergesidir.
6. **Hassas Kelimeler:** "secure", "account", "login", "signin", "banking", "confirm" gibi kelimelerin varlığı.
7. **Üst Düzey Alan Adı (TLD) Özellikleri:** Alan adında birden fazla TLD kullanımı (.com.co.uk gibi).
8. **Marka Benzerliği:** URL dizelerinin hedef markaya benzerlik ölçümü (ör. Levenshtein mesafesi $< 2 \rightarrow$ benzer).

Bu özelliklerin her biri sayısal biçime dönüştürülerek (0 veya 1, ya da frekans değerleriyle) model giriş değişkeni olarak kullanılmıştır.

4.4.2. HTML ile İlgili Özellikler

HTML tabanlı özellikler, web sayfasının kaynak kodundan çıkarılmıştır. Bu özellikler, sitenin davranışsal farklılıklarını yansıtmaktadır:

1. **Dahili/Harici Bağlantılar:** Harici bağlantı oranının yüksek olması kimlik avı eğilimini artırır.
2. **Boş Bağlantılar:** `<a href="#">` veya boş link sayısı.
3. **Form Etiketleri:** `<form>` içinde "password", "login", "signin" gibi giriş alanlarının varlığı.
4. **HTML Uzunluğu:** Kimlik avı sayfalarının genellikle kısa HTML koduna sahip olması.
5. **Alarm Penceresi:** `alert()` fonksiyonunun bulunup bulunmaması.
6. **Yönlendirmeler:** "redirect" anahtar kelimesinin varlığı.

7. **Gizli İçerikler:** display:none, visibility:hidden veya input type="hidden" etiketleri.
8. **Başlık Tutarlılığı:** <title> etiketiyle URL marka adının uyuşması.
9. **Marka Bağlantı Tutarlılığı:** En sık bağlantı verilen markanın URL markasıyla uyumu.
10. **Kaynak Türleri:** <link>, <script>, etiketlerinin iç/dış kaynak oranı.
11. **Marka Adı Görünme Sayısı:** URL markasının HTML içinde tekrar sayısı.
12. **HTML Dizesi Yerleştirme:** HTML kodundan Word2Vec modeliyle elde edilen gömülü vektörleri.

Bu özellikler modelin öğrenme aşamasında birleştirilmiş, toplam 57 öznitelik oluşturulmuştur.

4.5. Model Konfigürasyonları ve Kullanılan Algoritmalar

Bu çalışmada stacking modelinin Level-0 (temel) katmanında beş farklı sınıflayıcı kullanılmıştır. Tüm modeller Python 3.10 ortamında, scikit-learn kütüphanesi kullanılarak uygulanmıştır. Modellerin eğitiminde kullanılan temel hiperparametre ayarları aşağıda özetlenmiştir:

- **Naive Bayes:** Varsayılan parametrelerle uygulanmıştır.
- **Karar Ağacı:** criterion = "gini" kullanılmıştır.
- **Lojistik Regresyon:** solver = "lbfgs", max_iter = 1000.
- **Destek Vektör Makineleri (SVM):** kernel = "rbf", probability = True.
- **Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier):** hidden_layer_sizes = (10,10), activation = "relu", solver = "adam".

Bu sınıflayıcılar aynı eğitim verisi üzerinde çalıştırılmış ve ürettikleri tahminler Level-1 meta öğrenici olarak kullanılan Lojistik Regresyon modeline aktarılmıştır.

4.6. Yığın (Stacking) Modeli

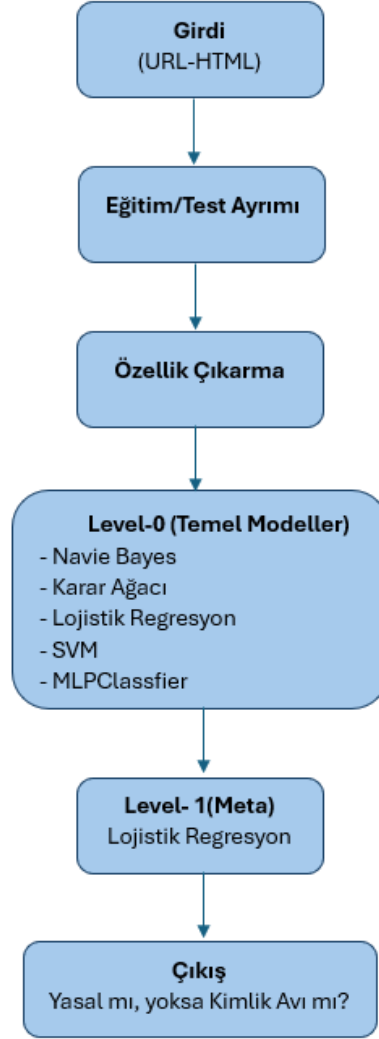
Yığın öğrenme modeli, birden fazla sınıflayıcının tahmin sonuçlarını üst düzey (meta) bir modelle birleştiren yığın öğrenme tekniğidir. Bu çalışmada;

- **Level-0 (Base Learners):** Naive Bayes, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, SVM ve MLPClassifier
- **Level-1 (Meta Classifier):** Lojistik Regresyon

olarak belirlenmiştir. Temel modellerin tahminleri bir ara veri setinde toplanmış ve meta sınıflayıcı, bu tahminleri girdi olarak kullanarak nihai sonucu üretmiştir. Böylece farklı modellerin güçlü yönlerinden yararlanılmış ve genel doğruluk artırılmıştır.

Bu çalışmada önerilen yığın öğrenme yapısının genel işleyişi Şekil 1'de gösterilmektedir. İlk olarak URL ve HTML özellikleri modele girdi olarak alınmakta, ardından eğitim/test ayrımı yapılmaktadır. Özellik çıkarımı sonrasında Level-0 katmanındaki temel sınıflayıcılar (Naive Bayes, Karar Ağacı,

Lojistik Regresyon, SVM ve MLPClassifier) tahminlerini üretmekte; bu tahminler Level-1 meta sınıflayıcı tarafından birleştirilerek nihai sınıflandırma gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.Yığın Modeli Akış Şeması.

4.7. Model Performans Değerlendirme Ölçütleri

Model performansı, aşağıdaki istatistiksel göstergelerle değerlendirilmiştir:

Karışıklık matrisindeki değerler kullanılarak sınıflandırma modelinin performansı ölçülmektedir. Bu çalışmada; doğruluk oranı, özgüllük, hassasiyet, duyarlılık, F1 Skoru ve ROC AUC (eğri altında kalan alan) performans ölçütleri dikkate alınmıştır.

Doğruluk Oranı (Accuracy): Modelin doğru sınıflandırdığı tüm örneklerin oranıdır. Genel olarak modelin ne kadar isabetli olduğunu gösterir.

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN}$$

Özgüllük (Specificity-TNR): Gerçek negatif sınıfların doğru tahmin edilme oranıdır. Yanlış pozitiflerin etkisini azaltmak için kullanılır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN + YP}$$

Hassasiyet (Precision): Pozitif olarak tahmin edilen örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu gösterir.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP + YP}$$

Duyarlılık (Recall): Gerçek pozitiflerin model tarafından ne kadar iyi tahmin edildiğini gösterir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN}$$

F1 Skoru: Precision ve Recall arasındaki dengeyi gösterir. Dengesiz veri kümelerinde özellikle yararlıdır.

$$F1 \text{ Skoru} = \frac{\text{Hassasiyet} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Hassasiyet} + \text{Duyarlılık}}$$

ROC AUC (Eğri Altında Kalan Alan): Modelin pozitif ve negatif sınıfları ayırt etme becerisini ölçer. AUC değeri, modelin sınıfları ne kadar iyi ayırdığını gösterir.

Karışıklık matrisindeki bu değerler kullanılarak sınıflandırma modelinin performansı ölçülmektedir. DP: gerçekte doğru olan değer doğru tahmin edilmesi, YP: gerçekte yanlış olan değer doğru tahmin edilmesi, YN: gerçekte doğru olan değer yanlış tahmin edilmesi, DN: gerçekte yanlış olan değer yanlış tahmin edilmesini ifade etmektedir. Karışıklık matrisinin genel gösterimi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Karışıklık Matrisi

Karışıklık (Confusion) Matrisi		Gerçek Sonuçlar	
		Pozitif (1)	Negatif (0)
Tahmin Edilen Sonuçlar	Pozitif (1)	DP [1,1] Doğru Pozitif	YP [1,0] Yanlış Pozitif
	Negatif (0)	YN [0,1] Yanlış Negatif	DN [0,0] Doğru Negatif

5. BULGULAR

Bu kısımda, kimlik avı web sitelerinin tespitinde farklı makine öğrenimi algoritmalarını bir araya getiren yığın modelinin etkinliği değerlendirilmiştir. Çeşitli veri setlerinden elde edilen URL ve HTML tabanlı özellikler kullanılarak Destek Vektör Makineleri (SVM), Naive Bayes, Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon ve MLPClassifier algoritmaları hem bireysel olarak hem de yığın modeli içerisinde analiz edilmiştir. Aşağıda sunulan bulgular, doğruluk, kesinlik (precision), duyarlılık (recall/TPR) ve ROC

AUC gibi temel performans ölçütleri üzerinden modellenen sistemin kimlik avı tespitindeki başarımını kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır. Tablo 3’te temel sınıflayıcıların genel doğruluk, özgüllük (TNR), hassasiyet, duyarlılık, F1 skoru ve ROC AUC performansları gösterilmekte; Tablo 4 ise bu sınıflayıcılardan elde edilen çıktılarla eğitilen yığın (stacking) meta öğrenicinin nihai performansını sunmaktadır.

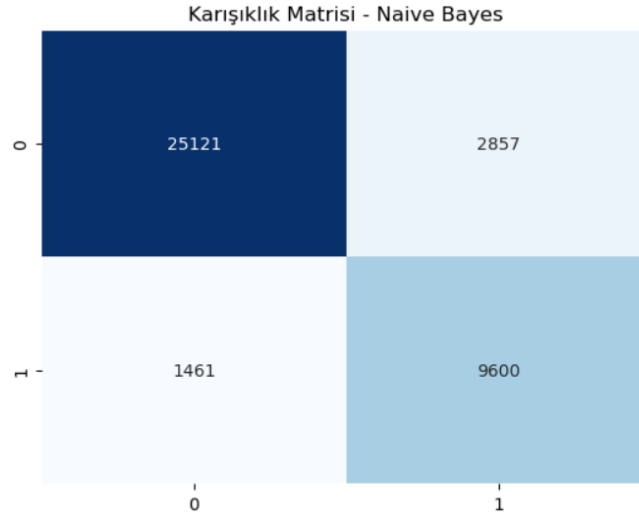
Tablo 3. Level-0 Temel Sınıflayıcılara Ait Performans Sonuçları

Model	Genel Doğruluk (%)	Özgüllük (TNR) (%)	Hassasiyet (Precision) (%)	Duyarlılık (TPR) (%)	F1 Skoru (%)	ROC AUC (%)
Naive Bayes	88.94	89.79	77.07	86.79	81.64	92.77
Karar Ağacı	90.62	92.45	81.83	86.00	83.87	89.23
MLPClassifier	91.16	93.31	83.51	85.72	84.60	89.52
Lojistik Regresyon	90.50	92.53	81.88	85.37	83.59	95.13
Destek Vektör Makinesi (SVM)	90.60	93.13	82.90	84.21	83.55	95.19

Tablo 4. Level-1 Yığın (Meta Öğrenici) Modelinin Performans Sonuçları

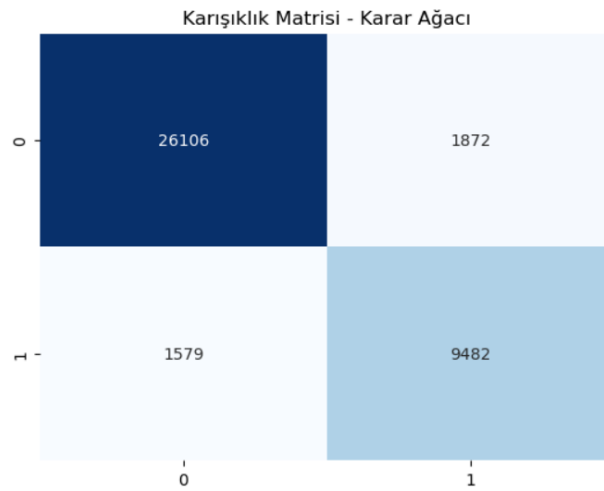
Model	Genel Doğruluk (%)	Özgüllük (TNR) (%)	Hassasiyet (Precision) (%)	Duyarlılık (TPR) (%)	F1 Skoru (%)	ROC AUC (%)
LR Meta Öğrenici	92.15	94.85	86.76	85.34	86.04	96.47

Yapılan analizler sonucu, Naive Bayes modeli, %88,94 genel doğruluk oranı ile diğer modellere kıyasla en düşük doğruluk oranına sahiptir. Ancak, %92,77 ROC AUC değeri, Naive Bayes modelinin iyi bir sınıflandırma yeteneği sunduğunu göstermektedir. Model, %77,07 hassasiyet ve %86,79 duyarlılık değerleriyle, özellikle yanlış pozitif oranını minimize etmeyi hedefleyen durumlarda etkili bir sonuç sunmaktadır. Bu problemde duyarlılık sonucunun daha yüksek olması modelin kimlik avı sitelerini tespit etmede daha başarılı olduğu sonucunu göstermektedir. Naive Bayes modeli %81,64 F1 skoru hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge sağladığını ortaya koymaktadır. Modelin %86,79 doğru pozitif oranı (TPR) ve %89,79 özgüllük yani doğru negatif oranı (TNR), yasal ve kimlik avı sitelerinin doğru tahmin edilme oranlarını yansıtırken, %92,77 ROC AUC değeri modelin sınıflandırma yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Model, gerçek pozitiflerden 25,121’ini ve gerçek negatiflerden 9,600’ünü doğru şekilde sınıflandırmış; yanlış pozitifler 2,857 ve yanlış negatifler ise 1,461 olarak rapor edilmiştir. Naive Bayes modeli karışıklık matrisi Şekil 2’de gösterilmiştir.



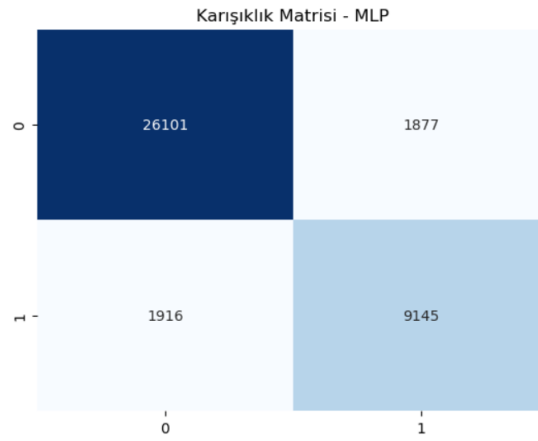
Şekil 2. Naive Bayes Modeli Karışıklık Matrisi

Karar Ağacı (Decision Tree) modeli, %90,62 genel doğruluk oranı ile yüksek bir performans sunmaktadır. %89,23 ROC AUC değeri ile etkili bir sınıflandırma gücüne sahip olup, diğer modellerle kıyaslandığında ROC AUC değeri biraz daha düşüktür. Model %81,83 hassasiyet, %86 duyarlılık sonucu elde etmiştir. Duyarlılık sonucunun daha yüksek olması ile yasal sitelerin aksine phishing sitelerini tespit etmede daha başarılı olduğu sonucu görülmüştür. Karar Ağaçları %83,87 F1 skoru hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge sağladığını ortaya koymaktadır. Modelin %86 doğru pozitif oranı (TPR) ve %92,45 doğru negatif oranı (TNR), yasal ve kimlik avı sitelerinin doğru tahmin edilme oranlarını yansıtırken, %89,23 ROC AUC değeri modelin sınıflandırma yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Model, gerçek pozitiflerden 26106'sını ve gerçek negatiflerden 9482'sini doğru şekilde sınıflandırmış; yanlış pozitifler 1872 ve yanlış negatifler ise 1579 olarak rapor edilmiştir. Karar Ağacı modeli karışıklık matrisi Şekil 3'te gösterilmiştir.



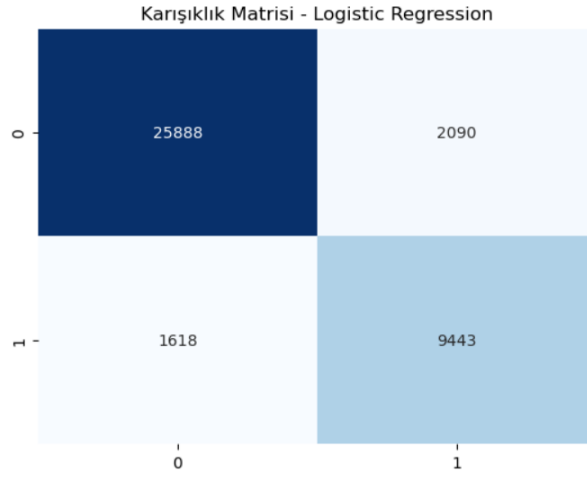
Şekil 3. Karar Ağacı Modeli Karışıklık Matrisi

Çok Katmanlı Algılayıcı (MLPClassifier) modeli, %91,16 genel doğruluk oranı ile en yüksek performansı sergileyen modeldir. %89,52 ROC AUC değeri ile güçlü bir sınıflandırma performansı sunsa da SVM ve Lojistik Regresyon modellerinin gerisinde kalmaktadır. Model %83,51 hassasiyet ve %85,72 duyarlılık sonucu elde etmiştir. Bu problemde duyarlılık sonucunun daha yüksek olması, modelin phishing sitelerini tespit etmede daha başarılı olduğu sonucunu göstermektedir. MLPClassifier modeli %84,60 F1 skoru ile hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge sağladığını ortaya koymaktadır. Modelin %85,72 doğru pozitif oranı (TPR) ve %93,31 özgüllük yani doğru negatif oranı (TNR), yasal ve kimlik avı sitelerinin doğru tahmin edilme oranlarını yansıtırken, %89,52 ROC AUC değeri modelin sınıflandırma yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Model, gerçek pozitiflerden 26,101'ini ve gerçek negatiflerden 9,145'ini doğru şekilde tanımlamış; yanlış pozitifler 1,877 ve yanlış negatifler ise 1,916 olarak rapor edilmiştir. MLPClassifier modeli karışıklık matrisi Şekil 4'te gösterilmiştir.



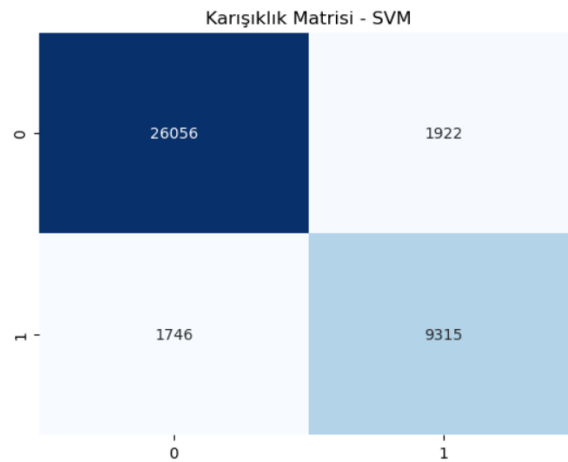
Şekil 4. MLPClassifier Modeli Karışıklık Matrisi

Lojistik Regresyon modeli, %90,50 genel doğruluk oranı ile etkileyici bir performans sergilemektedir. %95,13 ROC AUC değeri ile sınıflandırma yeteneği açısından güçlü bir performans sunmaktadır, bu da onu yüksek doğruluklu bir model yapmaktadır. Model %81,88 hassasiyet, %85,37 duyarlılık sonucu elde etmiştir. Duyarlılık sonucunun daha yüksek olması ile yasal sitelerin aksine phishing sitelerini tespit etmede daha başarılı olduğu sonucu görülmüştür. Lojistik Regresyon %83,59 F1 skoru hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge sağladığını ortaya koymaktadır. Modelin %85,37 doğru pozitif oranı (TPR) ve %92,53 doğru negatif oranı (TNR), yasal ve kimlik avı sitelerinin doğru tahmin edilme oranlarını yansıtırken, %95,13 ROC AUC değeri modelin sınıflandırma yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Model, gerçek pozitiflerden 25,888'ini ve gerçek negatiflerden 9,443'ünü doğru şekilde tanımlamış; yanlış pozitifler 2,090 ve yanlış negatifler ise 1,618 olarak rapor edilmiştir. Lojistik Regresyon modeli karışıklık matrisi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Lojistik Regresyon Modeli Karışıklık Matrisi

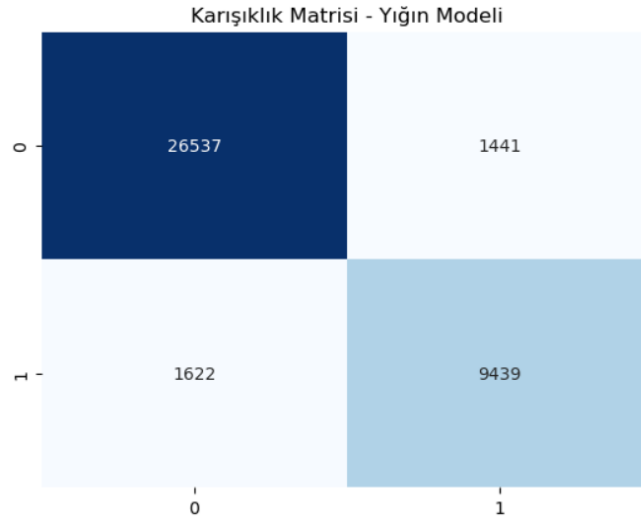
Destek Vektör Makinesi (SVM) modeli, %90,60 genel doğruluk oranı ile güçlü bir performans sergileyen SVM modeli, %95,19 ROC AUC değeri ile sınıflandırma yeteneği açısından en yüksek başarıyı elde etmektedir. Bu yüksek ROC AUC değeri, SVM'nin diğer modellere kıyasla üstün bir sınıflandırma gücüne sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Model %82,90 hassasiyet, %84,21 duyarlılık sonucu elde etmiştir. Duyarlılık sonucunun daha yüksek olması ile yasal sitelerin aksine kimlik avı sitelerini tespit etmede daha başarılı olduğu sonucu görülmüştür. SVM %83,55 F1 skoru hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge sağladığını ortaya koymaktadır. Modelin %84,21 doğru pozitif oranı (TPR) ve %93,13 doğru negatif oranı (TNR), yasal ve kimlik avı sitelerinin doğru tahmin edilme oranlarını yansıtırken, %95,19 ROC AUC değeri modelin sınıflandırma yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Model, gerçek pozitiflerden 26,056'sını ve gerçek negatiflerden 9,315'ini doğru şekilde tanımlamış; yanlış pozitifler 1,922 ve yanlış negatifler ise 1,746 olarak rapor edilmiştir. SVM modeli karışıklık matrisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. SVM Modeli Karışıklık Matrisi

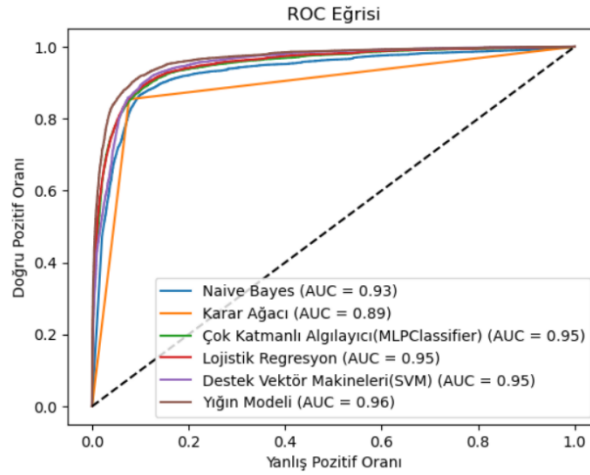
Yığın modeli, %92,15 genel doğruluk oranı ile temel sınıflayıcıların üzerinde bir performans sergilemiştir. Modelin ROC AUC değerinin %96,47 olması, sınıflar arasındaki ayırım gücünün oldukça

yüksek olduğunu ve meta öğrenicinin temel modellerin çıktılarından etkili biçimde yararlandığını göstermektedir. Yığın modeli %86,76 hassasiyet ve %85,34 duyarlılık (TPR) değerleriyle kimlik avı sitelerini tespit etmede dengeli ve güçlü bir performans ortaya koymuştur. Duyarlılık değerinin yüksek olması, modelin kimlik avı örneklerini doğru tanımlama kapasitesinin güçlü olduğunu göstermektedir. Ayrıca %86,04 F1 skoru, hassasiyet ve duyarlılık arasında başarılı bir denge kurulduğunu göstermektedir. Modelin %94,85 doğru negatif oranı (TNR), yasal siteleri doğru ayırt etme konusunda yüksek başarı sağladığını göstermektedir. Karışıklık matrisi incelendiğinde, modelin 26.537 yasal siteyi ve 9.439 kimlik avı sitesini doğru sınıflandırdığı; yanlış pozitif sayısının 1.441, yanlış negatif sayısının ise 1.622 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, yığın modelinin temel sınıflayıcıların performanslarını aşarak kimlik avı tespitinde en yüksek ayırtma gücünü sunduğunu doğrulamaktadır. Yığın modeline ait karışıklık matrisi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Level-1 Meta Öğrenici (Yığın Modeli) Karışıklık Matrisi

ROC AUC sonuçları incelendiğinde, kimlik avı tespiti için en yüksek ayırt ediciliğe sahip modellerin SVM, Lojistik Regresyon ve MLPClassifier olduğu görülmektedir. Bu modellerin her biri, 0.95 düzeyindeki ROC AUC değerleriyle pozitif ve negatif sınıfları ayırt etme bakımından güçlü bir performans ortaya koymaktadır. Naive Bayes modeli 0.93’lük ROC AUC değeri ile başarılı olmakla birlikte, en yüksek performans gösteren modellerin bir miktar gerisinde kalmaktadır. Karar Ağacı modeli ise 0.89’lük ROC AUC değeri ile değerlendirme yapılan modeller arasında en düşük ayırtma gücüne sahip sınıflandırıcıdır. Bununla birlikte, temel sınıflayıcıların çıktılarından yararlanarak karar üreten yığın modeli, 0.96’lık ROC AUC değeriyle tüm modelleri geride bırakmış ve en yüksek genel performansı sergilemiştir. Yığın yapısının farklı algoritmaların tamamlayıcı özelliklerini bir araya getirerek daha tutarlı ve genellenebilir bir sınıflandırma mekanizması sunduğu bu sonuçlarla doğrulanmaktadır. Böylece yığın modeli, tekil sınıflayıcılara kıyasla kimlik avı tespitinde daha üstün bir ayırt edicilik sağlamıştır. Modellere ait ROC eğrileri Şekil 8’de birlikte sunulmaktadır.



Şekil 8. Level-0 Temel Modeller ile Level-1 Meta Öğrenicinin ROC Eğrisi Karşılaştırması

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Kimlik avı saldırıları, çevrimiçi güvenliği tehdit eden en yaygın ve tehlikeli siber saldırı türlerinden biri hâline gelmiştir. Sahte web sitelerinin gerçek sitelere benzer şekilde tasarlanması, kullanıcıların kişisel ve finansal bilgilerini ele geçirme riskini artırmaktadır. Bu nedenle hem kullanıcılar hem de kurumlar açısından etkili ve güvenilir kimlik avı tespit sistemlerinin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. URL ve HTML tabanlı özellikler, kimlik avı sitelerinin yapısal ve davranışsal farklılıklarını yansıtmaları bakımından makine öğrenimi modelleri için güçlü bir temel sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Naive Bayes, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri (SVM), Lojistik Regresyon ve MLPClassifier gibi temel sınıflandırıcıları (base learners) bir araya getiren bir yığın modeli geliştirilmiştir. Yığın modelinde temel sınıflayıcıların tahmin çıktıları meta-öğrenici olarak kullanılan Lojistik Regresyon tarafından yeniden değerlendirilmiş ve böylece her bir algoritmanın güçlü yönlerinden yararlanan bütünleşik bir yapı oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular, yığın modelinin, bireysel sınıflayıcılara kıyasla daha yüksek genel doğruluk ve daha güçlü bir ayırt edicilik performansı (ROC AUC) sunduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, temel sınıflayıcılar arasında SVM, Lojistik Regresyon ve MLPClassifier modellerinin en başarılı sonuçları verdiğini ortaya koymaktadır. Bu üç model, %95'in üzerinde ROC AUC değerleri ile pozitif ve negatif sınıfları ayırt etmede üstün performans sergilemiştir. ROC AUC değerinin yüksek olması, modelin sınıfları her olasılık eşiğinde başarılı şekilde ayırdığını gösterdiğinden, bu sonuçlar kimlik avı tespitinde bu modellerin güçlü adaylar olduğunu doğrulamaktadır.

MLPClassifier modeli, %91,16 doğruluk oranı ve %89,52 ROC AUC değeri ile yüksek performanslı bir yapı sunmuştur. Doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilme kapasitesi ve geniş veri setlerinde gösterdiği esneklik, MLPClassifier'ın başarısının temel nedenlerindendir. %85,72 duyarlılık ve %83,51 hassasiyet değerleri, bu modelin hem kimlik avı hem de meşru siteleri dengeli şekilde ayırt edebildiğini

göstermektedir. Literatürde de (örn. Kalla, 2023), MLPClassifier'ın karmaşık veri setlerinde etkili sonuçlar verdiği vurgulanmaktadır.

Lojistik Regresyon modeli, %90,50 doğruluk ve %95,13 ROC AUC değeri ile yorumlanabilirlik ve performansı başarılı şekilde dengeleyen bir model olarak öne çıkmaktadır. %85,37 duyarlılık değeri, bu modelin kimlik avı sitelerini tespit etmekte etkili olduğunu göstermektedir. Shaukat (2023) tarafından yapılan çalışmalarda da Lojistik Regresyon'un kimlik avı tespitinde güvenilir bir seçenek olduğu belirtilmiştir.

SVM modeli, %90,60 doğruluk ve %95,19 ROC AUC değeri ile sınıflandırma yeteneği açısından en güçlü algoritmalarından biri olmuştur. SVM'nin yüksek boyutlu verilerdeki başarısı literatürde geniş ölçüde kabul görmektedir (Vapnik, 1995; Wang vd., 2019). %82,90 hassasiyet ve %84,21 duyarlılık sonuçları, modelin kimlik avı tespitinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ali ve Malebary (2020) tarafından yapılan çalışmalar, SVM'nin kimlik avı tespitinde güçlü bir tercih olduğunu doğrulamaktadır.

Bununla birlikte, Naive Bayes modeli, %88,94 doğruluk ve %92,77 ROC AUC değeri ile rekabetçi bir performans sunmuştur. Basit ve hızlı olması nedeniyle gerçek zamanlı tespit sistemleri için uygun bir adaydır. Yüksek boyutlu verilerdeki verimliliği, Uppalapati (2023) tarafından da vurgulanmaktadır. Ancak bağımsızlık varsayımı bazı durumlarda sınırlayıcı olabilmektedir.

Karar Ağaçları modeli, %88,94 doğruluk ve %92,77 ROC AUC değeri ile diğer modellere kıyasla daha düşük performans göstermiştir. Aşırı öğrenmeye (overfitting) eğilimli yapısı nedeniyle dikkatle budama gerektirmektedir. Bu bulgu, Al-Tamimi ve Shkoukani (2023) çalışmalarında ifade edilen değerlendirmelerle uyumludur.

Tüm bu modellerin bireysel performanslarına karşın yığın modeli, meta-öğrenme yaklaşımı sayesinde temel sınıflayıcıların güçlü yönlerini bir araya getirerek daha üstün bir genel performans elde etmiştir. %92,15 doğruluk oranı ve %96,47 ROC AUC değeri, yığın modelinin kimlik avı tespitinde diğer tüm modellere kıyasla daha yüksek sınıflandırma başarısı sunduğunu göstermektedir. Bu sonuç, literatürde Bhagat (2023) ve Kalabarige vd. (2022) gibi araştırmacıların yığın öğrenme ve çoklu model entegrasyonu üzerine yaptığı çalışmalarla da uyumludur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, önerilen yığın modelinin yalnızca teknik açıdan değil, Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) perspektifinden de önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Özellikle URL ve HTML tabanlı özelliklerle çalışan bu model, üçüncü taraf kara liste servislerine duyulan bağımlılığı ortadan kaldırarak kurumlar için daha güvenilir, ölçeklenebilir ve maliyet etkin bir kimlik avı tespit mekanizması sağlamaktadır. Modelin gerçek zamanlı tehdit algılama kapasitesi, kurumların bilgi güvenliği süreçlerinde erken uyarı sistemlerinin güçlendirilmesine; operasyonel risklerin azaltılmasına ve saldırı vektörlerinin daha hızlı tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca yığın modelinin ürettiği yorumlanabilir çıktılar, karar destek sistemlerinde yöneticilere daha doğru ve veri temelli değerlendirmeler sunmakta; bu yönüyle risk yönetimi ve kurumsal güvenlik politikalarının

geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çerçevede, çalışma hem teknik hem de yönetsel açıdan YBS literatürüne anlamlı bir katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma hem temel makine öğrenimi algoritmalarının hem de yığın öğrenme yaklaşımının kimlik avı tespitinde etkili sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Özellikle URL ve HTML tabanlı özelliklerin birlikte kullanılması, model başarımına önemli katkı sağlamıştır. Gelecekte, daha büyük ve güncel veri setlerinin kullanılması, derin öğrenme tabanlı yöntemlerin entegrasyonu ve gerçek zamanlı tespit mekanizmalarının geliştirilmesi, kimlik avı tespit sistemlerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu daha da artırabilir. Marchal vd. (2014) tarafından geliştirilen PhishStorm gibi gerçek zamanlı tespit sistemleri, bu alandaki gelişmelere öncülük etmektedir ve gelecekte yapılacak çalışmalar için yol gösterici niteliktedir.

KAYNAKÇA

- Aburrous, M., Hossain, M. A., Dahal, K., & Thabtah, F. (2010). Intelligent phishing detection system for e-banking using fuzzy data mining. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7913–7921. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.044>
- Alazaidah, R., Al-Shaikh, A., Al-Mousa, M. R., Khafajah, H., Samara, G., Alzyoud, M., Al-Shanableh, N., & Almatarnah, S. (2024). Website phishing detection using machine learning techniques. *Journal of Statistics Applications & Probability*, 13(1), 119–129. <https://doi.org/10.18576/jsap/130108>
- Aleroud, A., & Zhou, L. (2017). Phishing environments, techniques, and countermeasures: A survey. *Computers & Security*, 68, 160–196. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.04.006>
- Ali, W. (2017). Phishing website detection based on supervised machine learning with wrapper features selection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(9). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.080910>
- Ali, W., & Malebary, S. (2020). Particle swarm optimization-based feature weighting for improving intelligent phishing website detection. *IEEE Access*, 8, 116766–116780. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3003569>
- Almalki, S. (2023). A new intelligent model for phishing web sites detection. *International Journal of Intelligent Digital Computing (IJIDC)*, 1(1), 1–14.
- Al-Sarem, M., Saeed, F., Al-Mekhlafi, Z. G., Mohammed, B. A., Al-Hadhrami, T., Alshammari, M. T., Alreshidi, A., & Alshammari, T. S. (2021). An optimized stacking ensemble model for phishing websites detection. *Electronics*, 10(11), 1285. <https://doi.org/10.3390/electronics10111285>
- Al-Tamimi, Y., & Shkoukani, M. (2023). Employing cluster-based class decomposition approach to detect phishing websites using machine learning classifiers. *International Journal of Data and Network Science*, 7(1), 313–328. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2022.10.002>

- Anti-Phishing Working Group. (2023). Phishing activity trends report: 2023. <https://apwg.org/trendsreports/>
- Ariyadasa, S. (2020). Detecting phishing attacks using a combined model of LSTM and CNN. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 7(7), 56–67. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2020.07.007>
- Basnet, R., Sung, A., & Liu, Q. (2011). Rule-based phishing attack detection. *Proceedings of the International Conference on Security and Management (SAM'11)*, 1–8.
- Bhagat, P. (2023). Feature classification and extreme learning machine-based detection of phishing websites. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(8s), 132–136. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i8s.7182>
- Hassan, D. (2015). On determining the most effective subset of features for detecting phishing websites. *International Journal of Computer Applications*, 122(20), 1–7. <https://doi.org/10.5120/21813-5191>
- He, D., Lv, X., Zhu, S., Chan, S., & Choo, K. K. R. (2024). A method for detecting phishing websites based on Tiny-BERT stacking. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(2), 2236–2243. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3292171>
- Igwilo, C. M., & Odumuyiwa, V. (2022). Comparative analysis of ensemble learning and non-ensemble machine learning algorithms for phishing URL detection. *FUOYE Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*, 7(3), 305–312. <https://doi.org/10.46792/fuoyejet.v7i3.807>
- Kalabarige, L. R., Rao, R., Abraham, A., & Gabralla, L. (2022). Multilayer stacked ensemble learning model to detect phishing websites. *IEEE Access*, 10, 79543–79552. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3194672>
- Kalla, D. (2023). Phishing website URLs detection using NLP and machine learning techniques. *Journal on Artificial Intelligence*, 5(0), 145–162. <https://doi.org/10.32604/jai.2023.043366>
- Marchal, S., François, J., State, R., & Engel, T. (2014). PhishStorm: Detecting phishing with streaming analytics. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 11(4), 458–471. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2014.2377295>
- Ogonji, D. (2023). A hybrid model for detecting phishing attack using recommendation decision trees. *ITM Web of Conferences*, 57, 01018. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235701018>
- Purwanto, R., Pal, A., Blair, A., & Jha, S. (2022). PhishSim: Aiding phishing website detection with a feature-free tool. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 17, 1497–1512. <https://doi.org/10.1109/tifs.2022.3164212>

- Rao, R. S., & Pais, A. R. (2019). Detection of phishing websites using an efficient feature-based machine learning framework. *Neural Computing and Applications*, 31, 3851–3873. <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3305-0>
- Sahingoz, O. K., Buber, E., Demir, O., & Diri, B. (2019). Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Systems with Applications*, 117, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.029>
- Shabudin, S., Samsiah, N., Akram, K., & Aliff, M. (2020). Feature selection for phishing website classification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(4). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110477>
- Shaukat, M. (2023). A hybrid approach for alluring ads phishing attack detection using machine learning. *Sensors*, 23(19), 8070. <https://doi.org/10.3390/s23198070>
- Shinde, A., Pandey, A., Pawar, R., & Gangule, V. (2015). Clustering and Bayesian approach-based model for detection of phishing. *International Journal of Computer Applications*, 118(24), 30–33. <https://doi.org/10.5120/20958-3385>
- Tang, L., & Mahmoud, Q. H. (2021). A survey of machine learning-based solutions for phishing website detection. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 3(3), 672–694. <https://doi.org/10.3390/make3030034>
- Uppalapati, P. (2023). A machine learning approach to identifying phishing websites: A comparative study of classification models and ensemble learning techniques. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*. <https://doi.org/10.4108/eetsis.vi.3300>
- Vapnik, V. (1995). *The nature of statistical learning theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2440-0>
- Vapnik, V. N., & Chervonenkis, A. Y. (1974). *Theory of pattern recognition*. Nauka.
- Wang, W., Feng, Z., Luo, X., & Zhang, S. (2019). PDRCNN: Precise phishing detection with recurrent convolutional neural networks. *Security and Communication Networks*, 2019, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2019/2595794>
- Wolpert, D. H. (1992). Stacked generalization. *Neural Networks*, 5, 241–259. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(05\)80023-1](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1)
- Yang, P., Zhao, G., & Zeng, P. (2019). Phishing website detection based on multidimensional features driven by deep learning. *IEEE Access*, 7, 15196–15209. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2892066>

- Zamir, A., Khan, H., Iqbal, T., Yousaf, N., Aslam, F., Anjum, A., & Hamdani, M. (2020). Phishing website detection using diverse machine learning algorithms. *The Electronic Library*, 38(3), 545–563. <https://doi.org/10.1108/EL-05-2019-0118>
- Zhu, E., Chen, Y., Ye, C., Li, X., & Feng, L. (2019). OFS-NN: An effective phishing websites detection model based on optimal feature selection and neural network. *IEEE Access*, 7, 73271–73284. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2920655>
- Zou, L., & Nan, T. (2019). A phishing webpage detection method based on stacked autoencoder and correlation coefficients. *Journal of Computing and Information Technology*, 27(2), 41–54. <https://doi.org/10.20532/cit.2019.1004702>

EXTENDED ABSTRACT

DETECTION OF PHISHING WEBSITES USING A STACKING MODEL BASED ON URL AND HTML FEATURES

Phishing attacks have become one of the most common and dangerous cyber threats targeting both individuals and organizations in recent years. Attackers design fake pages that closely resemble real websites, aiming to steal users' personal and financial information, making these attacks extremely difficult to detect. The rise in internet use, the proliferation of online services, and the ubiquity of digital transactions in daily life have further exacerbated the impact of phishing attacks. In particular, the constant development of new techniques by attackers limits the effectiveness of traditional defense methods, highlighting the need for dynamic, learning-capable, and real-time models. This study aims to develop a stack model capable of detecting phishing sites with high accuracy by combining URL- and HTML-based features.

The proposed model is based on a multi-layered ensemble learning approach that aims to achieve stronger classification performance by combining the complementary aspects of different machine learning algorithms. The Level-0 (base learner) layer of the model includes Naive Bayes, Decision Tree, Logistic Regression, Support Vector Machines (SVM), and Multilayer Perceptron (MLPClassifier). These base models provide various prediction signals to the meta-learner thanks to their uniquely capturing structures of different patterns in the dataset. Logistic Regression, used in the Level-1 (meta learner) layer, optimizes these signals and generates the final classification decision. This results in a more stable and reliable system that overcomes the limitations of a single model, and increases the overall accuracy of the model.

The phish.csv dataset used in the study contains 57 attributes from 130,127 web pages. These attributes include indicators such as URL length, token count, IP address usage, suspicious symbols, subdomain level, and sensitive keyword content; and statistics on form tags, redirects, link rates, hidden content,

and DOM structure obtained from the HTML source code. Of the dataset, 93,241 are legitimate and 36,886 are phishing samples, and this distribution requires caution regarding class imbalance. Because there were no missing values, no cleaning was required; all variables were scaled using the min-max method, and the training-test separation was performed at 80%-20%. Additionally, five-fold cross-validation was applied to strengthen the generalizability of the models. This process reduced the model's data dependency and contributed to a more consistent performance.

When comparing the performance of the baseline (Level-0) classifiers, it was observed that SVM provided the highest discrimination with a ROC AUC of 95.19%. MLPClassifier achieved the best accuracy with 91.16% accuracy, while Logistic Regression demonstrated a strong and consistent discrimination ability with a ROC AUC of 95.13%. Naive Bayes, with 88.94% accuracy and 92.77% ROC AUC, demonstrates that it is an effective alternative, especially in scenarios requiring low-cost and fast prediction. The Decision Tree model, despite producing 90.62% accuracy, performed lower than the other models in terms of discrimination power. These findings demonstrate that while the base classifiers are strong in certain respects, they cannot provide optimal performance on their own.

When the performance of the stack model is evaluated, it is seen that the meta-learner outperformed all the base classifiers. The model demonstrated the highest performance in the study with 92.15% accuracy and 96.47% ROC AUC. Furthermore, 86.76% sensitivity, 85.34% specificity, and 86.04% F1 score confirm the model's balanced and stable classification ability. The stack model reduces false positive and false negative rates, improving user safety and minimizing false alarms in cybersecurity systems. ROC curves also demonstrate that the stack model offers higher discrimination power compared to single classifiers.

This study offers significant contributions not only in terms of technical performance but also in the context of Management Information Systems (MIS). The model allows organizations to develop a more sustainable, reliable, and cost-effective security architecture by reducing their reliance on third-party blacklisting services. Furthermore, the model's interpretable structure provides decision-makers with clearer insights into risk assessment processes, particularly contributing to operational security units' more accurate threat assessment. Its lightweight, real-time operation allows for easy integration into both individual user applications and corporate security infrastructures. Furthermore, the stack model's modular structure allows for easy future expansion with different data sources or additional feature sets, increasing the model's long-term potential for use.

In conclusion, the stack learning approach, which combines URL and HTML-based features, offers an effective method for phishing detection, providing high accuracy and strong discrimination capabilities. The results demonstrate that ensemble learning models deliver superior and more reliable performance compared to single machine learning algorithms. Furthermore, the model's real-time, low-cost, and extensible structure offers significant advantages for both academic and corporate applications. Future

improvements include the use of larger, more up-to-date datasets, the integration of deep learning architectures (CNN, LSTM, BERT, etc.), the addition of visual similarity analyses, and the development of real-time detection systems. Furthermore, the model's flexible structure allows for the integration of different feature sets, behavioral data, or visual similarity metrics, providing significant scope for future research. When implemented at an enterprise scale, it can form a strong foundation for real-time threat detection and early warning systems. In this respect, the developed model not only provides an academic contribution but also has high potential for applicability in practical security solutions.

BLOKZİNCİR TABANLI FİNANSAL İŞLEM UYGULAMALARININ TÜKETİCİ KABULÜ: GENİŞLETİLMİŞ TAM MODELİ İLE AMPİRİK BİR İNCELEME¹

Demet KÖSEOĞLU^a ve Serkan ADA^b

Makale Bilgisi

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Gönderim Tarihi:

15/10/2025

Kabul Tarihi:

27/11/2025

Anahtar Kelimeler:

Blokzincir,
Teknoloji Kabul
Modeli (TAM),
Kullanıcı Kabulü,
Güven, Kişisel
Yenilikçilik, Dijital
Okuryazarlık.

Özet

Blokzincir teknolojisi, son yıllarda dikkat çeken önemli teknolojik yeniliklerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, tüketicilerin bu teknolojiyi benimseme düzeyi belirsizliğini korumaktadır. Bu araştırmanın amacı, tüketicilerin blokzincir teknolojisiyle desteklenen finansal işlem uygulamalarını (örneğin, kripto para borsaları, dijital cüzdan uygulamaları, ödeme sistemleri vb.) kullanma niyetlerini incelemektir. Bu doğrultuda, Teknoloji Kabul Modeli'nin (Technology Acceptance Model-TAM) genişletilmiş bir versiyonu araştırma modeli olarak kullanılmıştır. Veriler, çevrimiçi bir anketle 263 katılımcıdan elde edilmiş ve Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modelleme (PLS-SEM) ile analiz edilmiştir. Bulgular, kişisel yenilikçilik ve güven değişkenlerinin, blokzincir tabanlı uygulamaların kullanım niyetini anlamlı ve olumlu yönde etkileyen temel faktörler olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, tüketicilerin güven algısının güçlendirilmesinin ve yenilikçi eğilimlerinin desteklenmesinin, bu uygulamaların benimsenmesini artırabileceğine işaret etmektedir.

^a Doktora adayı, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri ABD, Karaman/Türkiye, demetkoseoglu@hotmail.com.tr – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9153-9276> (Sorumlu Yazar)

^b Prof. Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri ABD, Karaman/Türkiye, serkanada@kmu.edu.tr – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1654-024X>

¹ Bu çalışma, 24-26 Ekim 2024 tarihlerinde gerçekleştirilen 11. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Konferansında özet bildiri olarak sunulmuştur.

CONSUMER ADOPTION OF BLOCKCHAIN-BASED FINANCIAL TRANSACTION APPLICATIONS: AN EMPIRICAL INVESTIGATION USING AN EXTENDED TAM MODEL

Article Information

Abstract

Article Type

Research Article

Submission Date:

15/10/2025

Acceptance Date:

27/11/2025

Keywords:

Blockchain,
Technology
Acceptance Model
(TAM), User
Acceptance, Trust,
Personal
Innovativeness,
Digital Literacy.

Blockchain technology has emerged as one of the most prominent technological innovations in recent years. However, the extent to which consumers adopt this technology remains uncertain. The purpose of this study is to examine consumers' intentions to use blockchain-enabled financial transaction applications (e.g., cryptocurrency exchanges, digital wallet applications, payment systems). In line with this objective, an extended version of the Technology Acceptance Model (Technology Acceptance Model–TAM) was employed as the research model. Data were collected from 263 participants through an online survey and analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The findings indicate that personal innovativeness and trust are the key factors that significantly and positively influence consumers' intentions to use blockchain-based applications. The results further suggest that strengthening consumers' trust perceptions and supporting their innovative tendencies may enhance the adoption of these applications.

1. GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler ile birlikte, birçok işlemin gerçekleştirilme şekli değişmektedir (Sharif ve Naghavi, 2021). Bu sayede gelişmiş kişisel bilgisayarlar, tabletler ve cep telefonları, tüketicilerin yaşamları üzerinde büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Bununla birlikte, tüketiciler birçok işlemi daha kolay, hızlı ve uygun bir şekilde yapabilme imkanına sahip olmaktadır (Albayati vd., 2020). Bu teknolojik gelişmeler arasında blokzincir teknolojisi, yenilik kapsamında önemli bir itici güç olarak kabul edilmektedir (Liu ve Ye, 2021). Bu bağlamda, blokzincir teknolojisinin tüketici kabulü ve kullanımı konusu son yıllarda akademik literatürde ilgi çekici bir konu haline gelmiştir (Lian vd., 2020). Blokzincir, ağdaki tüm katılımcıların işlem bilgilerini oluşturmasını, kaydetmesini, saklamasını ve doğrulamasını sağlayarak, kayıtların bütünlüğünü güvence altına alan ve dağıtık temelli çeşitli uygulama hizmetlerini gerçekleştirecek yapıya sahip bir teknolojidir (Taheri-tolu vd., 2022). Blokzincir teknolojisinin faaliyet türleri üç kategoride toplanmaktadır. Blokzincir 1.0, dijital ödeme sistemlerinde bir para birimidir. Blokzincir 2.0, akıllı sözleşmeler yoluyla hisse senetlerinin, tahvillerin, kredilerin, ipoteklerin ve tapuların daha karmaşık değer transferlerinde olduğu gibi sözleşmelerdir. Blokzincir 3.0, hükümet, sağlık, bilim, sanat ve kültürde olduğu gibi finansın ötesindeki uygulamalardır (Frizzo-Barker vd., 2020). Blokzincir teknolojisinin kullanımı, lojistik operasyonlardan imalat ve kamu hizmetlerine kadar endüstri sektörlerinde büyürken, finansal hizmetlerde de hızla büyüme göstermektedir (Janssen vd., 2020).

Blokzincir teknolojisine yönelik mevcut çalışmaların odak noktası, kullanıcıların internet bankacılığı (Chen vd., 2022) mobil bankacılık (Schuetz ve Venkatesh, 2020) ve fintech bankacılık hizmetleri (Ali vd., 2020) gibi bankalar tarafından sağlanan hizmetlerin yanı sıra dijital ödemeler (Raj vd., 2022), kripto para birimleri (Arias-Oliva vd., 2019) ve elektronik cüzdanlar (Chatterjee ve Bolar, 2019) gibi hizmetlerin kabul edilmesine yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Sharif ve Naghavi (2021) tüketicilerin çevrimiçi finansal ticaret yapma niyetlerine odaklanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde tüketici kabulü açısından blokzincir teknolojilerine yönelik düşük düzeyde bir ilgi konusudur. Özellikle blokzincir teknolojisinin benimsenmesi ve yayılmasının sosyal, ekonomik ve teknolojik boyutları hakkında araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Frizzo-Barker vd., 2020; Albayati vd., 2020). Teknolojinin finansal piyasalardaki artan rolüne karşılık olarak, tüketicilerin finansal hizmet teknolojilerini kabul ve kullanımını öngören faktörlere yönelik araştırmalar literatürde yer bulmaya başlamıştır (Bharadwaj ve Deka, 2021; Ullah vd., 2022; Ltifi ve Mesfar, 2022; Jain vd., 2022). Kullanıcıların teknoloji kabulü ile ilgili davranışlarını açıklamak için Teknoloji Kabul Modeli (TAM) (Davis, 1989) en sık kullanılan teoriler arasında yer almaktadır.

Blokzincir teknolojisinin kabul ve kullanımına yönelik çalışmalar son yıllarda hızla artmıştır ve birçok araştırma, tüketicilerin bu teknolojiyi benimseme davranışlarını anlamak için teknoloji kabul modellerini kullanmaktadır. Bu çalışmalar, teknolojinin benimsenmesinde etkili olan çeşitli dış etkenleri de incelemektedir. Örneğin, Legesse vd. (2024), blockchain teknolojisinin benimsenmesinde teknolojik uyumluluk, algılanan fayda ve üst yönetim desteğinin belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Benzer biçimde, Khati vd. (2024), NFT tabanlı sertifika paylaşım sistemlerinde kullanıcıların sisteme yönelik tutumlarının kabul üzerinde en etkili faktör olduğunu vurgulamıştır. Sağlık sektörüne odaklanan Bazel vd. (2025), blockchain teknolojisinin benimsenmesinde teknoloji güveni, bilgi şeffaflığı ve örgütsel hazırlığın önemli rol oynadığını göstermiştir. Li vd. (2025) ise gıda tedarik zincirinde blockchain tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin benimsenmesinde kullanım kolaylığı ve algılanan faydanın tüketici tutumu ve niyeti üzerinde güçlü etkiler yarattığını, ayrıca iyimserlik ve yenilikçilik gibi bireysel özelliklerin bu ilişkileri güçlendirdiğini ortaya koymuştur. Diğer yandan Sciarelli vd. (2021), blokzincirinin davranışsal olarak benimsenmesinin belirleyicileri olarak TAM ile birlikte düşük maliyet, verimlilik ve güvenlik faktörlerini ele almıştır. Kumar vd. (2022), gıda tedarik zincirinde blokzincirinin benimsenmesi için tüketici perspektifini incelemek için genişletilmiş bir teknoloji benimseme modeli üzerinde algılanan güvenlik ve gizlilikle birlikte güven faktörlerini incelemiştir. Mendoza-Tello vd. (2018), sosyal medyanın elektronik ödemelerde kripto para birimleri kullanma güvenini ve niyetini artırmada oynadığı rolü analiz etmiş ve TAM'a benimseme yapıları olarak algılanan güven ve algılanan riski dahil etmiştir. Sosyal ticaretin kripto para birimlerine olan güveni ve kullanım niyetini artırdığını sonucuna ulaşılmıştır. Sung vd. (2020), hastaları tıbbi belgelerindeki değişiklikler hakkında bilgilendiren blokzincir tabanlı mobil uygulama geliştirmek için TAM'a dijital okuryazarlık yapısını dahil etmiştir. Patil vd. (2020), mobil ödemenin tüketici tarafından benimsenmesini açıklamak için teknoloji kabul

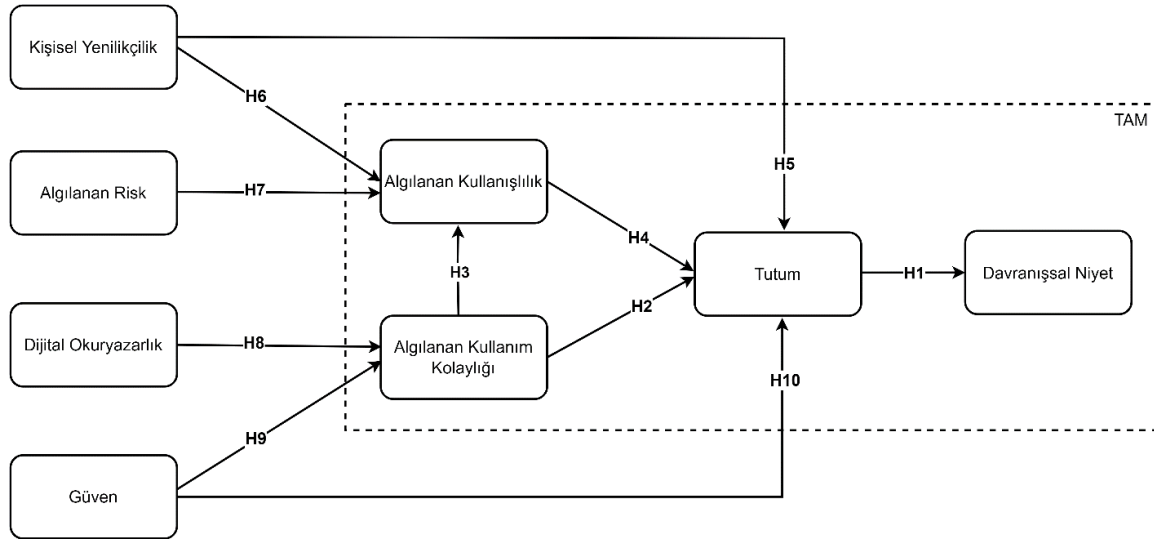
modeline kişisel yenilikçiliği eklemiştir. Sonuçlar, kişisel yenilikçiliğin tüketici tutumu üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermektedir.

Toraman vd. (2023), teslimat süreçlerinde blokzincir kullanımına yönelik tutum ve niyeti, yeniliklerin yayılması teorisi ile genişletilmiş bir TAM modeli üzerinden inceleyerek uyumluluk ve algılanan faydanın teknolojinin kabulünü güçlendirdiğini göstermiştir. İlgaz ve Özdemir (2024), bireylerin kripto para kullanım niyetlerini teknoloji kabul modeli çerçevesinde inceledikleri çalışmalarında, algılanan fayda ve kullanım kolaylığının tutumu pozitif etkilediğini, algılanan riskin tutum üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını ve yaş değişkeninin tutum ile niyet arasındaki ilişkide düzenleyici bir rol oynadığını saptamıştır. Toraman (2022), Dijital Türk Lirası'nın benimsenmesini TAM ve planlı davranış teorisi çerçevesinde analiz ederek algılanan fayda, kullanım kolaylığı ve tutumun kullanım niyeti üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuştur. Yenilmez (2024), Türkiye'deki KOBİ'lerin blokzincir teknolojisine adaptasyonunu algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, stratejik yönelim ve sosyal etkinin önemli belirleyiciler olduğu genişletilmiş bir TAM çerçevesinde inceleyerek, işletme perspektifinden blokzincir kabulüne ilişkin yerel kanıtlar sunmuştur. Toraman (2021) ise kripto (dijital) paralar özelinde blokzincir teknolojisinin benimsenmesini teknoloji kabul modeline algılanan güven, algılanan risk ve algılanan uyumluluk değişkenlerini ekleyerek ele almıştır. Yazar, özellikle uyumluluk ve fayda algısının kullanıcı niyeti üzerinde kritik rol oynadığını vurgulamıştır.

Bu çalışmalarda, teknolojinin sağladığı avantajlar, güvenlik, risk ve maliyet gibi birçok faktör önemli rol oynamaktadır. Çalışmaların sonuçları, blokzincir teknolojisinin benimsenmesinde tüketicilerin güven, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve kişisel yenilikçilik gibi faktörlerin dikkate alınabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, tüketicilerin yeterince araştırılmamış olan finansal işlem uygulamalarının kullanımını ilgilendiren süreci araştırarak bu araştırma akışına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, tüketicilerin finansal işlem uygulamalarını kullanma niyetini analiz etmek için genişletilmiş bir teknoloji kabul modeli (Technology Acceptance Model-TAM) kullanılmaktadır. TAM, doğası gereği genişletilebilen bir teoridir. Konu bağlamında TAM'ı genişletmek için kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven dış değişkenler olarak belirlenmiştir. Bu makale beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde çalışmanın teorik temelleri ve değişkenler arasındaki ilişkiye yönelik hipotezler açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, yöntem yer almaktadır. Dördüncü bölümde, çalışmanın bulguları sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise, tartışma ve sonuç aktarılarak, gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR VE HİPOTEZ GELİŞTİRME

Blokzincir tabanlı uygulamaların kabulünü araştırmak için geliştirilen Teknoloji Kabul Modeli (TAM)'ne dayanan araştırma modeli Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Araştırma Modeli

Şekil 1’de gösterilen ve bu araştırmanın amaçları doğrultusunda genişletilmiş olan yeni TAM modeli kapsamında, ilk olarak, TAM-çekirdek yapıları (davranışsal niyet, tutum, algılanan kullanılabilirlik ve algılanan kullanım kolaylığı), ikinci olarak dış yapılar (kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven) açıklanacaktır.

2.1. Blokzincir Teknolojisinin Kabulü ve Kullanımını Etkileyen Faktörler

Teknoloji kabul modeli (TAM) ilk olarak Davis (1989) tarafından önerilmiştir. TAM, kullanıcıların teknolojiyi nasıl benimsediğini ve kullandığını açıklamak için en etkili yollarından biridir (Liu ve Ye, 2021). TAM’ın amacı, kullanıcı davranışını açıklamak ve teknoloji kabulünün belirleyicileri hakkında bir açıklama ortaya koyabilmektir. Ayrıca, dış faktörlerin inanç, tutum ve niyet üzerindeki etkisini görebilmek için de bir temel sağlamaktadır (Davis vd., 1989). Blokzincir tabanlı hizmetler, yenilikçi hizmetlerin bir türü olarak çeşitli şekillerde uygulanmıştır (Lian vd., 2020). Bilgi yönetimi perspektifinden, böyle bir hizmetin tüketici tarafından kabul edilmesinin altında yatan faktörleri anlamak kritik öneme sahiptir (Schuetz ve Venkatesh, 2020). Teknoloji kabulüne yönelik literatürde TAM’ın yanı sıra, modele sosyal etki ve bilişsel değerlendirme unsurlarını ekleyen genişletilmiş modeller de bulunmaktadır. Bu doğrultuda Venkatesh ve Davis (2000) tarafından önerilen TAM2, teknoloji kullanım niyetini açıklamada sosyal normlar, imaj ve işlevsellik değerlendirmeleri gibi ek faktörlerin rolünü vurgulayarak literatürde referans gösterilen önemli bir katkı sunmuştur. Bu model doğrudan bu çalışmanın kapsamına dâhil edilmese de teknoloji kabulü çalışmalarında sıkça atıf yapılan bir genişletilmiş çerçeve olarak literatürde yer almaktadır.

Teknoloji Kabul Modeli (TAM)’ni kullanarak, blokzincir teknolojisini tüketici perspektifinden ele alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Lian vd. (2020), kullanıcıların akıllı cüzdanlara yönelik kabulünü ve kullanım niyetini etkileyen kritik faktörleri araştırmaktadır. Gao ve Li (2021), Çinli kullanıcıların blokzincir tabanlı oyunları benimsemesine odaklanmıştır. Albayati vd. (2020), tüketicilerin kripto paraları nasıl gördüğünü ve blokzincir teknolojisini ve finansal işlemleri nasıl

kullandığını göstermiştir. Kumar vd. (2022), ürün geçmişini ve kökenini takip etmek için blokzincir benimsemek üzere tüketici kabulünün öncüllerini keşfetmek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Liu ve Ye (2021), blokzincir teknolojisinin benimsenmesinin belirleyicilerini tanımlamayı ve tüketici davranışı açısından daha iyi bir anlayış sağlamayı amaçlamıştır. Ayrıca, Patil vd. (2020) tarafından, Hindistan'da mobil ödemenin tüketici tarafından benimsenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir.

2.1.1. Davranışsal Niyet ve Tutum

Davranışsal niyet, kişinin belirli bir davranışı gerçekleştirme gücünün bir ölçüsüdür (Davis, 1989). Bir sistemi kullanma niyeti, bireyin söz konusu sistemi gelecekte kullanıp kullanmama yönündeki bilinçli kararını ifade etmektedir (Venkatesh, 2015:1). Tutum ise, bireyin hedef davranışı gerçekleştirmeye ilişkin olumlu veya olumsuz duyguları olarak tanımlanmaktadır (Davis, 1989). Ayrıca, tutum, bireyin belirli bir davranışı gerçekleştirmek için olumlu ya da olumsuz hissetmesiyle de ilgilidir. Tutumun bilişsel, duyuşsal ve çağrışımsal olmak üzere üç ana bileşeni vardır ve bu nedenle çok boyutlu bir kavramdır (Kumar vd., 2022:3). TAM'a göre tutum, davranışsal niyetin güçlü bir öngörücüsüdür (Davis vd., 1989). TAM'ı benimseyen önceki çalışmalar arasında, yeni sistemleri ve teknolojileri kullanmak için tüketici davranışlarına odaklanan çalışmalar bulunmaktadır (Knauer ve Mann, 2020; Salcedo ve Gupta, 2021). Davranışsal niyet nihai hedeftir. Davranışa odaklanıldığında, tüketicilerin blokzincir teknolojisinin altında yatan finans hizmetlerini kabul etmeye yönelik davranışsal niyetinin arkasındaki ana nedenleri ve nitelikleri bulmaya rehberlik edebilir (Albayati vd., 2020). TAM modeline yönelik önceki araştırma sonuçları, tutum ve davranışsal niyet arasındaki ilişkiyi ve bunlar arasındaki etkileri doğrulamıştır. Bu nedenle, önerilen hipotez aşağıdaki gibidir:

Hipotez 1: Tüketicilerin tutumu, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik davranışsal niyet üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir.

2.1.2. Algılanan Kullanım Kolaylığı ve Algılanan Kullanışlılık

TAM, tüketicilerin yeni teknolojilere yönelik davranışsal yönünü anlamak için yaygın olarak kullanılan modellerden biridir. TAM, algılanan kullanılabilirlik ve algılanan kullanım kolaylığının, teknoloji kabul davranışları için birincil öneme sahip olduğunu öne sürmektedir. Algılanan kullanılabilirlik, "bir kişinin belirli bir sistemi kullanmanın iş performansını artıracağına inanma derecesini" ifade etmektedir. Algılanan kullanım kolaylığı ise, "bir kişinin belirli bir sistemi kullanmanın çaba gerektirmeyeceğine inanma derecesi" olarak tanımlanmaktadır (Davis, 1989). Daha az çaba gerektiren teknolojiler daha faydalı olabileceğinden algılanan kullanım kolaylığı, algılanan kullanılabilirliği olumlu yönde etkilemektedir (Kamble vd., 2021; Gangwar vd., 2015). Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan kullanılabilirlik teknolojinin benimsenmesinde önemli faktörler olarak gösterilmektedir (Davis, 1989; Venkatesh ve Morris, 2000). Bu çalışmada, davranışsal ilişkilerin blokzincir teknolojisinin benimsenmesinde geçerli olduğu varsayılmaktadır. Bu bağlamda, önerilen hipotezler şu şekildedir:

Hipotez 2: Algılanan kullanım kolaylığı, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik tutum üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Hipotez 3: Algılanan kullanım kolaylığı, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik algılanan kullanışlılık üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Hipotez 4: Algılanan kullanışlılık, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik tutum üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

2.2. Dış Değişkenler

TAM, algılanan kullanışlılık, algılanan kullanım kolaylığı, kullanıma yönelik tutum, davranışsal niyet ve dış değişkenlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada dış değişkenler olarak kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven araştırma modeline eklenmiştir. Bu bölümde, dış değişkenler olarak belirlenen kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven değişkenleri açıklanmaktadır. Blokzincir teknolojisinin kabul edilmesi, karmaşık bir süreçtir ve tek başına TAM modeli bu süreçte yönelik kapsamlı bir araç sağlayamaz. Bu nedenle, TAM modeli, blokzincir teknolojisine uyumlu diğer önemli yapılarla birleştirilmelidir (Folkinshteyn ve Lennon, 2016). TAM'a dahil edilen bu dış yapılar, bağlamsal faktörlerin yanında çevresel faktörleri de temsil etmektedir (Albayati vd., 2020). TAM, kullanıcı davranışını açıklamak için teorik bir temel sağlasa da dış yapılarla bütünleştirildiğinde, modelin açıklama gücünü daha iyi geliştirebilir (Hu vd., 1999). Araştırmaya dahil edilen dış değişkenlere dair açıklamalar Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Dış Değişkenlerin Tanımı

Dış Değişken	Kavramsallaştırma	Kaynak
Kişisel Yenilikçilik	Kişisel yenilikçilik, bireyin yeni bir bilgi teknolojisi (BT) benimsemeye yönelik eğilimini ifade etmektedir. Tüketicilerin blokzincir teknolojisini benimsemesi durumunda, kişisel yenilikçilik algılanan kullanışlılık ile birlikte etkileşime girerek tüketicilerin yeni bir teknolojiyi benimsemelerini kolaylaştırabilir. Ayrıca, tüketicilerin benimseme sürecindeki ilişkileri sürdürmek için temel bir unsurdur.	Agarwal ve Prasad (1998); Shanmugavel ve Micheal (2022)
Algılanan Risk	Algılanan risk, algılanan kullanışlılığın bir özelliği olarak kabul edilmektedir. Blokzincir teknolojisinin benimsenmesi durumunda algılanan risk, tüketici işlemleri üzerindeki caydırıcı etkilere sahip bir kavramdır.	Öngel vd. (2022); Farivar vd. (2018); Nuryyev vd. (2020)
Dijital Okuryazarlık	Tüketicilerin teknolojiyi benimseme konusundaki teknolojik yeterliliğini anlamak için dijital okuryazarlık ölçeği, TAM ile kullanılan bir yapıdır. Blokzincir teknolojisinin benimsenmesi durumunda bir kişinin sahip olduğu dijital okuryazarlık becerileri ne kadar yüksekse, yeni bir teknolojiyi benimseme olasılığı da o kadar yüksektir.	Rafı vd. (2019); Elhajjar ve Ouaida (2020)
Güven	Güven, tüketicilerin teknolojileri kullanırken sahip oldukları rahatlık, güven ve güvenlik düzeyini ifade etmektedir. Blokzincir teknolojisinin benimsenmesi durumunda güven, tüketici ile bir ilişkiyi sürdürmek için gereken bir diğer temel unsurdur. Diğer bir deyişle, tüketiciler, blokzincir teknolojisine güvenmedikleri takdirde, teknolojiyi kullanmayı reddedebilirler.	Albayati vd. (2020); Folkinshteyn ve Lennon (2016)

2.2.1. Kişisel Yenilikçilik

Agarwal ve Prasad (1998:206) bilişim teknolojisi alanında kişisel yenilikçiliği “bireyin herhangi bir yeni bilişim teknolojisini deneme istekliliği” olarak tanımlamaktadır. Kişisel yenilikçilik, bir bireyin teknolojiye diğer toplum üyelerine kıyasla ne derece proaktif bir şekilde yaklaştığını ifade etmektedir. Böyle bir davranışın arkasındaki neden, yeni teknolojinin kullanımına karşı olumlu bir tutum geliştirmeleridir (Shanmugavel ve Micheal, 2022:4). Sürekli olarak yeni ürünler, hizmetler ve deneyimler arayan tüketiciler, yeni teknolojiler hakkında olumlu izlenimlere sahiptir ve yeni ürünler, hizmetler ve deneyimler aramaya daha isteklidirler (Zhong vd., 2021:4; Patil vd., 2020:6). Agarwal ve Prasad (1998), bilişim teknolojisi alanındaki kişisel yenilikçilik, teknoloji benimseme kararlarının itici güçleri olarak bireysel inançlar veya algılar dışındaki yapıları içeren daha geniş odaklı bilgi teknolojileri uygulama modellerini zenginleştirmek için potansiyel olarak kullanılabileceğini ifade etmektedir. Chen (2023), kişisel yenilikçiliğin blokzincir teknolojisinin benimsenmesi üzerinde önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Kim vd. (2022), yüksek yenilikçiliğe sahip tüketicilerin blokzincir teknolojisini deneme niyetine daha yatkın olduğunu bulmuştur. Bu nedenle, önerilen hipotezler aşağıdaki gibidir:

Hipotez 5: Kişisel yenilikçilik, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik tutum üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Hipotez 6: Kişisel yenilikçilik, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik algılanan kullanışlılık üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

2.2.2. Algılanan Risk

Algılanan risk teorisi, 1960'lardan bu yana tüketici davranışını açıklamak için kullanılmaktadır (Lee, 2009:131). Algılanan risk, tüketiciler için bir belirsizlik kaynağıdır. Bu yüzden birçoğu riskten kaçınma eğilimindedir (Mendoza-Tello vd., 2019). Algılanan risk, işletmelerin pazarlama stratejilerini formüle ederken tüketicilerin satın alma niyetlerini ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Liang ve Chi, 2021:4). Algılanan risk, bir ürün veya hizmetin kullanımı gibi bir olay veya durumun olumsuz sonuçlarına ilişkin belirsizlik hissidir. Bu nedenle, algılanan risk, ticarete algılanan faydayı ve niyetini etkileyen önemli bir faktördür (Mendoza-Tello vd., 2018:50742). Algılanan risk, algılanan kullanışlılığın bir özelliği olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, blokzincir teknolojisi çerçevesinde, algılanan risk, algılanan kullanışlılık ve algılanan kullanım kolaylığı ile benimsenmeyi etkileyen en etkili üç faktörden biri olarak kabul edilmektedir (Nuryyev vd., 2020). Algılanan riskin, algılanan kullanışlılık üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu doğrulayan çalışmalar (Schmidhuber vd., 2020) bulunurken Mendoza-Tello vd. (2018), algılanan riskin, algılanan kullanışlılık üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını bulmuştur. Knauer ve Mann (2020:4), bir işlem bağlamında risklerin azaltılması, yararlılığını oluşturan blokzincir teknolojisinin temel bir fikri olduğu için, algılanan riskin, algılanan

kullanışlılığın bir belirleyicisi olarak kullanılabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle önerilen hipotez aşağıdaki gibidir:

Hipotez 7: Algılanan risk, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik algılanan kullanışlılık üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

2.2.3. Dijital Okuryazarlık

1990'lı yılların başından itibaren bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, bilgi okuryazarlığı kavramı dijital okuryazarlık çerçevesinde yeniden ele alınmaya başlanmıştır (Rafı vd., 2019). Dijital okuryazarlık kavramı, Alkalai (2004:102) tarafından “dijital çağda hayatta kalma yeteneği” olarak tanımlanmaktadır. Ng (2012), mevcut ve yeni teknolojilere uyum sağlamanın dijital okuryazarlığın bir göstergesi olduğunu belirtmektedir. Dijital okuryazarlık, teknolojik cihazları ve dijital platformları kullanmakla doğrudan ilişkili olduğundan, bireylerin bu teknolojileri kullanmaya ne kadar hazır olduğu sorusunu gündeme getirmektedir (Öngel vd., 2022). Dijital okuryazarlık, dijital cihazlarda bilgiye erişmek, yönetmek, anlamak, iletişim kurmak ve güvenli bir şekilde bilgi oluşturmak için gerekli bir yetkinliktir. Dijital okuryazarlık, bilgi iletişim teknolojileri okuryazarlığı, bilgi işlemsel düşünme, bilgi okuryazarlığı, medya okuryazarlığı gibi çeşitli yetkinlikleri kapsamaktadır (Choi vd., 2022:5). Dijital okuryazarlık becerileri, bilgi becerilerini, dijital araçların kullanımını ve dijital dönüşümü kapsamaktadır (Kavut, 2021:537). Hagood ve Skinner (2015), dijital okuryazarlığın, insanların yeni bilgi yaratmak ve yönetmek için dijital araçlar ve medya konusundaki farkındalıklarını artırdığını savunmaktadır. Rafı vd. (2019), öğrencilerin veri tabanı kaynaklarını kullanma ve çevrimiçi bilgi arama konusundaki teknolojik yeterliliğini anlamak için, dijital okuryazarlık ölçeğini TAM ile kullanmaktadır. Bu çalışmada, tüketicilerin dijital okuryazarlık düzeyi ne kadar yüksek olursa, finansal işlem uygulamalarına katılımının o kadar fazla olacağı savunulmaktadır. Hannoun vd. (2021), dijital okuryazarlığın, blokzincir teknolojisinin kullanımındaki teknik zorlukları aşmaya yardımcı olduğu ve kullanıcıların teknolojiyi daha kolay algılamasını sağladığını göstermiştir. Bu nedenle, önerilen hipotez şu şekildedir:

Hipotez 8: Dijital okuryazarlık, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik algılanan kullanım kolaylığı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

2.2.4. Güven

Güven, genel iş faaliyetlerine katılım için temel bir gerekliliktir (Reichheld ve Schefter, 2000). Karşılıklı güven, ticari etkileşimlerin önemli bir unsurudur (Hawlitcshek vd., 2016). McCloskey (2007:59), e-ticaretin kullanımına yönelik gerçekleştirdiği çalışmasında, güvenin kullanım kolaylığı üzerinde anlamlı ve olumlu bir etkisi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Saputra ve Darma (2022), blokzincir kullanma niyetinin uygulamaya duyulan güven ve algılanan kullanım kolaylığı gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Liu ve Ye (2021), güvenin teknolojiyi kullanma niyetini doğrudan artırabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, güven, blokzincire yönelik tutumun itici bir gücü olmasının yanı sıra, gizlilik

ve güvenliğin bir sonucu olarak görülebilir. Ayrıca, dijital işlem sürecinin anahtarı olduğu için, bir blokzincir hizmetinde güveni destekleyen unsurların test edilmesi önemlidir (Shin, 2019:4). Güvenin, blokzincir teknolojisine yönelik algılanan kullanım kolaylığı ve tutum üzerindeki etkisini olumlu yönde artırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Norbu vd. 2024; Albayati vd. 2020; Saputra ve Darma, 2022; Shin, 2019). Bu nedenle, önerilen hipotezler şu şekildedir:

Hipotez 9: Güven, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik algılanan kullanım kolaylığı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Hipotez 10: Güven, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik tutum üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

3. YÖNTEM

3.1. Veri Toplama Aracı

Çalışmada nicel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Kullanılan tüm ölçekler mevcut literatürden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm ölçekler ilgili literatürden doğrudan uyarlanmış olup, orijinal madde sayıları korunmuştur. Anket formu oluşturabilmek için kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırması sonucunda belirlenen ölçekler uyarlanarak ankete dahil edilmiştir. Buna göre, Kişisel Yenilikçilik Ölçeği Agarwal ve Prasad (1998), Algılanan Risk Ölçeği Arias-Oliva vd. (2019), Dijital Okuryazarlık Ölçeği Öngel vd. (2022), Güven Ölçeği Albayati vd. (2020), Algılanan Kullanım Kolaylığı, Algılanan Fayda, Tutum ve Davranışsal Niyet Ölçekleri Davis (1989) çalışmalarından alınmıştır.

Anket formu iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, katılımcıların demografik özelliklerine (cinsiyet, yaş, meslek ve eğitim durumu) ilişkin dört soru yer almaktadır. İkinci bölümde ise araştırma modelinde yer alan değişkenlere yönelik ifadeler 5’li likert ölçek tipine göre hazırlanmıştır (“1=Kesinlikle katılmıyorum” ile “5=Kesinlikle katılıyorum” aralığında). Demografik bilgiler hariç olmak üzere ankette toplam 38 ifade bulunmaktadır. Anket formu için Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu onayı alınmıştır.

3.2. Örneklem ve Veri Toplama

Veriler, 18 yaş üstü bireylerden, kolayda örnekleme yaklaşımı kullanılarak çevrimiçi anket yoluyla elde edilmiştir. İlgili katılımcılara erişebilmek için Instagram, Facebook, Twitter, Telegram ve WhatsApp gibi sosyal ağ platformları kullanılmıştır. Birincil veriler toplanmadan önce bir görünüş geçerliliği testi yapılmıştır. İlk olarak, 52 anket katılımcısı üzerinden pilot analiz yapılmıştır. Bu ön analizde, ölçekleri temsil eden maddeler üzerinde düzenlemeler yapılmış, elde edilen veriler analiz edilerek maddelerin faktör yükleri ve diğer değerleri kontrol edilmiştir.

Elde edilen veriler, Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) yöntemiyle analiz edilmiştir. PLS-SEM, değişkenler arasındaki nedensel ilişkilerin tahmin edilmesine odaklanan, yüksek

tahmin gücü sunan ve karmaşık modellerde esnek bir analiz yaklaşımı sağlayan bir yöntem olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir (Chin, 1999; Hair et al., 2019). Ankete toplamda 263 kişi katılım sağlamıştır. Demografik bulgulara göre, katılımcıların %56,3'ü kadın, %43,7'si erkektir. Yaş dağılımı incelendiğinde, örneklemin çoğunluğunu genç bireylerin oluşturduğu görülmektedir. Katılımcıların %54,8'i 25–34 yaş aralığındayken, %20,9'u 25 yaşından küçüktür. Eğitim düzeyine bakıldığında, katılımcıların %88,2'sinin lisans veya daha yüksek bir dereceye sahip olduğu belirlenmiştir. Meslek dağılımı açısından ise katılımcıların %36,1'i özel sektörde çalışmakta, %31,6'sı ise öğrencidir.

4. BULGULAR

Toplanan verilerin ölçüm modeli ve yapısal model analizlerini değerlendirmek için Yapısal Eşitlik Modellemesi (SEM) uygulanmıştır. Analiz için SmartPLS paket uygulaması kullanılmıştır. İlk olarak, çalışmada yer alan yapıların güvenilirlik ve geçerlilik değerlendirmelerini yapmak için ölçüm modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda güvenilirlik, yakınsak geçerlilik ve ayırt edici geçerlilik değerlendirilmiştir. Değişkenlere ilişkin ölçek ifadeleri Ek 1'de sunulmaktadır.

4.1. Güvenilirlik ve Geçerlilik

Ölçüm modelinin güvenilirliğini doğrulamak için bileşik güvenilirlik (CR) ve Cronbach alfa (α) değerleri hesaplanmıştır. Ölçeklerin güvenilirliğini ortaya koyabilmek için bu iki değer 0,70'in üzerinde olması beklenmektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Tablo 2'de yer alan ölçüm modeli sonuçlarına göre güvenilirlik sağlanmıştır. Geçerlilik ise yakınsak geçerlilik ve ayırma geçerliliği olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Yakınsak geçerlilik için faktör yüklemelerinin 0,5'in üzerinde ve ortalama varyansın (AVE) 0,5'in üzerinde olması gerekmektedir (Hair vd., 2010; Henseler vd., 2016). 0,50 faktör yükü altında olan iki ifade (DO4 ve DO5) veri setinden çıkarılmıştır. Tablo 2'de ölçüm modeli sonuçlarında belirtilen sonuçlara göre yakınsak geçerlilik sağlanmıştır.

Tablo 2. Ölçüm Modeli Sonuçları

Yapılar	Öğeler	Loadings	Cronbach's α	CR	AVE
Kişisel Yenilikçilik (KY)	KY1	0,864	0,858	0,904	0,703
	KY2	0,813			
	KY3	0,787			
	KY4	0,885			
Algılanan Risk (AR)	AR1	0,920	0,905	0,940	0,840
	AR2	0,926			
	AR3	0,904			
Dijital Okuryazarlık (DO)	DO1	0,662	0,896	0,914	0,516
	DO2	0,705			
	DO3	0,732			
	DO6	0,746			
	DO7	0,753			
	DO8	0,754			
	DO9	0,759			
	DO10	0,714			

	DO11	0,645			
	DO12	0,700			
Güven (G)	G1	0,807	0,822	0,894	0,739
	G2	0,885			
	G3	0,884			
Algılanan Kullanım Kolaylığı (AKK)	AKK1	0,866	0,912	0,938	0,791
	AKK2	0,893			
	AKK3	0,906			
	AKK4	0,892			
Algılanan Kullanışlılık (AK)	AK1	0,876	0,925	0,942	0,729
	AK2	0,879			
	AK3	0,888			
	AK4	0,791			
	AK5	0,812			
	AK6	0,873			
Tutum (T)	T1	0,945	0,933	0,957	0,882
	T2	0,929			
	T3	0,943			
Davranışsal Niyet (DN)	DN1	0,950	0,942	0,963	0,896
	DN2	0,947			
	DN3	0,942			

Ayrışma geçerliliğinde, her bir yapı için AVE'nin karekökü karşılaştırılarak incelenmiştir. Fornell-Larcker Kriterine göre, AVE'nin karekökü, diğer yapılarla olan her bir korelasyon değerinden büyükse, ayrışma geçerliliği sağlanmaktadır (Fornell ve Larcker, 1981). Tablo 3'te yer alan sonuçlara göre ayrışma geçerliliği sağlanmıştır.

Tablo 3. Fornell-Larcker Kriteri

	AKK	AK	AR	DN	DO	G	KY	T
AKK	0,889							
AK	0,710	0,854						
AR	-0,456	-0,392	0,917					
DN	0,584	0,660	-0,361	0,946				
DO	0,423	0,331	-0,329	0,390	0,718			
G	0,591	0,573	-0,445	0,547	0,304	0,860		
KY	0,491	0,432	-0,449	0,570	0,465	0,424	0,838	
T	0,593	0,730	-0,389	0,845	0,352	0,599	0,541	0,939

Aşağıdaki Tablo 4'te, yapılar arasındaki ayrışma geçerliliğini test etmek için Henseler vd. (2015) tarafından önerilen HTMT kriterine ilişkin değerler yer almaktadır. Tablo incelendiğinde, HTMT değerlerinin büyük çoğunluğunun 0,85'in altında olduğu görülmektedir. Tutum ile Davranışsal Niyet arasındaki HTMT değeri 0,900 olup bu değer üst sınıra yakın olmakla birlikte Henseler vd. (2015) ve Gold vd. (2001) tarafından önerilen 0,90 tolerans eşiği içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle modelde ayrışma geçerliliğinin sağlandığı söylenebilir.

Tablo 4. HTMT Kriteri

	AKK	AK	AR	DN	DO	G	KY	T
AKK								
AK	0,771							
AR	0,499	0,424						

DN	0,628	0,703	0,392					
DO	0,455	0,364	0,362	0,415				
G	0,680	0,653	0,515	0,621	0,339			
KY	0,556	0,483	0,505	0,633	0,515	0,506		
T	0,639	0,779	0,424	0,900	0,371	0,682	0,602	

Diğer yandan, her bir göstergenin doğru faktöre atanmasını sağlamak için çapraz yüklemeler incelenmiştir. Tablo 5, çapraz faktör yüklemelerini göstermektedir ve bu bulgulara dayanarak ayırışma geçerliliğinin yeterli olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Çapraz Faktör Yüklemeleri

	AK	AKK	AR	DN	DO	G	KY	T
AK1	0,876	0,623	-0,354	0,588	0,268	0,543	0,362	0,666
AK2	0,879	0,603	-0,375	0,559	0,211	0,507	0,369	0,669
AK3	0,888	0,626	-0,381	0,608	0,324	0,499	0,405	0,691
AK4	0,791	0,548	-0,264	0,458	0,248	0,421	0,318	0,491
AK5	0,812	0,597	-0,252	0,520	0,338	0,441	0,370	0,525
AK6	0,873	0,639	-0,363	0,629	0,310	0,514	0,386	0,669
AKK1	0,578	0,866	-0,361	0,450	0,363	0,494	0,449	0,439
AKK2	0,672	0,893	-0,420	0,552	0,337	0,560	0,409	0,564
AKK3	0,631	0,906	-0,384	0,521	0,437	0,515	0,434	0,501
AKK4	0,642	0,892	-0,452	0,548	0,367	0,531	0,459	0,594
AR1	-0,365	-0,446	0,920	-0,304	-0,325	-0,384	-0,397	-0,319
AR2	-0,365	-0,432	0,926	-0,343	-0,332	-0,442	-0,442	-0,378
AR3	-0,349	-0,373	0,904	-0,347	-0,245	-0,397	-0,395	-0,373
DN1	0,621	0,530	-0,330	0,950	0,371	0,526	0,526	0,798
DN2	0,609	0,567	-0,358	0,947	0,379	0,496	0,555	0,797
DN3	0,643	0,562	-0,338	0,942	0,357	0,530	0,536	0,804
DO1	0,217	0,390	-0,232	0,338	0,662	0,271	0,455	0,315
DO2	0,226	0,331	-0,247	0,284	0,705	0,282	0,322	0,266
DO3	0,274	0,271	-0,186	0,269	0,732	0,141	0,268	0,202
DO6	0,256	0,328	-0,243	0,342	0,746	0,296	0,326	0,331
DO7	0,264	0,275	-0,257	0,293	0,753	0,217	0,329	0,298
DO8	0,237	0,281	-0,202	0,276	0,754	0,208	0,295	0,263
DO9	0,201	0,278	-0,310	0,206	0,759	0,234	0,379	0,212
DO10	0,254	0,278	-0,259	0,221	0,714	0,147	0,267	0,182
DO11	0,220	0,197	-0,194	0,224	0,645	0,057	0,255	0,134
DO12	0,229	0,322	-0,217	0,288	0,700	0,228	0,363	0,243
G1	0,512	0,555	-0,391	0,448	0,327	0,807	0,404	0,470
G2	0,515	0,513	-0,411	0,493	0,249	0,885	0,346	0,551
G3	0,447	0,453	-0,342	0,466	0,205	0,884	0,342	0,520
KY1	0,372	0,424	-0,341	0,491	0,386	0,411	0,864	0,445
KY2	0,327	0,383	-0,280	0,464	0,351	0,386	0,813	0,442
KY3	0,380	0,401	-0,498	0,462	0,438	0,273	0,787	0,480
KY4	0,365	0,437	-0,372	0,490	0,378	0,355	0,885	0,440
T1	0,716	0,581	-0,369	0,804	0,365	0,612	0,541	0,945
T2	0,650	0,555	-0,356	0,805	0,312	0,523	0,501	0,929
T3	0,691	0,533	-0,371	0,772	0,311	0,548	0,481	0,943

Yapısal eşitlik modellemesinde bir modelin genel geçerliği yalnızca kurulan ilişkilerin istatistiksel anlamlılığıyla değil, aynı zamanda modelin veriye ne ölçüde uyum sağladığını gösteren çeşitli uyum indeksleriyle de değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, ölçüm modeline ilişkin uyum iyiliği göstergeleri

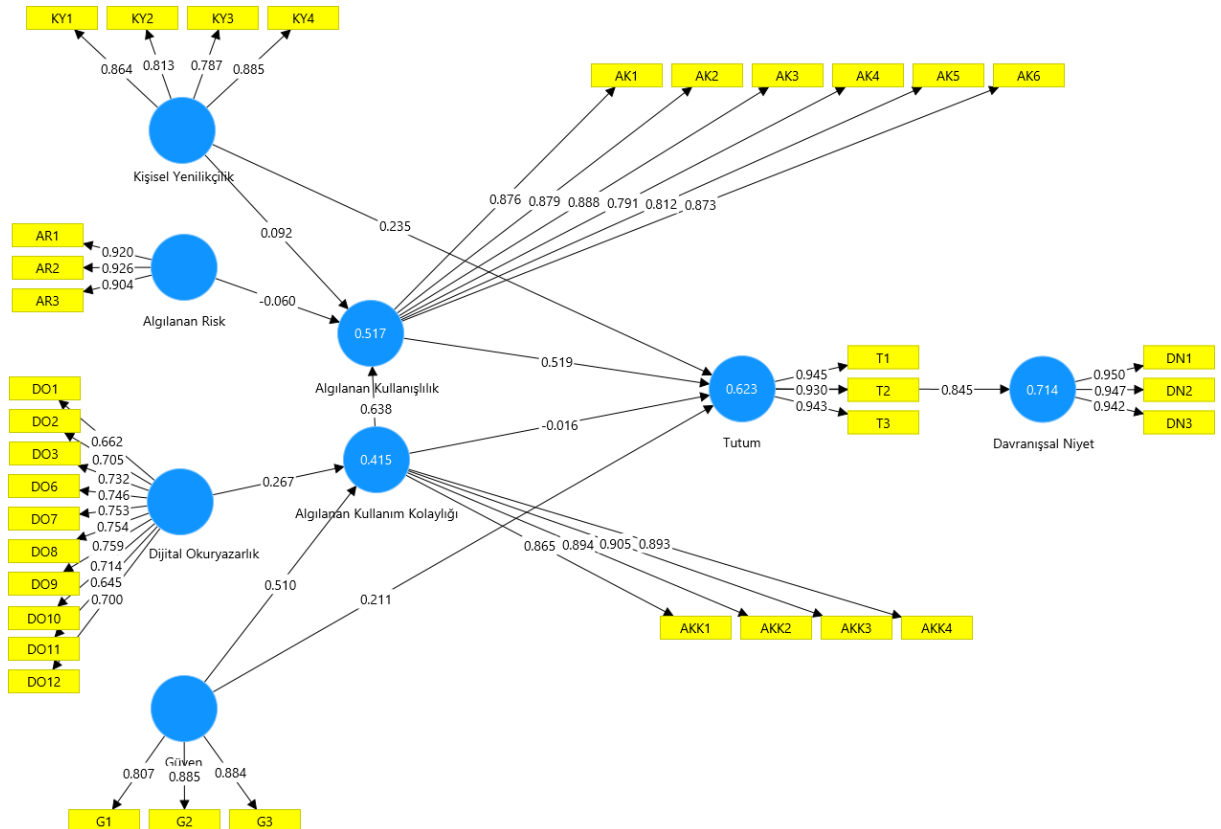
Tablo 6’da sunulmuştur. İlgili tabloda raporlanan değerler, modelin örneklem verisiyle gösterdiği bütünsel uyumu ortaya koymakta ve model–veri tutarlılığına dair önemli ipuçları vermektedir (Başaran ve Aksoy, 2015). Burada görüldüğü üzere SRMR ve NFI değerleri önerilen sınırlar içerisinde yer almakta ve araştırma modelinin kabul edilebilir bir uyum düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. SRMR değeri iyi uyum kriterini karşılamaktadır (Hu ve Bentler, 1999). NFI değeri ise 0,90 eşğine yakın olup karmaşık PLS-SEM modelleri için kabul edilebilir düzeydedir (Henseler vd., 2016).

Tablo 6. Model Uyum İyiliği Değerleri

Uyum ölçütü	Elde edilen değer	Önerilen eşik değer	Değerlendirme
SRMR	0,057	$\leq 0,08$	Kabul edilebilir
Kİ-KARE (X^2)	1636,096	<3	Model anlamlı
NFI	0,797	$\geq 0,90$	Kabul edilebilir

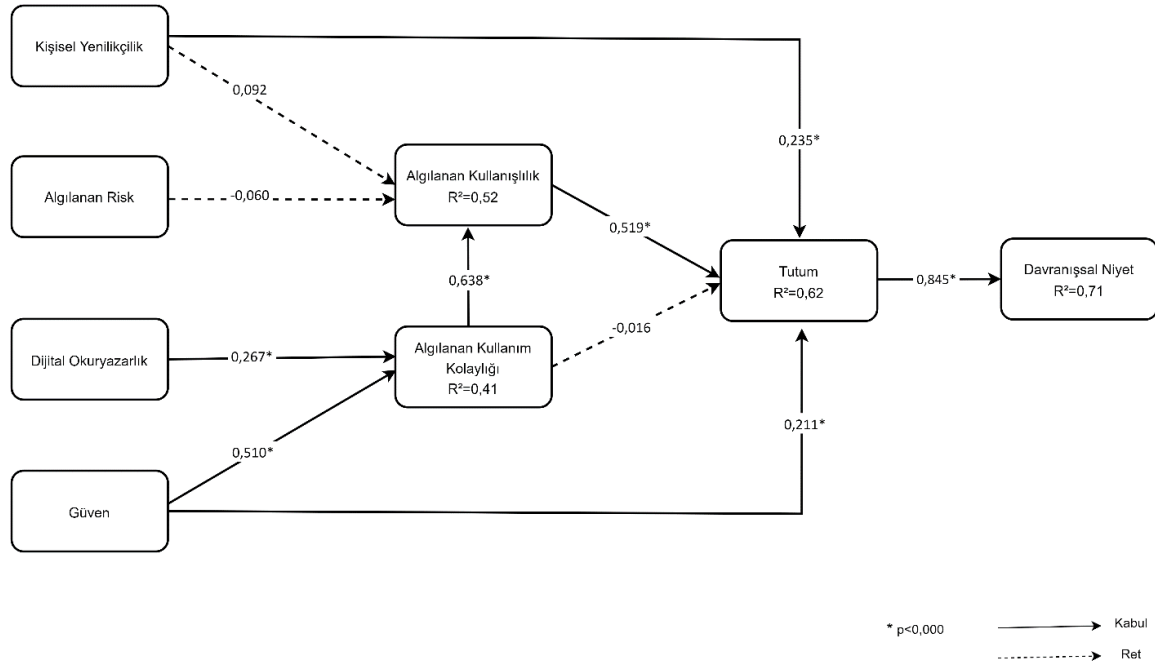
4.2. Yapısal Model Değerlendirmesi

Ölçüm modelinin doğrulanmasının ardından, değerlendirmek için yol analizi testi uygulanmıştır. Bu aşamada araştırmanın amaçlarını oluşturan gizil yapılar arasındaki ilişkiler test edilmiştir. Yapısal Eşitlik Modellemesi analiz sonucu Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. Yapısal Eşitlik Modellemesi Analiz Sonucu

Şekil 3, yapısal model analizinden elde edilen R^2 , beta (β) ve P değerlerini içeren hipotez test sonuçlarının özetini göstermektedir.



Şekil 3. Hipotez Test Sonuçları

R² değeri, bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni ne kadar açıkladığını ifade etmektedir. R² değeri sonuçlarına göre, davranışsal niyetin, blokzincir teknolojisinin kullanımında %71,4'lük bir oranda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tutum, %62,3 oranla, işlem uygulamaları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu açıklamaktadır. Diğer yandan, algılanan kullanılabilirlik %51,6 ve algılanan kullanım kolaylığı %41,5 oranla, işlem uygulamalarına yönelik ılımlı bir etkiye sahip olduğunu açıklamaktadır. Hipotez sonuçları Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Hipotez Sonuçları

Hipotezler	Yol Katsayısı (β)	VIF Değeri	Sonuç
H1: Tutum → Davranışsal Niyet	0,845	1,000	Kabul
H2: Algılanan Kullanım Kolaylığı → Tutum	-0,016	2,377	Ret
H3: Algılanan Kullanım Kolaylığı → Algılanan Kullanışlılık	0,638	1,451	Kabul
H4: Algılanan Kullanışlılık → Tutum	0,519	2,195	Kabul
H5: Kişisel Yenilikçilik → Tutum	0,235	1,379	Kabul
H6: Kişisel Yenilikçilik → Algılanan Kullanışlılık	0,092	1,440	Ret
H7: Algılanan Risk → Algılanan Kullanışlılık	-0,060	1,378	Ret
H8: Dijital Okuryazarlık → Algılanan Kullanım Kolaylığı	0,267	1,102	Kabul
H9: Güven → Algılanan Kullanım Kolaylığı	0,510	1,102	Kabul
H10: Güven → Tutum	0,211	1,703	Kabul

Hipotez 1, “Tüketicilerin tutumu, blokzincir teknolojisi tarafından desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik davranışsal niyet üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir.” varsayımını öne sürmektedir. Şekil 2’teki bulgulara göre tutumun, davranışsal niyet üzerinde pozitif ve istatistiki olarak da anlamlı bir etkisi vardır ($\beta = 0,845$; $p < 0,000$). Bu sonuçlara göre Hipotez 1 kabul edilmiştir.

Tutumu etkileyen dört yapıdan algılanan kullanışlılık (Hipotez 4; $\beta = 0,519$; $p < 0,000$), güven (Hipotez 10; $\beta = 0,211$; $p < 0,000$) ve kişisel yenilikçilik (Hipotez 5; $\beta = 0,235$; $p < 0,000$) finansal işlem uygulamalarının kullanımına yönelik tutum üzerinde anlamlı bir etkiye sahipken, algılanan kullanım kolaylığı (Hipotez 2; $\beta = -0,016$; $p < 0,814$) tutum üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Dolayısıyla, Hipotez 4, Hipotez 5 ve Hipotez 10 kabul edilirken, Hipotez 2 reddedilmiştir.

Algılanan kullanışlılığı etkileyen üç yapıdan algılanan kullanım kolaylığının (Hipotez 3; $\beta = 0,638$; $p < 0,000$) tüketicilerin finansal işlem uygulamalarının kullanışlılığına yönelik algısı üzerinde anlamlı etkiye sahipken, kişisel yenilikçiliğin (Hipotez 6; $\beta = 0,092$; $p < 0,095$) ve algılanan riskin (Hipotez 7; $\beta = -0,060$; $p < 0,347$) tüketicilerin finansal işlem uygulamalarının kullanışlılığına yönelik algısı üzerinde anlamlı etkisi bulunmamaktadır. Bu sonuçlara göre, Hipotez 3 kabul edilirken, Hipotez 6 ve Hipotez 7 reddedilmiştir.

Dijital okuryazarlık (Hipotez 8; $\beta = 0,267$; $p < 0,000$) ve güven (Hipotez 9; $\beta = 0,510$; $p < 0,000$) algılanan kullanım kolaylığını etkileyen iki faktördür. Analiz sonuçlarına göre, Hipotez 8 ve Hipotez 9 kabul edilmiştir. Değerlendirilen toplam on hipotezden yedi tanesi kabul edilirken, üç tanesi reddedilmiştir.

Ayrıca tabloda sunulan VIF değerlerinin tamamının 3,3 sınırının altında kalması (Diamantopoulos ve Siguaw, 2006), yapısal modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu bulunmadığını ve yol katsayılarının güvenilir biçimde tahmin edildiğini göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde hızla gelişen blokzincir teknolojisi, hizmetlerin ve işlemlerin güvence altına alınması için çeşitli çözümler sunmaktadır. Ancak, kullanıcı isteksizliği nedeniyle bu teknolojinin gerçek kullanımı hala yeterli düzeyde değildir (Albayati vd., 2020). Bu teknolojinin kabul seviyesinin sınırlı olması nedeniyle, bu çalışma, blokzincir teknolojisinin benimsenmesini sağlayan etkenleri keşfetmek ve tüketici davranışı açısından içgörüler sunmak amacıyla TAM modelini uygulamaktadır. Bu bağlamda, kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven gibi yapılar, kullanıcıların blokzinciri benimseme konusundaki davranışsal niyetlerini etkileyip etkilemediğini incelemek üzere dış değişkenler olarak dahil edilmiştir. TAM yapıları açısından, bulgular tutumun davranışsal niyetin bir öngörücüsü olduğunu destekleyen önceki araştırmaları doğrulamaktadır (Albayati vd., 2020; Sciarelli vd., 2021; Kamble vd., 2021). 263 katılımcıyla yapılan anket sonuçlarına göre bulgular, tüketicilerin algıladığı kullanım kolaylığı ve kullanışlılığın, blokzincir teknolojisi ile yapılan işlem uygulamalarına yönelik tutumları ve davranışsal niyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, dış değişken olarak tanımlan kişisel yenilikçilik ve güven, blokzincir teknolojisi işlem uygulamalarına yönelik tutumu etkileyen önemli faktörlerdir.

Elde edilen sonuçlar, finansal işlem uygulamalarının kullanımına yönelik tutumu etkileyen dört yapı arasında farklı etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kullanıcıların blokzincir tabanlı uygulamalara

karşı tutumu üzerinde olumlu bir etkiye sahip bu üç yapıya (Hipotez 4, Hipotez 5 ve Hipotez 10) göre özellikle güven faktörü, kullanıcı tutumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Blokzincir teknolojisi, merkezi bir otoriteye gerek kalmadan güvenli bir şekilde finansal işlemlerin gerçekleştirilmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle, blokzincir teknolojisi ile desteklenen finansal işlem uygulamalarının kullanıcılar tarafından güvenilir bulunması son derece önemlidir. Kişisel yenilikçilik faktörü de kullanıcı tutumunu etkileyen önemli bir faktördür. Geleneksel finansal araçlardan farklı olarak, blokzincir teknolojisi ile desteklenen finansal işlem uygulamaları yenilikçi bir yapıya sahiptir. Kullanıcılar, bu yenilikçi yapıya olan ilgi ve merakları nedeniyle blokzincir teknolojisi ile desteklenen finansal işlem uygulamalarına daha olumlu bir tutum sergilemektedirler.

Kullanıcı tutumlarını etkileyen diğer bir kritik bileşen ise algılanan kullanışlılıktır. Kullanıcıların finansal işlem uygulamalarını kullanım kolaylığı açısından değerlendirmeleri, uygulamanın başarısı için kritik bir faktördür. Ancak, bu çalışmada algılanan kullanım kolaylığı faktörünün kullanıcı tutumuna etkisinin tespit edilememesi, finansal işlem uygulamalarının kullanıcılar tarafından yeterince kullanışlı bulunduğu anlamına gelmemektedir. Daha kapsamlı araştırmaların yapılması, bu faktörün kullanıcı tutumu üzerindeki etkisini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Hipotez 2'nin reddedilmesi, algılanan kullanım kolaylığının tutum üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ve blokzincir tabanlı finansal uygulamalara yönelik tutumun kullanım kolaylığından ziyade algılanan kullanışlılık ve güven unsurlarıyla şekillendiğini göstermektedir. Bu bulgu, orijinal modelde öngörüldüğü üzere kullanıcıların bu teknolojiyi değerlendirirken daha çok işlevsel faydalara odaklandıklarını ve kullanım kolaylığını artık temel bir belirleyici olarak görmediklerini ortaya koymaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğunun genç ve dijital teknolojilere aşina bireylerden oluşması, kullanım kolaylığını beklenen standart bir özellik haline getirmiş olabilir. Bu nedenle kullanım kolaylığı tek başına tutumu artırmamakta; tutum daha çok uygulamanın sağladığı fayda, güvenlik düzeyi ve kullanım amacıyla ilişkili görünmektedir. Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan kullanışlılık arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bu iki yapı kullanıcıların yeni bir teknolojiye karşı tutumunun temellerini ifade etmektedir. Bu durumda, finansal işlem uygulamalarının kullanıcılar tarafından kolay ve kullanışlı olarak algılanması, bu uygulamaların benimsenmesine ve kullanılması üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Diğer yandan, modelde dış değişken olarak belirlenen kişisel yenilikçilik ve algılanan riskin, algılanan kullanışlılık üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Hipotez 6'nın reddedilmesi, kişisel yenilikçiliğin blokzincir teknolojisinin kullanımına yönelik algılanan kullanışlılık üzerindeki etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, tüketicilerin blokzincir teknolojisi kullanımına yönelik düşüncelerinin yenilikçilik düzeyine bağlı olmadığına işaret etmektedir. Tüketiciler, yenilikçi olmalarına rağmen, bu teknolojiyi kullanışlı bulma konusunda nötr kalabilirler. Bununla birlikte literatürdeki diğer araştırmalar, yenilikçi tüketicilerin teknolojik yeniliklere daha olumlu bir tutum sergilediğini göstermektedir. Buna göre, yüksek düzeyde yenilikçi tüketicilerin yeni bir teknolojinin

kullanışlılığı konusunda daha olumlu algılara sahip olduğunu öne süren Zhong vd. (2021) ve Shanmugavel ve Micheal (2022) ile sonuçlar eşleşmemektedir. Hipotez 7'nin reddedilmesi, algılanan riskin algılanan kullanışlılık üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ve kullanıcıların blokzincir tabanlı finansal uygulamalara ilişkin risk değerlendirmelerini bu teknolojilerin işlevsel faydalarından bağımsız olarak ele aldıklarını göstermektedir. Bu bulgu, kullanıcıların risk algılarının uygulamanın pratik yararlarını gölgelemediğini, özellikle genç ve dijital deneyimi yüksek katılımcıların risk unsurlarını kullanışlılık değerlendirmesinden ayrı bir boyut olarak gördüklerini düşündürmektedir. Araştırmada risk yapısının tek boyutlu olarak ele alınması ve çalışmanın genel bir blokzincir uygulamaları çerçevesi sunması, katılımcıların risk algısını bağlamdan bağımsız ve daha soyut şekilde değerlendirmesine yol açmış olabilir. Literatürde algılanan riskin tüketici tutumlarını etkileyebildiğini gösteren araştırmalar bulunsun da bu çalışmada elde edilen bulgular Schmidhuber vd. (2020)'nin riskin kullanışlılık ve tutum üzerindeki etkisini vurgulayan sonuçlarıyla örtüşmemektedir. Buna karşılık sonuçlar, risk etkisinin zayıf olduğunu bildiren Mendoza-Tello vd. (2018) ile Knauer ve Mann (2020) çalışmalarına daha fazla benzerlik göstermektedir.

Sonuçlar ayrıca, dijital okuryazarlığın blokzincir teknolojisiyle desteklenen finansal işlem uygulamalarının kullanım kolaylığı açısından daha erişilebilir hale getirilmesine katkı sağlayabileceğini öne sürmektedir. Diğer bir deyişle, dijital okuryazarlık seviyesi yüksek kullanıcılar, blokzincir tabanlı uygulamalara karşı daha hızlı adaptasyon sağlama eğilimindedir. Dijital okuryazarlık, bu teknolojilerin kullanımında önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgu, dijital okuryazarlığın, algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösteren önceki çalışmalarla (Elhajjar ve Ouaida, 2020; Nazzal vd., 2021) tutarlıdır. Güven ise, yeni teknolojiye olan inancı temsil etmektedir. Blokzincir tabanlı uygulamaların kullanımının daha az çaba gerektirmesi, bu teknolojiye karşı güveni arttıracaktır. Yani, tüketicilerin blokzincir teknolojisi ile ilgili güven seviyeleri arttıkça, blokzincir teknolojisine dayalı finansal işlem uygulamalarını kullanmanın kolay olduğunu algılama eğilimleri de artmaktadır. Bu sonuç, önceki çalışmaları (Ullah vd., 2022; Gefen vd., 2003; Gao ve Li, 2021) desteklemektedir.

5.1. Teorik ve Pratik Katkılar

Bu çalışmanın temel amacı, blokzincir teknolojisinin tüketiciler tarafından kabul edilme sürecindeki faktörleri ve bu faktörlerin etkilerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, TAM teorisi temel alınarak, blokzincir teknolojisinin kabulünü etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve etkilerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar, blokzincir teknolojisinin tüketici kabulünde en önemli faktörün algılanan kullanışlılık olduğunu göstermiştir. Ayrıca, dijital okuryazarlık ve güven duygusu gibi faktörlerin de blokzincir teknolojisi kabulünü etkilediği bulunmuştur.

Bu çalışmanın teorik katkısı, TAM teorisinin blokzinciri teknolojisi kabulüne uygulanabilmesi ve diğer araştırmalar için bir çerçeve sağlamasıdır. Teknoloji kabulünü değerlendirmek için, TAM sıklıkla

kullanılan bir teori olsa da bu çalışmada kullanılan dış değişkenlerle kurulan model, teorik bilgiye özgün ve önemli bir katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, blokzincir teknolojisini tüketici açısından ele alan sınırlı sayıdaki literatüre de katkıda bulunmaktadır. Bu araştırma, blokzincir teknolojisi kabulü hakkındaki bilgi birikimini arttırarak, ilgili araştırmalara ışık tutabilir. Bu çalışma, blokzincir teknolojisinin kabulünü etkileyen faktörler arasında dijital okuryazarlık ve güven faktörlerinin önemli olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, dijital okuryazarlığın teknoloji kabulü üzerindeki etkisini araştırarak, bu kavramın teknoloji kabul modellerine dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu bulgu, dijital okuryazarlığın sadece blokzincir teknolojisi için değil, diğer dijital teknolojilerin kabulü için de kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, dijital okuryazarlık ve güven konularında daha fazla araştırma yapılmasına yönelik teşvik sağlayabilir. Bu çalışmanın bulguları, blokzincir tabanlı uygulamaların tasarımı ve geliştirilmesine yardımcı olabilir. Özellikle, bu çalışmanın bulguları, blokzincir teknolojisi ile desteklenen finansal işlem uygulamalarının dijital okuryazarlık ve güven faktörlerine daha fazla odaklanması gerektiğini göstermektedir. Bulgular, blokzincir teknolojisinin benimsenmesini artırmak isteyen kuruluşların, kullanım kolaylığı, kullanılabilirlik ve güven unsurlarına öncelik vermesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu faktörlerin yanı sıra, dijital okuryazarlık eğitimlerinin artırılması da blokzincir teknolojisinin kabul edilmesi açısından önemli bir adım olabilir. Elde edilen sonuçlar, blokzincir teknolojisi ile desteklenen finansal işlem uygulamalarına yönelik kullanıcı tutumlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesinde önemli bir rehber niteliğindedir.

5.2. Sınırlamalar ve Öneriler

Bu çalışmanın, birtakım sınırlamaları bulunmaktadır. İlk olarak, bu çalışmanın bulguları yalnızca sosyal ağ platformlarından (Instagram, Facebook, Twitter, Telegram ve WhatsApp) elde edilen verilerle sınırlıdır. Gelecekteki çalışmalar, aynı modeli farklı bölgelerdeki farklı platformlara uygulayarak tüketicilerin kullanım niyetini test edebilir. İkincisi, dış değişkenler olarak tanımlanan farklı yapılar (kişisel yenilikçilik, algılanan risk, dijital okuryazarlık ve güven), TAM ile kullanılmıştır. Bu nedenle, gelecekte benzer bir modelin kullanılması, ampirik çalışmaları zenginleştirebilir. Üçüncüsü, bu çalışmada sadece tüketicilerin blokzincir teknolojisini kullanma niyeti ölçülmüştür. Sonraki çalışmalarda, tüketicinin gerçek davranışının modele dahil edilmesi, niyet ile gerçek eylem arasında bir fark olup olmadığının test edilmesini sağlayacak ve uygulayıcılar için daha yüksek bir referans değeri elde edilmesini sağlayacaktır. Bu sınırlılıklara rağmen, bu çalışma blokzincir teknolojisinin kabulü hakkında önemli bir bilgi birikimi sağlayarak, ileride yapılacak araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır. Dördüncüsü, çalışmanın katılımcı profiline bakıldığında yaş aralığının büyük oranda genç bireylerden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, elde edilen bulguların genel popülasyona genellenebilirliğini sınırlayabilir. Özellikle, blokzincir teknolojisinin kabulü ve kullanımı, yaşla birlikte değişen dijital okuryazarlık, teknolojiye adaptasyon ve güven gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu nedenle, çalışmanın bulguları genç yaş grubunu temsil ederken, daha geniş bir yaş aralığı üzerinde yapılacak çalışmaların farklı sonuçlar doğurabileceği dikkate alınmalıdır. Son olarak, çalışmada ankete

katılanların sosyal medya mecralarına göre dağılımı ölçülmemiştir. Bu durum, katılımcıların sosyal medya kullanım alışkanlıklarının araştırma sonuçları üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesini mümkün kılmamaktadır. Sosyal medya platformlarına göre kullanıcı davranışlarının farklılık gösterip göstermediğini anlamak açısından gelecekte yapılacak çalışmalarda bu hususun dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, ileride yapılacak araştırmalarda kripto para borsaları, dijital cüzdanlar veya blokzincir tabanlı ödeme çözümleri gibi daha spesifik uygulama türleri ayrı ayrı ele alınarak kullanıcı algılarındaki farklılıkların karşılaştırmalı biçimde analiz edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Agarwal, R., & Prasad, J. (1998). A conceptual and operational definition of personal innovativeness in the domain of information technology. *Information Systems Research*, 9(2), 204–215. <https://doi.org/10.1287/isre.9.2.204>
- Albayati, H., Kim, S. K., & Rho, J. J. (2020). Accepting financial transactions using blockchain technology and cryptocurrency: A customer perspective approach. *Technology in Society*, 62, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101320>
- Ali, O., Ally, M., Clutterbuck, & Dwivedi, Y. (2020). The state of play of blockchain technology in the financial services sector: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*, 54(August 2019), 102199. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102199>
- Alkalai, Y. (2004). Digital Literacy: A conceptual framework for survival skills in the digital era. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 13(1), 93–106.
- Arias-Oliva, M., Pelegrín-Borondo, J., & Matías-Clavero, G. (2019). Variables influencing cryptocurrency use: A technology acceptance model in Spain. *Frontiers in Psychology*, 10(MAR), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00475>
- Başaran, Ü., & Aksoy, R. (2015). Algılanan fayda ve fedakârlık bileşenlerinin algılanan müşteri değeri üzerindeki etkisi. *Ege Akademik Bakış*, 15(3), 379-399.
- Bazel, M. A., Mohammed, F., Ahmad, M., Baarimah, A. O., & Al Maskari, T. (2025). Blockchain technology adoption in healthcare: An integrated model. *Scientific Reports*, 15(1), 14111.
- Bharadwaj, S., & Deka, S. (2021). Behavioural intention towards investment in cryptocurrency : An integration of Rogers ' diffusion of innovation theory and the technology acceptance model. *Forum Scientiae Oeconomia*. 9(4). <https://doi.org/10.23762/FSO>
- Chatterjee, D., & Bolar, K. (2019). Determinants of mobile wallet intentions to use: The mental cost perspective. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(10), 859–869. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1505697>
- Chen, C.-H. (2023). Extending the technology acceptance model: A new perspective on the adoption of

- blockchain technology. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4835896>
- Chen, R. R., Chen, K., & Ou, C. X. J. (2022). Facilitating interorganizational trust in strategic alliances by leveraging blockchain-based systems: Case studies of two eastern banks. *International Journal of Information Management*, January 2021, 102521. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102521>
- Chin, W. W., & Newsted, P. R. (1999). Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares. *Statistical strategies for small sample research*, 1(1), 307-341.
- Choi, E., Choi, Y., & Park, N. (2022). Blockchain-Centered educational program embodies and advances 2030 sustainable development goals. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14073761>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/249008>
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982–1003. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>
- Diamantopoulos, A., & Siguaw, J. A. (2006). Formative versus reflective indicators in organizational measure development: A comparison and empirical illustration. *British Journal of Management*, 17(4), 263-282.
- Elhajjar, S., & Ouaida, F. (2020). An analysis of factors affecting mobile banking adoption. *International Journal of Bank Marketing*, 38(2), 352–367. <https://doi.org/10.1108/IJBM-02-2019-0055>
- Farivar, S., Turel, O., & Yuan, Y. (2018). Skewing users' rational risk considerations in social commerce: An empirical examination of the role of social identification. *Information and Management*, 55(8), 1038–1048. <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.05.008>
- Folkinshteyn, D., & Lennon, M. (2016). Braving bitcoin: A Technology Acceptance Model (TAM) analysis. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, 18(4), 220–249. <https://doi.org/10.1080/15228053.2016.1275242>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Frizzo-Barker, J., Chow-White, P. A., Adams, P. R., Mentanko, J., Ha, D., & Green, S. (2020).

- Blockchain as a disruptive technology for business: A systematic review. *International Journal of Information Management*, 51, 102029. doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.10.014
- Gangwar, H., Hema, D., & Ramaswamy, R. (2015). Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM-TOE model. *Journal of Enterprise Information Management*, 28(1), 107–130.
- Gao, S., & Li, Y. (2021). An empirical study on the adoption of blockchain-based games from users' perspectives. *The Electronic Library*, 39(4), 596–614. https://doi.org/10.1108/EL-01-2021-0009
- Gefen, D., Karahanna, E., & Straub, W. D. (2003). Trust and TAM in online shopping: An integrated model. *MIS Quarterly*, 27(1), 51–90. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/30036519
- Gold, A. H., Malhotra, A., & Segars, A. H. (2001). Knowledge management: An organizational capabilities perspective. *Journal of management information systems*, 18(1), 185-214.
- Hagood, M. C., & Skinner, E. N. (2015). Moving beyond data transcription. *Literacy Research: Theory, Method, and Practice*, 64(1), 429–442. https://doi.org/10.1177/2381336915617600
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis* (Seventh Ed). Prentice Hall.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, 31(1), 2-24.
- Hannoun, F., Carrino, F., Abou Khaled, O., Mugellini, E., & Caon, M. (2021). A study on the acceptance towards blockchain-based access to biobanks' services using UTAUT2 with itm and perceived risk. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 220(June), 271–279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74605-6_34
- Hawlichschek, F., Teubner, T., & Weinhardt, C. (2016). Trust in the sharing economy. *Die Unternehmung*, 70(1), 26–44. https://doi.org/10.5771/0042-059x-2016-1-26
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of The Academy of Marketing Science*, 43(1), 115-135. 10.1007/s11747-014-0403-8
- Henseler, J., Hubona, G., & Ray, P. A. (2016). Using PLS path modeling in new technology research: Updated guidelines. *Industrial Management and Data Systems*, 116(1), 2–20. https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2015-0382
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Hu, P. J., Chau, P. Y. K., Liu Sheng, O. R., & Tam, K. Y. (1999). Examining the technology acceptance

- model using physician acceptance of telemedicine technology. *Journal of Management Information Systems*, 16(2), 91–112. <https://doi.org/10.1080/07421222.1999.11518247>
- İlgaz, S., & Özdemir, E. (2024). Bireylerin kripto para kullanmaya yönelik niyetlerinin teknoloji kabul modeli ile incelenmesi ve çoklu grup analizi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (102), 79-108.
- Jain, G., Kamble, S. S., Ndubisi, N. O., Shrivastava, A., Belhadi, A., & Venkatesh, M. (2022). Antecedents of Blockchain-Enabled E-commerce Platforms (BEEP) adoption by customers – A study of second-hand small and medium apparel retailers. *Journal of Business Research*, 149(June), 576–588. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.041>
- Janssen, M., Weerakkody, V., Ismagilova, E., Sivarajah, U., & Irani, Z. (2020). A framework for analysing blockchain technology adoption: Integrating institutional, market and technical factors. *International Journal of Information Management*, 50(April 2019), 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.012>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., Belhadi, A., & Foropon, C. (2021). A machine learning based approach for predicting blockchain adoption in supply Chain. *Technological Forecasting and Social Change*, 163(September 2020), 120465. doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120465
- Kavut, S. (2021). Digital identities in the context of blockchain and artificial intelligence. *Journal Of Selçuk Communication*. 14(2), 529–548.
- Khati, P., Shrestha, A. K., & Vassileva, J. (2024). Exploring user acceptance of blockchain-based student certificate sharing system: A study on Non-Fungible Token (NFT) Utilization. In *International Congress on Blockchain and Applications* (pp. 90-99).
- Kim, J. J., Radic, A., Chua, B. L., Koo, B., & Han, H. (2022). Digital currency and payment innovation in the hospitality and tourism industry. *International Journal of Hospitality Management*, 107, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103314>
- Knauer, F., & Mann, A. (2020). What is in It for Me? Identifying drivers of blockchain acceptance among german consumers. *The Journal of the British Blockchain Association*, 3(1), 1–16. [https://doi.org/10.31585/jbba-3-1-\(1\)2020](https://doi.org/10.31585/jbba-3-1-(1)2020)
- Kumar, N., Upreti, K., & Mohan, D. (2022). Blockchain Adoption for provenance and traceability in the retail food supply chain: a consumer perspective. *International Journal of e-Business Research*, 18(2), 1–17. <https://doi.org/10.4018/IJEER.294110>
- Lee, M. C. (2009). Factors influencing the adoption of internet banking: An integration of TAM and TPB with perceived risk and perceived benefit. *Electronic Commerce Research and Applications*, 8(3), 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2008.11.006>
- Legesse, A., Beshah, B., Berhan, E., & Tesfaye, E. (2024). Exploring the influencing factors of

- blockchain technology adoption in national quality infrastructure: a Dual-Stage structural equation model and artificial neural network approach using TAM-TOE framework. *Cogent Engineering*, 11(1), 2369220.
- Li, W., Song, R., & Yu, K. (2025). Consumer adoption of food blockchain traceability: Insights from integrating TAM and TR models. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1515188.
- Lian, J. W., Chen, C. T., Shen, L. F., & Chen, H. M. (2020). Understanding user acceptance of blockchain-based smart locker. *Electronic Library*, 38(2), 353–366. <https://doi.org/10.1108/EL-06-2019-0150>
- Liang, P. H., & Chi, Y. P. (2021). Influence of perceived risk of blockchain art trading on user attitude and behavioral intention. *Sustainability (Switzerland)*, 13(23). doi.org/10.3390/su132313470
- Liu, N., & Ye, Z. (2021). Empirical research on the blockchain adoption–based on TAM. *Applied Economics*, 53(37), 4263–4275. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1898535>
- Ltifi, M., & Mesfar, S. (2022). Journal of air transport management does the corporate social responsibility of the service based on Blockchain technology affect the real behaviour of the consumer? *Journal of Air Transport Management*, 104, 102256. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102256>
- McCloskey, D. W. (2007). The importance of ease of use, usefulness, and trust to online consumers: An examination of the technology acceptance model with older consumers. *End User Computing Challenges and Technologies: Emerging Tools and Applications*, 65, 259–276. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-295-4.ch015>
- Mendoza-Tello, J. C., Mora, H., Pujol-López, F. A., & Lytras, M. D. (2018). Social commerce as a driver to enhance trust and intention to use cryptocurrencies for electronic payments. *IEEE Access*, 6, 50737–50751. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2869359>
- Mendoza-Tello, J. C., Mora, H., Pujol-López, F. A., & Lytras, M. D. (2019). Disruptive innovation of cryptocurrencies in consumer acceptance and trust. *Information Systems and e-Business Management*, 17(2–4), 195–222. <https://doi.org/10.1007/s10257-019-00415-w>
- Nazzal, A., Thoyib, A., Zain, D., & Hussein, A. S. (2021). The influence of digital literacy and demographic characteristics on online shopping intention: an empirical study in palestine. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(8), 206. doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no8.0205
- Ng, W. (2012). Can we teach digital natives digital literacy? *Computers and Education*, 59(3), 1065–1078. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.04.016>
- Norbu, T., Park, J. Y., Wong, K. W., & Cui, H. (2024). Factors affecting trust and acceptance for blockchain adoption in digital payment systems: a systematic review. *Future Internet*, 16(3), 1–

21. <https://doi.org/10.3390/fi16030106>
- Nuryyev, G., Wang, Y. P., Achyldurdyeva, J., Jaw, B. S., Yeh, Y. S., Lin, H. T., & Wu, L. F. (2020). Blockchain technology adoption behavior and sustainability of the business in tourism and hospitality SMEs: An empirical study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12031256>
- Öngel, V., Sefa Yavuz, M., & Sadık Tatlı, H. (2022). Factors affecting digital literacy of human resources. *Upravlenets*, 13(1), 68–83. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2022-13-1-5>
- Patil, P., Tamilmani, K., Rana, N. P., & Raghavan, V. (2020). Understanding consumer adoption of mobile payment in India: Extending Meta-UTAUT model with personal innovativeness, anxiety, trust, and grievance redressal. *International Journal of Information Management*, 54, 102144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102144>
- Rafi, M., JianMing, Z., & Ahmad, K. (2019). Technology integration for students' information and digital literacy education in academic libraries. *Information Discovery and Delivery*, 47(4), 203–217. <https://doi.org/10.1108/IDD-07-2019-0049>
- Raj, P. V. R. P., Jauhar, S. K., Ramkumar, M., & Pratap, S. (2022). Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. *Computers and Industrial Engineering*, 167, 108038. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108038>
- Reichheld, F. F., & Schefter, P. (2000). E-Loyalty: Your secret weapon on the web. *Harvard Business Review*, 78(4), 105–113.
- Salcedo, E., & Gupta, M. (2021). The effects of individual-level espoused national cultural values on the willingness to use Bitcoin-like blockchain currencies. *International Journal of Information Management*, 60(July), 102388. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102388>
- Saputra, U. W. E., & Darma, G. S. (2022). The Intention to use Blockchain in Indonesia using extended approach Technology Acceptance Model (TAM). *CommIT Journal*, 16(1), 27–35. doi.org/10.21512/commit.v16i1.7609
- Schmidhuber, L., Maresch, D., & Ginner, M. (2020). Disruptive technologies and abundance in the service sector - toward a refined technology acceptance model. *Technological Forecasting and Social Change*, 155(June 2017), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.017>
- Schuetz, S., & Venkatesh, V. (2020). Blockchain, adoption, and financial inclusion in India: Research opportunities. *International Journal of Information Management*, 52(February 2019), 101936. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.009>
- Sciarelli, M., Prisco, A., Gheith, M. H., & Muto, V. (2021). Factors affecting the adoption of blockchain technology in innovative Italian companies: an extended TAM approach. *Journal of Strategy and*

Management. <https://doi.org/10.1108/JSMA-02-2021-0054>

- Shanmugavel, N., & Micheal, M. (2022). Exploring the marketing related stimuli and personal innovativeness on the purchase intention of electric vehicles through Technology Acceptance Model. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100029. doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100029
- Sharif, S. P., & Naghavi, N. (2021). Online financial trading among young adults: Integrating the theory of planned behavior, technology acceptance model, and theory of flow. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(10), 949–962. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1861761>
- Shin, D. D. H. (2019). Blockchain: The emerging technology of digital trust. *Telematics and Informatics*, 45(August). <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101278>
- Sung, M. D., Park, S. J., Jung, S., Lee, E., Lee, J., & Park, Y. R. (2020). Developing a mobile app for monitoring medical record changes using blockchain: Development and usability study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(8), 1–10. <https://doi.org/10.2196/19657>
- Taheri-tolu, M., Yazdanian, N., Hemmati, H., & Kordlouoie, H. (2022). Accepting financial transactions using blockchain technology and cryptocurrency based on the TAM model: A case study of Iranian users. *Iranian Journal of Accounting, Auditing and Finance*. doi.org/10.22067/IJAAF.2022.41763
- Toraman, Y., Merdivenci, F., & Tekin, M. (2023). Use of blockchain technology in last mile delivery. *Cumhuriyet University Journal of Economics & Administrative Sciences/Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1).
- Toraman, Y. (2021). Blokzincir teknolojisinin benimsenmesinin teknoloji kabul modeli çerçevesinde incelenmesi: Kripto (dijital) paralar üzerine bir araştırma. *Journal of social, humanities and administrative sciences*, 7(45), 1841-1856.
- Toraman, Y. (2022). Dijital Türk Lirasının (DTL) kullanım kabulü: teknoloji kabul modeli (TKM) ve planlı davranış teorisi (PDT) Çerçevesinde İncelenmesi. *Sosyoekonomi*, 30(54), 357-376.
- Ullah, N., Al-Rahmi, W. M., Alfarraj, O., Alalwan, N., Alzahrani, A. I., Ramayah, T., & Kumar, V. (2022). Hybridizing cost saving with trust for blockchain technology adoption by financial institutions. *Telematics and Informatics Reports*, 6, 100008. doi.org/10.1016/j.teler.2022.100008
- Venkatesh, V. (2015). Technology acceptance model and the unified theory of acceptance and use of technology. In C. L. Cooper (Ed.), *Wiley Encyclopedia of Management* (Vol. 12). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom070047>
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186-204.
- Venkatesh, V., & Morris, M. G. (2000). Why don't men stop asking for directions? Gender , Social

Influence and their role in society. *MIS Quarterly*, 24(1), 115–139.

Yenilmez, B. (2024). Türkiye’deki Kobi’lerin blockchain teknolojisine adaptasyonu ile ilgili görüşleri. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(2), 993-1007.

Zhong, Y., Oh, S., & Moon, H. C. (2021). Service transformation under industry 4.0: Investigating acceptance of facial recognition payment through an extended technology acceptance model. *Technology in Society*, 64(September 2020), 101515. doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101515

Ek 1. Değişkenler ve Ölçek İfadeleri

Değişken	Ölçek İfadeleri
Kişisel Yenilikçilik (KY)	KY1 Yeni bir bilgi teknolojisi hakkında bir şeyler duyarsam, onu denemenin yollarını ararım
	KY2 Meslektaşlarım arasında genellikle yeni bilgi teknolojilerini ilk deneyen benim
	KY3 Genel olarak yeni bilgi teknolojilerini denemekte tereddüt ediyorum (TERS İFADE)
	KY4 Yeni bilgi teknolojilerini denemeyi severim
Algılanan Risk (AR)	AR1 Bu sistemi (uygulamayı) kullanmak risklidir
	AR2 Bu sistemin (uygulamanın) kullanımıyla ilgili çok fazla belirsizlik var
	AR3 Diğer yatırım araçlarıyla karşılaştırıldığında, bu sistem (uygulama) daha risklidir
Dijital Okuryazarlık (DO)	DO1 İnternette kişisel verilerimi korumak için kullanılabilecek yöntemleri biliyorum (Antivirüs programları, 3D Secure, iki faktörlü kimlik doğrulama vb.)
	DO2 Dijital platformlardan edindiğim bilgilerle yeni içerik, sunum, rapor veya video hazırlayabilirim.
	DO3 İhtiyaçlarıma göre iletişim kurmak için en uygun dijital platformu seçip kullanabilirim (WhatsApp, Discord, Telegram, Skype, Teams, Zoom vb.)
	DO4 Kendi blogumu veya web sitemi oluşturacak teknik bilgiye sahibim
	DO5 Genellikle çevrimiçi veritabanlarına (akademik veritabanları veya genel veritabanları) nasıl erişeceğimi biliyorum.
	DO6 Dijital bir platformdan aldığım bilgilerin güvenilir olup olmadığına karar verebilirim.
	DO7 Kullanmadan önce bilgi kaynaklarının güvenilirliğine dikkat ederim.
	DO8 Dijital platformlarda bilgi ararken anahtar kelime tanımlayabilir ve kullanabilirim.
	DO9 Dijital platformlarda doğru bilgiyi yanıltıcı bilgi veya yorumlardan ayırt edebilirim.
	DO10 Para transferi, fatura ödeme gibi finansal işlemlerimde dijital platformları kullanabilirim.
	DO11 Dijital platformlar (Hotmail, Gmail, Yahoo, Outlook vb.) üzerinden dosya/mail alıp gönderebilirim.
	DO12 Bir şey almak veya satmak için dijital platformları kullanabilirim.
Güven (G)	G1 Bu uygulamalar güvenilirdir.
	G2 Hizmet sağlayıcılar (hem kripto para birimi hem de blokzincir), vaatlerini ve taahhütlerini tuttukları izlenimini veriyor.
	G3 Hizmet sağlayıcıların (hem kripto para birimi hem de blokzincir) benim en iyi çıkarlarımı göz önünde bulundurduğuna inanıyorum.
Algılanan Kullanım Kolaylığı	AKK1 Sistemi (uygulamayı) çalıştırmayı öğrenmek benim için kolaydır.
	AKK2 Sistemin (uygulamanın) yapmak istediklerimi gerçekleştirmesini sağlamanın kolay olacağına inanıyorum.
	AKK3 Bu sistemi (uygulama) kullanmakta ustalaşmak benim için kolaydır.
	AKK4 Sistemin (uygulamanın) kullanımının kolay olduğuna inanıyorum
Algılanan Kullanışlılık (AK)	AK1 Bu sistemi (uygulamayı) kullanmak işlem kalitemi artıracaktır.
	AK2 Bu sistemi (uygulama) kullanmak verimliliğimi arttırdı.
	AK3 Bu sistemin (uygulamanın) kullanılması işlem etkinliğini artıracaktır.
	AK4 Bu sistemi (uygulama) kullanmak işlem ücretini düşürür.
	AK5 Bu sistemin (uygulamanın) kullanılması işlem süresini kısaltacaktır.
	AK6 Bu sistemin (uygulamanın) finansal işlemleri yürütmek için faydalı olduğuna inanıyorum.
Tutum (T)	T1 Bu sistemi (uygulama) kullanmakla ilgileniyorum.
	T2 Çekiciliği nedeniyle bu sistemi (uygulamayı) kullanma ihtimalim var.
	T3 Bu sistemle (uygulama) genel olarak finansal işlemlerin daha iyi olacağını hissediyorum.
Davranışsal Niyet (DN)	DN1 Bu sistemi (uygulamaya) kullanmayı düşünüyorum.
	DN2 Bu sistemi (uygulamaya) erişimim olsa kullanırdım.
	DN3 Bu sistemi (uygulamayı) gelecekte kullanmayı planlıyorum.

EXTENDED ABSTRACT**CONSUMER ACCEPTANCE OF BLOCKCHAIN-BASED FINANCIAL TRANSACTION
APPLICATIONS: AN EMPIRICAL INVESTIGATION USING AN EXTENDED
TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL**

Blockchain technology has become increasingly widespread in recent years with the aim of enhancing the security, transparency, and efficiency of financial transactions. This technology enables secure transactions without requiring a central authority and is presented to users through various applications such as cryptocurrency exchanges, digital wallets, and payment systems. However, the relatively limited adoption of this technology by consumers has become an important research topic for both academics and practitioners. The primary purpose of this study is to identify the factors influencing consumer acceptance of blockchain-enabled financial transaction applications. The proposed research model is grounded in the Technology Acceptance Model (TAM), with four external variables added to the model: personal innovativeness, perceived risk, digital literacy, and trust. The study employs an extended version of the TAM developed by Davis (1989). TAM posits that perceived usefulness and perceived ease of use are fundamental determinants of technology acceptance. The research model includes these two core constructs, along with attitude and behavioral intention. The hypothesized relationships among these variables help explain how users evaluate and adopt new technologies.

The external variables are defined as follows: personal innovativeness refers to individuals' willingness to experiment with new technologies and their proactive approach; digital literacy represents users' competence in accessing, evaluating, and using digital information. Perceived risk denotes attitudes related to uncertainty, financial threats, and privacy concerns associated with technology use, while trust reflects users' confidence in service providers and the perceived security and reliability of blockchain-based applications. A total of ten hypotheses were developed and tested. The research adopts a quantitative approach and collects data through an online survey. Participants were selected using a convenience sampling method through social media platforms (Instagram, Facebook, Twitter, Telegram, and WhatsApp). The survey consists of two sections: the first includes demographic questions, and the second comprises 38 items measured on a five-point Likert scale. Data obtained from 263 participants were analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The majority of participants were young adults, with 56.3% female and 88.2% holding a bachelor's degree or higher.

The findings indicate that seven out of ten hypotheses were supported. Attitude was found to have the strongest effect on behavioral intention ($\beta = 0.845$; $p < 0.000$). Perceived usefulness emerged as a key determinant of attitude ($\beta = 0.519$), while perceived ease of use strongly influenced perceived usefulness ($\beta = 0.638$). These results support the core propositions of TAM and indicate that users prioritize functional benefits when evaluating blockchain applications. Among the external variables, trust ($\beta =$

0.510) and digital literacy ($\beta = 0.267$) positively influenced perceived ease of use. Personal innovativeness also had a significant effect on attitude ($\beta = 0.235$). However, personal innovativeness did not significantly influence perceived usefulness (H6 was not supported), and perceived risk also had no significant effect (H7 was not supported). Additionally, perceived ease of use was not found to exert a significant direct effect on attitude (H2 was not supported).

The results suggest that young, digitally skilled participants view ease of use as a standard expectation when evaluating blockchain-based financial applications. Instead, consumers place greater emphasis on functional value, security, and trust in service providers. This indicates that the technology expectations of digital-native users are evolving. Digital literacy plays a critical role in the adoption of blockchain technology. Users with strong digital skills exhibit faster adaptation and are better able to overcome technological challenges. Trust, given the decentralized nature of blockchain, also plays a decisive role in consumer behavior. Users may refuse to adopt blockchain-based applications if they lack confidence in the technology.

The study contributes to theory by demonstrating the applicability of TAM in explaining the acceptance of blockchain technologies and by integrating additional variables relevant to blockchain adoption. Practically, the findings highlight that developers and companies should strengthen trust mechanisms, enhance perceived value, and support digital literacy initiatives to promote consumer acceptance. According to the results, trust, perceived usefulness, and digital skills play a more critical role in the acceptance process than ease of use.

The primary limitation of the study is its focus on young age groups. The use of social media platforms for data collection may also limit the generalizability of the findings. Future studies could examine broader age groups, different geographic regions, and diverse socioeconomic populations. Additionally, incorporating actual usage behavior rather than behavioral intention, and separately analyzing distinct blockchain applications such as cryptocurrency exchanges and digital wallets, would provide deeper insights.

**IMPACT OF ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRY 4.0 ERA:
EUROPEAN UNION COUNTRIES AND TURKEY**

Doğa FEHİM^a ve Ersin ÇAĞLAR^b

Article Information

Article Type:
Research Article

Submission Date:
15/11/2025

Acceptance Date:
09/12/2025

Keywords: Industry
4.0, Information and
Communication
Technologies, GDP
Per Capita, Foreign
Direct Investment,
Energy Efficiency

Abstract

Industry 4.0, or in other words, the Digital Revolution, is the name given to the fourth industrial revolution. The concept, which combines digital and physical technologies, can support productivity, flexibility and efficiency. So, this study analyses the impact of energy in Industry 4.0. In the study, quantitative variables were used for panel data analysis. This study aims to investigate the effects of energy efficiency between 2011 and 2022 in Turkey and European Union Countries. The results of the analysis show that technology innovation has an impact on energy efficiency, but on the other hand, Gross Domestic Product (GDP) per capita doesn't have any effect.

^a European University of Lefke, Lefke/KKTC, dogasytmz@gmail.com – ORCID: 0009-0008-9676-7332

^b Asst. Prof. Dr., European University of Lefke, Lefke/KKTC, ecaglar@eul.edu.tr – ORCID: 0000-0002-2175-5141 (Corresponding Author)

ENDÜSTRİ 4.0 DÖNEMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ETKİSİ: AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE

Makale Bilgisi

Makale Türü
Araştırma Makalesi

Gönderim Tarihi:
15/11/2025

Kabul Tarihi:
09/12/2025

Anahtar Kelimeler:
Endüstri 4.0, Bilgi
ve İletişim
Teknolojileri, Kişi
Başına GSYİH,
Doğrudan Yabancı
Yatırım, Enerji
Verimliliği.

Özet

Endüstri 4.0 veya diğer adıyla Dijital Devrim, dördüncü sanayi devrimine verilen addır. Dijital ve fiziksel teknolojileri bir araya getiren bu kavram, üretkenliği, esnekliği ve verimliliği destekleyebilir. Bu nedenle, bu çalışma Endüstri 4.0'da enerjinin etkisini analiz etmektedir. Çalışmada, panel veri analizi için nicel değişkenler kullanılmıştır. Bu çalışma, Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerinde 2011-2022 yılları arasında enerji verimliliğinin etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Analiz sonuçları, teknoloji inovasyonunun enerji verimliliği üzerinde bir etkisi olduğunu, ancak kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) herhangi bir etkisi olmadığını göstermektedir.

1. INTRODUCTION

Industrial revolutions have significantly impacted production processes since their inception and will continue to do so. The First Industrial Revolution, which began with the usage of steam and water power, was replaced by the Second Industrial Revolution with the usage of electricity for mass production. With the adoption of automation and digital technologies, the Third Industrial Revolution emerged. So today, Industry 4.0 is a representation of a transformation by physical and digital technologies into production (Yang & Gau, 2021; Klingenberg et al., 2022).

In general, Industry 4.0 contributes to environmental sustainability. Environmental contributions include technologies such as digital twins and big data that make the supply chain process more transparent and responsive. Therefore allows for the preservation of economic competitiveness while also becoming more ecologically efficient. (Bai et al., 2020).

Thus, Industry 4.0 is compatible with global sustainability goals (Hidayatno et al., 2019). Because the integration of renewable energy and smart technologies has enabled production systems to achieve both operational efficiency and environmental responsibility (Fawna, 2023). Consequently, the widespread use of smart systems has increased flexibility and reduced energy waste.

As a result, Industry 4.0 aims to ensure both economic and environmental sustainability through digitalised production systems. However, the adoption of these technologies brings with it certain challenges, such as high implementation costs, a lack of knowledge, and system integration difficulties. Despite these challenges, the long-term benefits of Industry 4.0 are of strategic importance in shaping the future of the industry.

The Goal of this study is to examine the economic and technological factors affecting energy efficiency in the Industry 4.0 era. Study examines the relationship between energy efficiency and GDP, ICT, foreign investment, and technological innovation in Turkey and the European Union between 2011 and 2022. The study used panel data methods to evaluate the long-term relationships and impacts of the variables. Furthermore, the dynamic link between energy efficiency and the technological innovation indicator (TECH), derived from brand and patent data, was investigated. The results of analysis shows that technological innovation and ICT increase energy efficiency, while GDP has no significant impact. In this respect, the study contributes to the sustainability literature by highlighting the role of digital transformation on energy efficiency.

The layout of the rest of the paper is as follows: Section II presents the literature review. Section III describes the method applied in the study. Findings, results and discussions located in the section IV and V. Finally, conclusions and future works explanations are in section V and VI.

2. LITERATURE REVIEW

Industrial operations and sustainability became global with the birth of Industry 4.0. With this global effect, Industry 4.0 has become a huge research pool for researchers, especially in the field of energy efficiency and sustainability models (Cezanne et al., 2020). Besides this huge research pool, with the integration of technology, Industry 4.0 improved productivity, reduced waste, and customised production

As mentioned above, Industry 4.0 creates a huge research pool for researchers. Teng et. al. (2021) propose smart energy savings with digital twin-based infrastructures. Because sensor-related systems present difficult challenges, it affects collaboration among stakeholders. Similarly, Hidayatno et. al. (2019) also state that the adoption effects of renewable energy integration in developing countries with Industry 4.0. The proposed model builds on economic and environmental indicators. This model emphasises the role of technological investment in clean energy and emissions. The findings of researchers highlighted the crucial role of advanced technology in industrial transformation.

Another many studies apply quantitative models to assess environmental impacts on energy efficiency. Researchers (Song and Wang, 2018) implemented a mathematical approach to assess Environmental-Biased Productivity (EBP). This approach has been increase technological efficiency cost strategically and also increasing emission reductions. Another research group (Bai et. al., 2020) developed Triple Bottom Line (TBL) framework for the comparison of various Industry 4.0 technologies. The results of research proofs that blockchain and mobile technologies offer high economic and social sustainability potential. On the other hand, another popular technologies like cloud computing, artificial intelligence, and big data analytics contribute significantly to environmental goals.

Morevore these studies, Chen and researchers (2021) focus on the MENA region, how innovation and structural economic development drive energy efficiency, though negatively affected by the shadow

economy. Similar study done by Miśkiewicz and researchers (2021). Researchers explore how teal organizations promote energy efficiency through technological innovation and inclusive corporate culture. Also, Adedoyin et. al.(2020) investigate how ICT and foreign direct investment (FDI) contribute to economic growth. The results of study underscores the need for sustainable aviation and energy policy reforms in light of increasing environmental awareness.

Finally, the European Green Deal and the global energy crisis have accelerated Industry 4.0 adoption. So, Turkey has committed to the Paris Agreement and launched its Green Deal Action Plan to align with EU sustainability directives (Arana-Landín et al., 2023; Şahin et al., 2021). The transition towards a digital, low-emission economy demands a coordinated effort across nations to minimize carbon leakage and promote circular economic practices.

3. METHODOLOGY

This study, examined the impact of energy efficiency during the industry 4.0 era among European Union member states and Turkey between 2011 and 2022. To collect data Eurostat and the World Bank were used. The variables used in the research are presented in table 1. In Table 1, “*i*” denotes the country and “*t*” the time period.

Table 1. Variables of the Study

Variables	Explanations	Sources
EE_{it}	Energy Efficiency (Annual)	Eurostat
GDP_{it}	Annual GDP per capita (constant LCU)	The World Bank
FDI_{it}	Foreign Direct Investment (Annual % of GDP)	The World Bank
ICT_{it}	ICT service exports (BoP, current US\$)	The World Bank
TR_NR_{it}	Trademark Applications (Non-resident)	The World Bank
TR_R_{it}	Trademark Applications (Resident)	The World Bank
P_NR_{it}	Patent Applications (Non resident)	The World Bank
P_R_{it}	Patent Applications (Resident)	The World Bank

Econometric model of this study contains EE, GDP, FDI, ICT, and technological innovation (TECH) variables. The TECH variable was developed using PCA (principal component analysis), which combines trademark and patent application data from resident and non-resident applicants (Jaadi, 2024). PCA is a data reduction and machine learning technique that reduces the number of variables in a dataset while preserving major trends and patterns. A correlation analysis was conducted to explore the relationships between variables. The analysis determines the direction (positive or negative) and strength of the relationships, categorized into weak, moderate, strong, and very strong correlation levels (Kaya, 2013; Prestes et. al., 2021).

$$EE_{it} = GDP_{it} + FDI_{it} + ICT_{it} + TECH_{it} \quad (1)$$

Few analysis used in this study such as Stationary, Augmented Dickey-Fuller (ADF) and etc. Stationarity, tests were performed to assess whether the data series were stationary or not. (Tate, 2024; Iordanova, 2009). ADF test was applied to detect the presence of unit roots (Prabhakaran, 2019). After the finding of unit roots, series were transformed into stationary form using differencing or logarithmic transformation to stabilize variance and mean (Hyndman & Athanasopoulos, 2013). Following this, a cointegration test was conducted to assess whether there existed a long-term relationship among the variables (Tu et al., 2019).

The study adopted the Generalized Method of Moments (GMM) for parameter estimation (Genaro et. al., 2022). GMM is a flexible econometric technique designed to estimate model parameters under theoretical constraints, and it is particularly effective for addressing endogeneity, heteroskedasticity, and autocorrelation (Rodrigues, 2024; Allison et al., 2019; Zsohar, 2012). The J-statistic test was employed to evaluate the validity of instruments used in GMM, ensuring that they are uncorrelated with error terms (Dumitrescu et. al., 2013). So, this section declared detail explanation about source of data, variables and approaches. Findings section shows and explains the results of analysis.

4. FINDINGS

This section contains empirical results about European Union countries and Turkey between 2011–2022. Analysis focus on the relationships between variables (energy efficiency, economic indicators, and technological innovation).

Descriptive analysis contains correlations among the variables which is shown in Table 2. Energy efficiency (EE) is positively correlated with all technological variables, including information and communication technologies (ICT), patent applications, and trademark applications, with strong correlations ranging from 0.7 to 0.89. In contrast, EE demonstrates negative correlations with FDI and GDP per capita. Following the construction of the “TECH” variable through principal component analysis (PCA), incorporating both resident and non-resident patent and trademark applications, the analysis proceeds using this composite measure.

Table 2. Correlation

	EE	FDI	GDP	ICT	P_NR	P_R	TR_NR	TR_R
EE	1.000	-0.121	-0.116	0.800	0.751	0.884	0.764	0.849
FDI	-0.121	1.000	0.098	-0.105	-0.045	-0.072	-0.132	-0.101
GDP	-0.116	0.098	1.000	-0.080	-0.069	-0.097	-0.123	-0.133
ICT	0.800	-0.105	-0.080	1.000	0.737	0.781	0.427	0.584
P_NR	0.751	-0.045	-0.069	0.737	1.000	0.957	0.477	0.500
P_R	0.884	-0.072	-0.097	0.781	0.957	1.000	0.604	0.660
TR_NR	0.764	-0.132	-0.123	0.427	0.477	0.604	1.000	0.885
TR_R	0.849	-0.101	-0.133	0.584	0.500	0.660	0.885	1.000

Stationarity of the data is evaluated using the ADF test. Table 3 shows that at their levels, only FDI and TECH are stationary, while the other variables are non-stationary.

Table 3. ADF Test – Unit Root Test (Level)

Variables	Unit Root Test (Level)
EEit	0.6500
GDPit	1.0000
FDIit	0.0209
ICTit	0.9997
TECHit	0.0474

After first differencing, all variables become stationary as indicated in Table 4, with p-values below the 0.05 significance threshold. For subsequent analysis, the first differences of EE, GDP, and ICT are used, while FDI and TECH are employed in their original forms.

Table 4. ADF Test – Unit Root Test (1st Difference)

Variables	Unit Root Test (1 st Difference)
DEEit	0.0001
DGDPit	0.0000
FDIit	0.0209
DICTit	0.0001
TECHit	0.0474

Descriptive statistics provided in Table 5 reveal that all variables are leptokurtic with positive skewness, and Jarque-Bera test results confirm non-normal distributions for all series.

Table 5. Descriptive Statistics

	DEE	DGDP	DICT	FDI	TECH
Mean	0.117700	6382.648	4.57E+08	6.700432	0.013132
Median	0.030000	515.8358	2.23E+08	2.726919	-0.0684601
Maximum	13.49000	303515.0	6.76E+09	280.1455	6.959094
Minimum	-15.84000	-182438.3	-3.42E+09	-103.1567	-1.145211
Std. Dev.	3.045379	36664.83	1.08E+09	27.69194	1.781978
Skewness	-0.973472	4.266139	1.909566	6.463654	2.554343
Kurtosis	13.91915	35.31077	13.16410	60.18984	8.891686
Jarque-Bera	1091.789	9911.475	1046.316	30510.42	539.6944
Probability	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Sum	25.07000	1359504	9.74E+10	1427.192	2.797024
Sum Sq. Dev.	1966.159	2.85E+11	2.48E+20	162570.9	673.1946
Obs.	213	213	213	213	213

The Pedroni residual cointegration test is applied to determine long-run relationships among variables, with results displayed in Table 6. The null hypothesis of no cointegration is tested across seven different statistics. Six of the statistics report p-values below 0.05, suggesting evidence of long-run relationships, while five indicate otherwise. Given these mixed results, the majority-based interpretation is that there exists a long-term equilibrium relationship among the examined variables.

Table 6. Cointegration Tests

Common AR coeffs. (within dimension)				
	Stat.	Prob.	Weighted Statistic	Prob.
v-Stat.	-2.789683	0.9974	-2.832076	0.9977
rho-Stat.	2.947323	0.9984	3.142481	0.9992
PP-Stat.	-12.93671	0.0000	-5.870474	0.0000
ADF-Stat.	-8.531326	0.0000	-4.780768	0.0000

Individual AR coeffs. (between dimension)		
	Stat.	Prob.
rho-Stat.	5.135016	1.0000
PP- Stat.	-8.470501	0.0000
ADF- Stat.	-5.074599	0.0000

The estimation stage employs the GMM to analyze the dynamic panel data model, with results summarized in Table 7. The dependent variable is the first difference of energy efficiency (DEE), and instruments include the second lag of DEE, first lag of DGDP, first lag of FDI, and first lag of TECH. The coefficient estimates indicate that ICT has a strong and statistically significant positive effect on DEE, while FDI and TECH have significant negative effects. GDP per capita change (DGDP) is not statistically significant in explaining DEE. The GMM output further shows a J-statistic value of 16.58 with a p-value of 0.48, implying that the overidentifying restrictions are valid and that the chosen instruments are appropriate. Overall, the findings highlight the strong link between energy efficiency and technological indicators, the importance of ICT in enhancing energy efficiency, and the potential negative influence of FDI and certain technological innovation measures when aggregated as the TECH variable.

Table 7. GMM Output

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DEE(-1)	-0.467823	0.003398	-137.6850	0.0000
DGDP	1.96E-06	4.50E-06	0.435353	0.6677
DICT	8.07E-10	9.37E-12	86.09090	0.0000
FDI	-0.019742	0.005352	-3.688658	0.0014
TECH	-1.134591	0.030230	-37.53253	0.0000

Effects Specification	
Cross section fixed (first differences)	
Mean dependent var	0.110305
S.E. of regression	4.243190
J statistic	16.57792
Prob(J-statistic)	0.483297
S.D. dependent var	3.637270
Sum squared resid	2862.741
Instrument rank	22

5. RESULTS AND DISCUSSION

The energy efficiency data is from Eurostat, and the GDP per capita, foreign direct investment, information communications technologies, and technological innovation data are from the World Bank.

To conduct the analysis, first, the variables that are not stationary, that has unit root, made stationary by taking their first differences. Then, the cointegration test was conducted to determine whether the series has a long-term correlation.

The cointegration test results shows that six test statistics have p-values less than 0.05 and five test statistics have p-values more than 0.05 critical value. With mixed results one should look at all results and decide on the verdict of the majority. This means since the p values is less than 0.05 critical level, we reject the null hypothesis and there is a cointegration. Which also means that there is a long-term relationship between the variables.³⁶ Having confirmed the existence of this long-term equilibrium, the next step is to proceed with an appropriate estimation technique that accounts for this relationship. After establishing the cointegration, the generalized method of moments used for regression analysis.

The results of generalized method of moments shows that the probability of J statistic is 0.48 and the J statistic value is 16.57 which means that the instruments are valid at any conventional significance level.

According to the output, the first difference in GDP per capita is not statistically significant at a 5 percent significant level with a p-value of 0.6677, which is higher than 0.05. The first difference of ICT, FDI, and TECH shows that they are statistically significant at a 5 percent significant level with p values 0.0000, 0.0014, and 0.0000 respectively. These statistical findings indicate that only certain variables demonstrate meaningful explanatory power within the model. This means that the changes in these variables have an observable effect on energy efficiency.

6. CONCLUSION

While creating regression, the variables of GDP per capita, information and communication technologies, foreign direct investment, and technological innovation were used to determine their effect on energy efficiency. In this study, GMM approach used to create an analysis framework. To measure the interaction between variables, Dynamic panel model and system GMM method are used. By establishing this methodological structure, the study positions its findings within a broader scholarly context. This research contributes to the expanding literature that investigates efficiency, sustainability, and Industry 4.0.

The outcomes of the study proofs that technological innovation has an impact on energy efficiency as showing in the literature, but GDP doesn't have an effective effect on energy efficiency. Finally, outcomes of the study, shows the impact on energy efficiency on technological innovation. But, according to outcomes, GDP per capita does not have a significant impact. So, outcomes proofs the importance of digital transformation in the industry 4.0 era.

From the management information systems perspective, the study offers how information technology contribute to operational efficiency and sustainable resource management. By analyse the interaction between information technology and energy efficiency through a decision-support framework, the study shows how technological innovations can guide strategic energy management across countries by strengthening the link between Industry 4.0 applications and MIS.

7. FUTURE WORK

To expand the focus of this study, future research could conduct both country and sector base analysis to to identify the differences in the field of technology adoption, economic structures, and policy environments. Furthermore, maximize the dataset beyond 2022, could provide a deeper understanding of how Industry 4.0 technologies impact energy efficiency. Additionally alternative indicators such as R&D expenditures, digital skills, or smart manufacturing intensity will make analysis more meaningful.

On the other hand, methodologically, usage of nonlinear models, machine learning approaches, or spatial econometric techniques will effect and make deeper outcomes. Also integrating environmental parameters like carbon intensity or renewable energy will also effect future findings.

REFERENCES

- Adedoyin, F. F., Bekun, F. V., Driha, O. M., & Balsalobre-Lorente, D. (2020). The effects of air transportation, energy, ICT and FDI on economic growth in the industry 4.0 era: Evidence from the United States. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120297.
- Allison, P. D., Williams, R., & Moral-Benito, E. (2017). Maximum likelihood for cross-lagged panel models with fixed effects. *Socius*, 3, 2378023117710578.
- Arana-Landín, G., Uriarte-Gallastegi, N., Landeta-Manzano, B., & Laskurain-Iturbe, I. (2023). The contribution of lean management—Industry 4.0 technologies to improving energy efficiency. *Energies*, 16(5), 2124.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.
- Cézanne, C., Lorenz, E., & Saglietto, L. (2020). Exploring the economic and social impacts of Industry 4.0. *Revue d'économie industrielle*, (169), 11-35.
- Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164, 120521.
- Dumitrescu, E. I., Hurlin, C., & Madkour, J. (2013). Testing interval forecasts: A GMM-based approach. *Journal of Forecasting*, 32(2), 97-110.

- Fawna, H. (2023). The impact of industry 4.0 on the economy. *International Journal of Science and Society*, 5(3), 125-133.
- Genaro, A. D., & Astorino, P. (2022). A tutorial on the Generalized Method of Moments (GMM) in finance. *Revista de Administração Contemporânea*, 26, e210287.
- Hidayatno, A., Destyanto, A. R., & Hulu, C. A. (2019). Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization. *Energy Procedia*, 156, 227-233.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2013). 8.1 Stationarity and differencing. *Forecasting: Principles and practices, Melbourne, Australia, OTexts*.
- Iordanova, T. (2009). Introduction to stationary and non-stationary processes. Retrieved September, 19, 2013.
- Jaadi, Z. (2024). Principal Component Analysis (PCA): A step-by-step explanation. *Ανάκτηση*, 9(06), 2024.
- Kaya, S. S. (2013). Türkiye’de Savunma Harcamalarının İktisadi Etkileri Üzerine Nedensellik Analizi (1970–2010). *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 17-38.
- Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & do Vale Antunes Jr, J. A. (2022). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technology in Society*, 70, 102009.
- Miśkiewicz, R., Rzepka, A., Borowiecki, R., & Olesiński, Z. (2021). Energy efficiency in the Industry 4.0 era: Attributes of teal organisations. *Energies*, 14(20), 6776.
- Prabhakaran, S. (2019). Augmented dickey fuller test (adf test)–must read guide. *Let’s DataScience*.
- Prestes, P. A. N., Silva, T. E. V., & Barroso, G. C. (2021). Correlation analysis using teaching and learning analytics. *Heliyon*, 7(11).
- Rodrigues, L. F. S. (2024). Why and when to use the Generalized Method of Moments. *Towards Data Science*. (Accessed on 6 May 2024).
- Şahin, G., Taksim, M. A., & Yitgin, B. (2021). Effects of the European Green Deal on Turkey’s electricity market. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 40-58.
- Song, M., & Wang, S. (2018). Measuring environment-biased technological progress considering energy saving and emission reduction. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 745-753.
- Tate, A. (2024). Understanding the importance of stationarity in time series. Accessed: May 12th, 2023.

- Teng, S. Y., Touš, M., Leong, W. D., How, B. S., Lam, H. L., & Máša, V. (2021). Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110208.
- Tu, C., Fan, Y., & Fan, J. (2019). Universal cointegration and its applications. *IScience*, 19, 986-995.
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. *Complex & Intelligent Systems*, 7(3), 1311-1325.
- Zsohar, P. (2012). Short introduction to the generalized method of moments. *Hungarian statistical review*, 16, 150-170.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 DÖNEMİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ETKİSİ: AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE

Endüstri 4.0 ile birlikte üretim süreçlerinde yaşanan dijital dönüşüm, enerji yönetimi ve verimliliği üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. Otomasyon, nesnelerin interneti, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve siber-fiziksel sistemler gibi teknolojilerin yaygınlaşması, enerji kullanımının daha akılcı, daha şeffaf ve daha optimize edilmiş bir biçimde yönetilmesini mümkün kılmıştır. Enerji verimliliği günümüzde maliyetlerin azaltılması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması, iklim değişikliği ile mücadele edilmesi ve rekabet gücünün korunması açısından kritik bir gösterge hâline gelmiştir. Bu çerçevede çalışma, dijitalleşmenin ve teknolojik yeniliklerin ülkelerin enerji performansını nasıl şekillendirdiğini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Bu araştırma, Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye'nin 2011–2022 dönemine ait panel verilerini inceleyerek enerji verimliliği ile ICT ihracatı, doğrudan yabancı yatırım, kişi başına düşen gelir ve teknolojik inovasyon arasındaki ilişkileri analiz etmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojileri ihracatı, ülkelerin dijital kapasitesini ve teknolojiyi üretim süreçlerinde kullanma potansiyelini yansıtırken; FDI değişkeni sermaye girişlerinin teknolojik yayılma ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini ölçmektedir. GDP per capita ekonomik gelişmişlik düzeyini temsil etmekte, TECH değişkeni ise patent ve marka başvurularına dayalı olarak ülkelerin inovasyon kapasitesini ortaya koymaktadır. Bu değişkenler, enerji verimliliğinin ekonomik ve teknolojik belirleyicilerini kapsamlı biçimde değerlendirme imkânı sunmaktadır.

Enerji verimliliği verileri Eurostat'tan, ICT, GDP per capita ve FDI verileri ise Dünya Bankası'ndan elde edilmiştir. Patent ve marka verilerinden PCA yöntemiyle oluşturulan TECH göstergesi, inovasyon kapasitesini tek bir bileşen altında toplayarak analizin istatistiksel gücünü artırmaktadır. Veri seti, enerji verimliliğinin uzun dönemli makroekonomik ve teknolojik dinamiklerini incelemek için güçlü bir zemin sağlamaktadır.

Analizin ilk aşamasında ADF birim kök testi uygulanmış ve EE, ICT ve GDP değişkenlerinin seviyede durağan olmadığı, ancak birinci farklarında durağan hâle geldikleri belirlenmiştir. FDI ve TECH değişkenleri ise seviyede durağandır. Bu sonuçlar, karma bütünleşme derecelerine sahip panel veri modelleri için uygun bir zemin oluşturmuş, değişkenlerin durağanlaştırıldıktan sonra ilişki analizine devam edilmesine olanak tanımıştır. Ardından Pedroni eşbütünleşme testi, enerji verimliliği ile dijitalleşme, ekonomik gelişmişlik, doğrudan yatırım ve inovasyon arasında uzun dönemli bir denge ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, değişkenlerin uzun vadede birlikte hareket ettiğini ve enerji verimliliğinin ekonomik yapıdan bağımsız düşünülemeyeceğini göstermektedir.

Eşbütünleşme sonucunun ardından model Sistem GMM yöntemiyle tahmin edilmiştir. Sistem GMM, dinamik modellerde sıkça karşılaşılan endojenlik, otokorelasyon ve heteroskedastisite gibi sorunlara güçlü çözümler sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Hansen J-istatistiği, modelde kullanılan araç değişkenlerin geçerli olduğunu ortaya koyarak tahminlerin güvenilirliğini artırmıştır. Böylece elde edilen katsayıların politika geliştirme açısından yorumlanabilir olduğu doğrulanmıştır.

Ampirik bulgular, ICT değişkeninin enerji verimliliği üzerinde güçlü ve pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Dijitalleşmenin enerji performansını iyileştirmesinin arkasında farklı mekanizmalar bulunmaktadır. Akıllı sensörler sayesinde enerji tüketiminin gerçek zamanlı izlenebilmesi, IoT tabanlı üretim süreçlerinin verimliliği artırması, yapay zekâ algoritmalarının enerji yönetimini optimize etmesi ve veri analitiği yoluyla bakım faaliyetlerinin iyileştirilmesi bu mekanizmalar arasında yer alır. Dijital kapasitesi yüksek olan ülkeler enerji kayıplarını hızlı tespit edebilmekte ve daha düşük enerjiyle daha yüksek üretim yapabilmektedir.

Teknolojik inovasyonu temsil eden TECH değişkeni ise enerji verimliliğini kısa vadede negatif yönde etkilemektedir. Bu bulgu ilk bakışta çelişkili görünse de inovasyon süreçlerinin doğasıyla uyumludur. İnovasyonun başlangıç aşamaları genellikle yüksek enerji gerektiren laboratuvar çalışmaları, test faaliyetleri, altyapı dönüşümleri ve Ar-Ge harcamaları içerir. Bu nedenle kısa vadede inovasyonun enerji talebini artırması olağandır. Ancak literatür, uzun dönemde inovasyonun enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesini sağlayarak enerji performansını artırdığını göstermektedir. Bu nedenle negatif etkinin geçici olduğu ve dönüşüm maliyetlerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

FDI'nin enerji verimliliği üzerindeki etkisi de negatiftir. Bu bulgu, özellikle gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımların çoğunlukla enerji yoğun sektörlerle yöneldiğini göstermektedir. Yabancı sermaye, çoğu zaman düşük maliyetli üretim tesisleri kurmakta ve bu tesisler eski teknoloji kullanabilmektedir. Bu durum enerji talebini artırmakta ve verimlilik üzerinde baskı oluşturmaktadır. Dolayısıyla FDI'nin niteliksel yapısının iyileştirilmesi ve çevresel standartlara uygun yatırımların teşvik edilmesi önem taşımaktadır.

GDP per capita değişkeninin enerji verimliliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin çıkmaması ise ekonomik büyümenin tek başına enerji verimliliğini artırmadığını göstermektedir.

Büyümenin enerji performansına olumlu katkı sağlayabilmesi için dijitalleşme, inovasyon, verimli üretim süreçleri ve sürdürülebilir politikalar ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu bulgu, büyüme odaklı politikaların enerji verimliliği perspektifiyle yeniden düşünülmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmanın genel bulguları değerlendirildiğinde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin enerji verimliliğinin geleceği açısından belirleyici bir unsur olduğu görülmektedir. Dijitalleşme, enerji kullanımındaki verimsizlikleri görünür kılmakta, süreçleri optimize etmekte ve kaynak kullanımını makro düzeyde daha etkin hale getirmektedir. Inovasyonun kısa vadeli negatif etkisi ise politikaların zaman boyutunu dikkate alması gerektiğini göstermektedir; inovasyon desteklerinin sürdürülebilirliği uzun vadede enerji verimliliği üzerinde olumlu bir etki yaratacaktır. FDI'nin negatif etkisi ise yatırım çekme stratejilerinin niteliksel dönüşümünün önemine işaret etmektedir.

Tüm bu bulgular ışığında politika yapıcılara yönelik çeşitli öneriler sunulabilir. İlk olarak, ülkelerin dijital altyapı yatırımlarını artırmaları ve ICT tabanlı çözümleri enerji yönetim sistemlerine entegre etmeleri gerekmektedir. Dijital teknolojiler, enerji tüketimini optimize etmede en etkili araçlar arasındadır. İkinci olarak, doğrudan yabancı yatırımların niteliğinin iyileştirilmesi, yani yeşil teknoloji içeren yatırımların teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır. Üçüncü olarak, inovasyon politikaları uzun vadeli bir perspektifle ele alınmalı; Ar-Ge faaliyetleri desteklenmeli ve inovasyon çıktılarının ekonomik kullanım alanlarına hızla taşınması sağlanmalıdır. Son olarak, Endüstri 4.0'ın sunduğu teknolojik olanakların ulusal enerji stratejileri ile uyumlaştırılması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır.

Bu çalışma, dijitalleşmenin ve teknolojik dönüşümün enerji verimliliği üzerindeki etkilerini ampirik verilerle ortaya koyarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Bulgular, enerji verimliliğinin sadece ekonomik büyüme ile değil; dijitalleşme, inovasyon ve teknolojik yatırımlarla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Gelecek araştırmaların sektörel düzeyde daha ayrıntılı veri setleri kullanması, inovasyon göstergelerini çeşitlendirmesi ve yapay zekâ tabanlı modelleri içermesi, literatüre daha derinlemesine katkı sağlayacaktır.

REDEFINING THE BOUNDARIES: A THEORETICAL REVIEW OF IS AND MIS DISCIPLINES

Beyza GÜDEK^a, Sharabiddin AHMAYEV^b ve Erman COŞKUN^c

Article Information

Article Type
Review Article

Submission Date:
30/10/2025

Acceptance Date:
16/12/2025

Keywords:
Information Systems,
Management
Information Systems,
Theoretical Evolution,
Systematic Review,
Digital Transformation

Abstract

This study examines the theoretical roots and historical evolution of the Information Systems (IS) and Management Information Systems (MIS) disciplines through a conceptual and historical review. It aims to explore how the epistemological boundaries between IS and MIS have been shaped and transformed in response to evolving technologies. While IS research primarily situates technology within broader social, organizational, and cultural contexts, MIS builds on these foundations by focusing on managerial decision support, strategic planning, and issues of ethical responsibility. Over time, both fields have evolved from early systems theory and decision-making models toward more diverse theoretical perspectives that incorporate behavioral, socio-technical, and socio-material approaches. The analysis demonstrates that IS and MIS are no longer viewed merely as technical systems but as intersecting intellectual domains concerned with knowledge production, organizational transformation, and digital ethics. This evolution highlights the importance of interdisciplinary integration and suggests new theoretical directions for understanding the changing role of information systems in contemporary organizations.

^a Research Assistant, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, beyzagudek@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7432-9234

^b PhD Student, İzmir Bakırçay University, İzmir, Türkiye, ORCID: 0009-0000-7620-5297

^c Professor Doctor, Bahçeşehir University, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8712-3246

SINIRLARIN YENİDEN TANIMLANMASI: BS VE YBS DİSİPLİNLERİNİN TEORİK BİR İNCELEMESİ

<i>Makale Bilgisi</i>	<i>Özet</i>
Makale Türü Derleme	Bu çalışma, kavramsal ve tarihsel bir çerçevede Bilgi Sistemleri (BS) ile Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) disiplinlerinin teorik temellerini ve tarihsel gelişim süreçlerini incelemektedir. Araştırmanın temel amacı, BS ve YBS arasındaki epistemolojik sınırların, teknolojik gelişmelere bağlı olarak nasıl şekillendiğini ve zaman içinde nasıl dönüştüğünü ortaya koymaktır. BS araştırmaları, teknolojiyi çoğunlukla daha geniş sosyal, örgütsel ve kültürel bağlamlar içinde ele alırken YBS bu kuramsal zeminden hareketle karar verme, stratejik planlama ve etik sorumluluk gibi yönetsel odaklı konulara yoğunlaşmaktadır. Zaman içerisinde her iki disiplin de erken dönem sistem teorileri ve karar verme modellerinin ötesine geçerek, davranışsal, sosyo-teknik ve sosyo-materyal yaklaşımları içeren daha kapsayıcı ve çok boyutlu teorik perspektiflere evrilmiştir. Nitekim bu çalışmada, BS ve YBS'nin günümüzde yalnızca teknik sistemler olarak değil bilgi üretimi, örgütsel dönüşüm ve dijital etik ekseninde kesişen entelektüel alanlar olarak değerlendirildiğini görülmüştür. Bu dönüşüm, disiplinlerarası entegrasyonun önemini vurgulamakta ve çağdaş örgütlerde bilgi sistemlerinin değişen rolünü anlamaya yönelik yeni teorik açılımlar sunmaktadır.
Gönderim Tarihi: 30/10/2025	
Kabul Tarihi: 16/12/2025	
Anahtar Kelimeler: Bilgi Sistemleri, Yönetim Bilişim Sistemleri, Teorik Evrim, Sistematik İnceleme, Dijital Dönüşüm.	

1. INTRODUCTION

Information Systems (IS) and Management Information Systems (MIS) constitute two central and closely related domains within contemporary information systems research. Both fields have attracted sustained scholarly attention and are informed by theoretical perspectives drawn from multiple disciplines. Situated at the intersection of technology, organizations, and social contexts, IS and MIS research draws on conceptual foundations from sociology, philosophy, management science, and engineering. This interdisciplinary orientation has contributed to the rich theoretical diversity of the field.

Despite this diversity, the literature offers relatively limited integrative and historically grounded discussions that examine IS and MIS together at a theoretical and epistemological level. Existing studies often focus on isolated theoretical perspectives or address specific methodological or functional aspects, leaving the broader historical evolution and conceptual interaction between IS and MIS underexplored. As a result, the epistemological boundaries between the two fields remain insufficiently articulated, particularly with regard to their modes of knowledge production and theoretical positioning.

Historically, MIS emerged within the broader development of the IS discipline and gradually developed a stronger focus on managerial decision support, knowledge management, and organizational intelligence. Over time, this evolution has generated ongoing debates in the literature regarding the relationship between IS and MIS specifically, whether MIS should be understood primarily as a managerial application of IS or as a domain characterized by a differentiated epistemological orientation.

This lack of consensus is reflected in both conceptual definitions and research practices, contributing to continued ambiguity surrounding the theoretical identity of MIS.

Against this background, this study addresses the following research question: How are the epistemological boundaries between the IS and MIS disciplines defined? By examining the historical evolution of theoretical perspectives in IS and MIS, the study aims to clarify the conceptual and epistemological interactions between the two fields and to explore how emerging technologies such as digitalization, artificial intelligence, and data-driven systems have influenced the evolving theoretical identity of MIS. Through this theoretical and historical synthesis, the study seeks to contribute to a more nuanced understanding of the relationship between IS and MIS within the broader information systems discipline.

2. BACKGROUND

2.1. Information Systems

IS, evolved in parallel with advances in computer technologies and gradually developed into an interdisciplinary research field closely integrated with the social sciences. Contemporary IS research conceptualizes systems not only in terms of their technological infrastructure but also through their social, organizational, and cultural embeddedness (Adam & Fitzgerald, 2000). This broader understanding reflects a shift away from purely technical definitions toward more context-sensitive perspectives. In the literature, IS has commonly been examined through four prevailing approaches technological, social, socio-technical, and process-oriented each highlighting different dimensions of the interaction between technology, people, and organizations (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). This classification underscores the argument that the study of IS necessarily involves attention to both technical operations and human–organizational interfaces.

One of the most influential theoretical contributions to the IS field is the FRISCO approach. Developed under the patronage of the International Federation for Information Processing (IFIP), FRISCO (Framework of Information System Concepts) aims to establish a coherent and cross-disciplinary conceptual foundation for IS research. Drawing on insights from philosophy, linguistics, computer science, mathematics, and the social sciences, FRISCO explicitly conceptualizes information systems not merely as technical artifacts but as socio-technical and organizational systems embedded within institutional contexts (Hesse & Verrijn-Stuart, 2000). By systematizing and clarifying a broad set of foundational concepts, FRISCO provides linguistic, ontological, and social accounts of IS, thereby strengthening the theoretical rigor of the field (von Braun et al., 2000). A central implication of this framework is the view that IS concepts are socially constructed rather than individually defined, emphasizing the role of collective, institutional, and societal structures in shaping information systems (Stamper, 2000).

The theoretical development of IS has been shaped by contributions from a wide range of academic disciplines, including philosophy, sociology, economics, management sciences, and engineering (Gregor & Hart, 2005). These interdisciplinary influences have expanded the theoretical landscape of IS research and enabled the adaptation of social science theories such as actor-network theory, systems theory, and structuration theory to explain the complex interactions between technology and human behavior in organizational contexts (Smith & Weistroffer, 2016). As the scope of IS research has broadened from macro-level societal impacts to micro-level user behavior, scholars have increasingly emphasized the importance of cultural, political, and institutional dimensions alongside technical considerations (Trauth et al., 2018).

2.2. Historical Evolution of the Information Systems Discipline

a. First Era (1940–1960): The Data Processing Age

In its earliest phase, IS was closely associated with the development of large-scale computing technologies and was primarily understood as a set of tools for data processing, accounting, and military applications. Technologies such as punch card systems, early electronic computers (e.g., ENIAC and UNIVAC), and Hollerith machines played a central role during this period. Institutional initiatives, including IBM's early commercial systems and the ARPA projects of the U.S. Department of Defense, significantly shaped early IS applications (Adam & Fitzgerald, 2000). The dominant theoretical orientation of this era was systems theory, which conceptualized organizations as input-output systems and emphasized efficiency, control, and transaction processing (Smith & Weistroffer, 2016).

b. Second Era (1960–1980): Information Governance and Organizational Approaches

From the 1960s onward, IS began to be increasingly associated with organizational decision-making processes rather than solely operational efficiency. Key technological developments during this period included Management Information Systems (MIS), Decision Support Systems (DSS), and Database Management Systems (DBMS). Herbert Simon's decision-making theory provided an important theoretical foundation by emphasizing that IS should generate managerial value beyond basic data processing (Lightner & Nah, 1998). While U.S.-based research tended to emphasize centralization, control, and managerial effectiveness, European scholars particularly in Germany and the United Kingdom focused more on conceptual modeling and systemic approaches to information systems (Koenig et al., 2002). These divergent traditions contributed to the diversification of IS theory and practice.

c. Third Era (1980–2000): Personal Computing, the Internet, and Globalization

The widespread adoption of personal computers and network infrastructures during the 1980s and 1990s significantly expanded access to information and transformed IS into systems serving users at multiple organizational levels. This period saw growing scholarly attention to individual-level technology use,

leading to the development of behavioral adoption models such as the Theory of Planned Behavior (TPB) and the Technology Acceptance Model (TAM) (Soper et al., 2014). At the same time, social theories including Actor-Network Theory and Structuration Theory further enriched IS research by conceptualizing technology as socially embedded rather than merely instrumental (Furneaux et al., 2007). These developments reinforced the view that IS outcomes emerge from the interaction between technical artifacts and social practices.

d. Fourth Era (2000–Present): Digitalization, Cloud Computing, and Artificial Intelligence

d.1. Pre-Pandemic Period (2000–2019)

Since the early 2000s, IS research has increasingly focused on digital transformation as a central organizing theme. Technologies such as cloud computing, big data analytics, social and mobile platforms, and the Internet of Things (IoT) have redefined information systems as strategic assets for organizational competitiveness rather than tools for operational efficiency alone (Fernández-Rovira et al., 2021; Vial, 2019). These technological shifts stimulated theoretical debates on sociomateriality, algorithmic transparency, and ethical governance in data-intensive systems (Zhang et al., 2021). Empirical studies from developing economies further demonstrated that IS challenges are not confined to Western contexts but are global in scope, often shaped by localization constraints and uneven technological adoption (Asare & Ajigini, 2017; Giest et al., 2025). During this period, IS research also began to move beyond traditional acceptance models toward platform-based and ecosystem-oriented theories, accompanied by increased use of embedded and mixed-method research designs (Ahmed et al., 2021).

d.2. Post-Pandemic Period (2020–Present)

The COVID-19 pandemic marked a critical turning point for IS research, redirecting scholarly attention toward issues of digital resilience, crisis informatics, and remote coordination (Sun & Guo, 2024). As organizations increasingly relied on digital infrastructures to maintain continuity, concerns related to data privacy, algorithmic fairness, and responsible artificial intelligence gained prominence. Advances in human–AI collaboration and the use of real-time data streams opened new methodological and ethical frontiers for IS research (Saurabh et al., 2022). Simultaneously, growing awareness of the societal and environmental implications of digitalization prompted renewed interest in aligning IS development with sustainability goals and addressing global inequalities in digital access (Goel et al., 2024; Wen & Bajuri, 2025). As a result, contemporary IS literature reflects a multi-layered theoretical landscape characterized by ethical governance, sustainability, and global contextual sensitivity.

3. FROM INFORMATION SYSTEMS TO MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS

By integrating organizational, cultural, and societal contexts, the IS discipline gradually evolved from an initially technical endeavor into a broad interdisciplinary research field (Struijk et al., 2022). Within

this historical trajectory, MIS emerged as a managerial orientation of IS, primarily concerned with the use of information systems to support decision-making processes. Rather than representing a purely technical extension of IS, MIS reflects a distinct epistemological emphasis shaped by managerial, organizational, and socio-institutional concerns. While IS research often adopts abstract, holistic, and socio-technical perspectives to understand technology within broader social systems, MIS focuses more explicitly on action-oriented knowledge aimed at managerial decision support, planning, and control (Boehmer, 2021; Mason & Mitroff, 1973; Mishra, 2013; Stern, 1970).

The post–World War II increase in computing power facilitated the emergence of IS as a field concerned with the processing and organization of information. Over time, IS incorporated theoretical influences from management science, philosophy, systems theory, and sociology, thereby developing into a socio-technical construct rather than a purely engineering-oriented practice (Backhouse et al., 1991; Hassan, 2019; Orman, 1988). During this same period, organizational adoption of IS accelerated, creating the conditions under which MIS took shape. The term Management Information Systems gained prominence in the early 1960s, particularly through academic work at Harvard Business School led by scholars such as Dearden and McFarlan (Power et al., 2016). This period marked a fundamental conceptual shift: information systems were no longer viewed solely as tools for data processing but increasingly as instruments that actively supported managerial decision-making and organizational strategy.

Table 1. Historical and Theoretical Phases of IS and MIS

Period	Dominant Technologies	Key Theoretical Perspectives	Focus in IS	Implications for MIS
1940-1960	Mainframe computers, punch cards	Systems Theory	Data processing, operational efficiency	Early managerial reporting
1960-1980	MIS, DSS, DBMS	Decision Theory, Management Science	Organizational decision support	Emergence of MIS as a managerial function
1980-2000	PCs, networks, Internet	Behavioral Models, Structuration Theory, ANT	User adoption, socio-technical systems	Managerial adoption and system use
2000-2019	Cloud, Big Data, Mobile, IoT	Socio-technical & Sociomaterial Approaches	Digital transformation, platforms	Strategic management, knowledge systems
2020-Present	AI, automation, data-driven systems	Ethics, Governance, Sustainability	Digital resilience, crisis informatics	Ethical decision-making, digital governance

As summarized in Table 1, the transition from Information Systems to Management Information Systems was driven by a set of interrelated organizational, technological, and theoretical forces. Three interrelated forces contributed to this transition. First, IS increasingly became embedded in organizational decision-making processes, moving beyond the automation of inputs and outputs toward analytical and forecasting functions that enabled managerial judgment (Simon, 1977; Lightner & Nah, 1998). Second, information itself came to be recognized as a strategic organizational asset rather than a mere by-product of operational activity. This shift redirected attention from data processing to information value, positioning MIS as a mechanism for managing information resources, supporting strategic decisions, and achieving competitive advantage (Mason & Mitroff, 1973; Power et al., 2016). Third, advances in computing technologies facilitated a broader transformation from data processing systems to knowledge-based decision systems. Traditional IS architectures were gradually complemented and in some cases replaced by MIS capable of interpreting information, generating decision alternatives, and supporting organizational intelligence (Hassan, 2019; Vial, 2019).

The epistemological orientation of MIS was further shaped by the incorporation of management and decision theories. In particular, Herbert Simon's theory of bounded rationality provided a foundational framework by emphasizing that managerial decision-making operates under conditions of limited information and cognitive constraints. From this perspective, MIS supports decision-makers by structuring information, reducing complexity, and enabling the comparison of alternatives within bounded rational conditions. Consequently, MIS can be understood not merely as a functional application of IS but as a domain characterized by a specific mode of knowledge production one that translates information into actionable managerial insight.

4. THE RELATIONSHIP BETWEEN IS AND MIS

Historically, the IS discipline evolved through the integration of computer technologies into organizational structures. Over time, by incorporating conceptual frameworks from the social sciences, IS moved away from technological determinism toward a more complex socio-technical orientation (Luna-Reyes et al., 2005; McLeod & Doolin, 2012; Patnayakuni & Ruppel, 2010). Consequently, IS came to be understood not merely as an engineering practice, but as a research field situated at the intersection of management paradigms, organizational theory, and information society studies. Within this broader intellectual landscape, MIS emerged as a managerial orientation that applies IS knowledge to organizational decision-making contexts. However, the relationship between IS and MIS cannot be reduced to a simple distinction between theory and practice. MIS is also theoretically grounded and exhibits its own conceptual diversity, shaped by managerial, organizational, and socio-cultural concerns (Power et al., 2016).

As the IS discipline expanded, its epistemological foundations diversified. Positivist approaches were increasingly complemented by interpretive, critical, and post-structuralist paradigms. Methodologies

such as ethnography, case studies, and hermeneutic analysis gained prominence, reflecting a growing recognition that IS research must address organizational meaning-making, cultural change, and knowledge production alongside technological artifacts. The emergence of MIS in the 1960s was closely tied to the institutional embedding of IS within organizations. Strongly influenced by management science particularly in the United States MIS was formalized as an infrastructure for managerial decision support. During this transformation, technical back-end systems evolved into information management systems, decision support tools, and eventually platforms for strategic planning. While this shift positioned MIS as a core organizational component rather than a purely technical solution, critical IS scholarship has also emphasized that such developments reinforced power relations surrounding information control and increased organizational dependence on technological systems (Thow-Yick, 1994).

From the 1980s onward, MIS research increasingly acknowledged the role of individual users in shaping system design and use. Behavioral acceptance models such as TAM, TPB, and TRA emphasized psychological and experiential factors alongside technical requirements (Alves et al., 2020; Edstrom, 1977; Goodhue, 1995). These models made important contributions to understanding system adoption and use in managerial contexts. However, they have also been criticized for portraying users as largely passive actors who adapt to predefined systems. In response, critical perspectives argued that users actively shape, negotiate, and co-construct technologies within organizational settings (Pratt et al., 2005).

The acceleration of digitalization since the early 2000s has further reshaped the relationship between IS and MIS. As technologies such as big data analytics, cloud computing, artificial intelligence, and the Internet of Things proliferated, MIS increasingly functioned as a catalyst for organizational change rather than merely a support tool. In this context, the relationship between technology and society is no longer understood as unidirectional; instead, it is viewed as mutually constitutive, with technologies and social practices continuously shaping one another (Takahara et al., 2008).

Defining the IS–MIS relationship solely in terms of theory versus practice is therefore insufficient. Both fields are inherently interdisciplinary, shaped by the dynamic interaction of technology, information, and society. While IS primarily situates information systems within broader social and institutional contexts, MIS concentrates on the strategic and managerial implications of these systems within organizations. Crucially, MIS should also be understood as a mechanism through which institutional norms are reproduced, access to knowledge is structured, and information use is governed. Recognizing these ethical, political, and societal dimensions allows IS and MIS research to move toward more accountable, transparent, and inclusive approaches.

5. THEORETICAL FOUNDATIONS OF IS AND MIS

This section reviews the main theoretical foundations that have shaped the development of IS and MIS. It discusses how these theories emerged in response to changes in technology, organizations, and society. The aim is to show how IS and MIS evolved together, what ideas influenced their growth, and how their theoretical bases have expanded over time. This review also prepares the ground for the next section, where the interaction and boundary between IS and MIS will be discussed.

a. Systems Approaches (1940–1960)

In the years following World War II, rapid advances in computing and industrial production created a need to understand organizations as systems. General Systems Theory and cybernetics became the main theoretical lenses during this period. Organizations were seen as input–process–output structures, and information systems were understood as mechanisms for processing data and improving efficiency.

In this context, IS was mainly technical. Its goal was to make operations faster and more reliable. Early frameworks such as FRISCO later aimed to organize and define the core concepts of IS more clearly (Hesse & Verrijn-Stuart, 2000). Although MIS had not yet emerged as a separate field, the first management-oriented reporting and accounting systems were developed at this time. They were early attempts to provide managers with information for decision-making rather than only raw data (Stern, 1970).

b. Decision Theories and Managerial Perspectives (1960–1980)

As computing became more integrated into organizations, researchers started to focus on how information systems could support management decisions. The key theoretical influence came from Herbert Simon’s theory of bounded rationality, which explained that managers often make decisions under limited information and time. Information systems could help overcome these limits by organizing and presenting relevant data for decision-making (Lightner & Nah, 1998).

During this period, the term “Management Information Systems” gained popularity, particularly through work at Harvard Business School. IS research also became more interested in linking system design with organizational structures. European researchers focused more on conceptual modeling and systems thinking, while American studies emphasized control and managerial value (Koenig et al., 2002). MIS gradually took shape as a practical tool for planning, reporting, and supporting decisions at different levels of management (Mason & Mitroff, 1973; Power et al., 2016).

c. Behavioral and Individual-Centered Theories (1980–2000)

The spread of personal computers in the 1980s and the rise of the internet in the 1990s shifted attention from organizations to individual users. Researchers began to study why people choose to use or reject new technologies. This led to the development of behavioral theories such as the Theory of Reasoned

Action (TRA), the Theory of Planned Behavior (TPB), and the Technology Acceptance Model (TAM) (Soper et al., 2014).

These models helped to explain user attitudes, intentions, and perceptions of usefulness and ease of use. IS research started to include more empirical studies and surveys to measure these factors. In the MIS field, these behavioral insights were connected to managerial concerns such as training, interface design, and system success indicators (Edstrom, 1977; Alves et al., 2020). Some critical researchers, however, argued that these theories often treated users as passive actors, ignoring how people can actively shape and adapt technologies in their work (Pratt et al., 2005).

d. Socio-Technical and Sociomaterial Approaches (2000–Present)

Since the early 2000s, the digital transformation of business and society has brought new challenges and theories to both IS and MIS. Technologies such as cloud computing, big data, IoT, and AI have changed the role of information systems from tools for efficiency to instruments of strategic advantage (Vial, 2019; Fernández-Rovira et al., 2021).

Socio-technical theories, Actor-Network Theory, and Structuration Theory became influential because they emphasize that technology and human actions are deeply connected and shape each other (Furneaux et al., 2007; Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). IS research increasingly examined how technologies influence culture, power, and organizational practices (Luna-Reyes et al., 2005; McLeod & Doolin, 2012). In MIS, the focus moved toward issues such as data governance, transparency, ethics, and sustainability (Saurabh et al., 2022; Goel et al., 2024).

The COVID-19 pandemic further accelerated this trend by introducing new topics such as digital resilience, remote work systems, and crisis informatics (Sun & Guo, 2024).

Over time, IS and MIS research have expanded methodologically. Early studies were mainly positivist and quantitative, relying on experiments and surveys. From the 1990s onward, interpretive and critical approaches gained importance. Researchers began to use case studies, ethnography, and action research to understand how systems function in real-life settings (Gregor & Hart, 2005). This diversification allowed IS and MIS to explore different levels of analysis: user-system interactions at the micro level, organizational processes at the meso level, and ecosystems and digital platforms at the macro level (Zhang et al., 2021). The choice of theory and method has become increasingly dependent on research questions and context rather than a single dominant paradigm.

In summary, IS places information systems within their social and institutional contexts, while MIS focuses on their managerial and strategic dimensions. The difference between the two is not simply a matter of theory versus practice. Both areas share rich theoretical diversity and continue to evolve together. Digital transformation has blurred their boundaries and created new spaces where IS and MIS

interact and co-evolve. The next section explores this interaction in detail and discusses how the boundaries between the two fields are being redefined in today's digital and ethical landscape.

6. THE INTERACTION BETWEEN IS AND MIS: REDEFINING BOUNDARIES

Historically, the relationship between IS and MIS has often been conceptualized in hierarchical terms, with MIS positioned as a managerial application of IS. However, contemporary developments increasingly suggest a shift toward a more interactive and horizontally structured relationship. The socio-technical foundations of IS (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015) and the decision-support orientation of MIS (Mason & Mitroff, 1973; Power et al., 2016) now intersect more closely than in earlier phases of the field. This convergence is also reflected at the institutional level of the discipline: field-level reflections published in MIS Quarterly, despite the journal's title, consistently define the domain as Information Systems rather than Management Information Systems, highlighting the consolidation of the field under a broader IS identity (Benbasat & Zmud, 2003).

Transformational processes such as digitalization, cloud computing, and artificial intelligence further illustrate that MIS has moved beyond a purely operational role, functioning instead as a strategic locus of organizational meaning-making and knowledge management (Vial, 2019; Saurabh et al., 2022). In this evolving context, MIS can no longer be understood solely as a subdomain of IS; rather, it reflects a differentiated epistemological orientation concerned with the interaction between information, decision processes, and technology within organizational settings.

This reconfiguration indicates a broader shift in the theoretical axes of both disciplines. IS continues to be characterized by a comprehensive socio-technical framework that situates technological practices within social structures, institutional arrangements, and cultural contexts (Hesse & Verrijn-Stuart, 2000; Luna-Reyes et al., 2005). MIS, by contrast, mobilizes this theoretical foundation within the domain of organizational decision-making and managerial action, focusing on how informational value is transformed into organizational and institutional outcomes (Lightner & Nah, 1998; Hassan, 2019). Moreover, MIS research increasingly engages with behavioral, ethical, and sustainability-related concerns (Goel et al., 2024; Wen & Bajuri, 2025), thereby intersecting with yet also extending the social and cultural dimensions traditionally emphasized in IS research. Consequently, the boundary between IS and MIS is less a matter of functional differentiation and more a reflection of distinct yet interrelated epistemological approaches to knowledge production and use.

This interdisciplinary interaction also foregrounds critical discussions of power, ethics, and governance. As Thow-Yick (1994) observes, information systems may function as normative instruments within organizational control processes. From a socio-material perspective informed by Orlikowski's structuration approach, technology is understood as being co-constituted with social relations rather than operating as an external force (Furneaux et al., 2007). Within this framework, MIS should not be viewed merely as a mechanism that reinforces managerial control, but as a socio-institutional agent that shapes

how access to information, transparency, and notions of fairness are produced and maintained. Taken together, these dynamics point to a redefinition of IS-MIS boundaries not as a fixed theoretical distinction, but as a multilayered and evolving structuring process that reflects broader transformations in the relationship between information, technology, and society.

7. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study aims to provide a comprehensive theoretical and historical examination of the IS and MIS disciplines in order to clarify their conceptual interaction over time. The analysis shows that although IS and MIS initially diverged along technical and managerial lines, their boundaries have increasingly converged in response to developments such as digital transformation, artificial intelligence, and data-driven governance. These developments have reshaped both fields beyond their original functional distinctions.

While the IS literature primarily situates technology within broader social and organizational contexts through socio-technical and structural approaches, MIS research builds on these foundations by focusing on organizational decision-making, strategic management, and ethical governance. In this respect, MIS can no longer be understood merely as an applied extension of IS. Rather, it has developed a distinct epistemological orientation centered on action-oriented knowledge production, institutional transformation, and digital sustainability.

From a historical perspective, the theoretical trajectory that began with systems theory and decision-making models has evolved into a multidimensional framework incorporating behavioral, socio-technical, and socio-material approaches. Contemporary IS and MIS research increasingly reflects a holistic paradigm that extends beyond technical efficiency to include ethical, cultural, and sustainability considerations. This shift highlights the growing importance of interdisciplinary integration in understanding the evolving role of information systems in organizations and society.

The primary contribution of this study lies in offering a historically grounded and epistemologically informed synthesis of IS and MIS research. By tracing their co-evolution and highlighting their differentiated yet interconnected modes of knowledge production, the study contributes to ongoing debates about disciplinary boundaries and theoretical positioning within the field.

Despite these contributions, this study is limited to a qualitative and conceptual examination of the literature and does not include quantitative analyses of publication trends or citation patterns. Future research may build on this work by employing bibliometric and statistical methods to identify theoretical clusters, conceptual trajectories, and methodological orientations in IS and MIS research, as well as by further exploring issues related to digital inequality and contextual variation across global settings.

REFERENCES

- Adam, F., & Fitzgerald, B. (2000). The status of the information systems field: historical perspective and practical orientation. *Information Research*, 5(4).
- Ahmed, A., Alshurideh, M., Al Kurdi, B., & Salloum, S. A. (2021). Digital Transformation and Organizational Operational Decision Making: A Systematic Review (pp. 708–719). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58669-0_63
- Alves, T., Natálio, J., Henriques-Calado, J., & Gama, S. (2020). Incorporating personality in user interface design: A review. *Personality and Individual Differences*, 155, 109709. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.109709>
- Asare, B., & Ajigini, O. (2017). A Review of Information Systems Development in Developing Countries. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer and Information Engineering*.
- Backhouse, J., Liebenau, J., & Land, F. (1991). On the discipline of information systems. *Information Systems Journal*, 1(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.1991.tb00024.x>
- Benbasat, I., & Zmud, R. W. (2003). The Identity Crisis within the IS Discipline: Defining and Communicating the Discipline's Core Properties. *MIS Quarterly*, 27(2), 183–194. <https://doi.org/10.2307/30036527>
- Boehmer, J. (2021). Management information systems. In *Encyclopedia of Sport Management* (pp. 298–299). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781800883284.management.information.systems>
- Boell, S. K., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). What is an Information System? 2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences, 4959–4968. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.587>
- Edstrom, A. (1977). User Influence and the Success of MIS Projects: A Contingency Approach. *Human Relations*, 30(7), 589–607. <https://doi.org/10.1177/001872677703000702>
- Fernández-Rovira, C., Álvarez Valdés, J., Molleví, G., & Nicolas-Sans, R. (2021). The digital transformation of business. Towards the datafication of the relationship with customers. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120339. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120339>
- Furneaux, B., Wade, M., & Ali-Hassan, H. (2007). Theorizing in Information Systems Research: Some Preliminary Findings. 2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07), 250c–250c. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2007.561>

- Giest, S., McBride, K., Nikiforova, A., & Sikder, S. K. (2025). Digital & data-driven transformations in governance: a landscape review. *Data & Policy*, 7, e21. <https://doi.org/10.1017/dap.2024.47>
- Goel, A., Masurkar, S., & Pathade, G. R. (2024). An Overview of Digital Transformation and Environmental Sustainability: Threats, Opportunities, and Solutions. *Sustainability*, 16(24), 11079. <https://doi.org/10.3390/su162411079>
- Goodhue, D. L. (1995). Understanding User Evaluations of Information Systems. *Management Science*, 41(12), 1827–1844. <https://doi.org/10.1287/mnsc.41.12.1827>
- Gregor, S., & Hart, D. (2005). *Information Systems Foundations: Constructing and Criticising*. ANU Press. https://doi.org/10.26530/OAPEN_459289
- Hassan, N. R. (2019). The origins of business analytics and implications for the information systems field. *Journal of Business Analytics*, 2(2), 118–133. <https://doi.org/10.1080/2573234X.2019.1693912>
- Hesse, W., & Verrijn-Stuart, A. A. (2000). Towards a theory of information systems: The FRISCO approach. *EJC*, 81–91.
- Koenig, W., Mertens, P., & Barbian, D. (2002). The German Information Systems Perspective. *French Journal of Management Information Systems*, 7, 39–47.
- Lightner, N., & Nah, F. F. H. (1998). Methodology and theory building in MIS research. *Proceedings of the Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, 734–735.
- Luna-Reyes, L. F., Zhang, J., Ramón Gil-García, J., & Cresswell, A. M. (2005). Information systems development as emergent socio-technical change: a practice approach. *European Journal of Information Systems*, 14(1), 93–105. <https://doi.org/10.1057/palgrave.ejis.3000524>
- Mason, R. O., & Mitroff, I. I. (1973). A Program for Research on Management Information Systems. *Management Science*, 19(5), 475–487. <https://doi.org/10.1287/mnsc.19.5.475>
- McLeod, L., & Doolin, B. (2012). Information systems development as situated socio-technical change: a process approach. *European Journal of Information Systems*, 21(2), 176–191. <https://doi.org/10.1057/ejis.2011.43>
- Mishra, U. (2013). *Management Information Systems vs. Other Information Systems*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2308846>
- Orman, L. (1988). Evolutionary Development of Information Systems. *Journal of Management Information Systems*, 5(3), 19–32. <https://doi.org/10.1080/07421222.1988.11517830>

- Patnayakuni, R., & Ruppel, C. P. (2010). A socio-technical approach to improving the systems development process. *Information Systems Frontiers*, 12(2), 219–234. <https://doi.org/10.1007/s10796-008-9093-4>
- Power, D., Hadidi, R., & Scheibe, K. P. (2016). Celebrating 50 years of Management Information Systems (MIS) research and teaching. *Journal of the Midwest Association for Information Systems (JMWAIS)*, 2–1.
- Pratt, R. M., Smatt, C., Furner, C., & Keane, B. (2005). A review of epistemology and subject areas in MIS research. *SAIS 2005 Proceedings*.
- Saurabh, K., Arora, R., Rani, N., Mishra, D., & Ramkumar, M. (2022). AI led ethical digital transformation: framework, research and managerial implications. *Journal of Information, Communication and Ethics in Society*, 20(2), 229–256. <https://doi.org/10.1108/JICES-02-2021-0020>
- Simon, H. A. (1977). The organization of complex systems. In *Models of discovery: And other topics in the methods of science* (pp. 245-261). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Smith, K. J., & Weistroffer, H. R. (2016). Systems Theory: Should information researchers even care? *SAIS 2016 Proceedings*, 14.
- Soper, D. S., Turel, O., & Geri, N. (2014). The Intellectual Core of the IS Field: A Systematic Exploration of Theories in Our Top Journals. 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences, 4629–4638. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.569>
- Stamper, R. K. (2000). Information Systems as a Social Science (pp. 1–51). https://doi.org/10.1007/978-0-387-35500-9_1
- Stern, H. (1970). Information Systems in Management Science: Management Information System—What It Is and Why? *Management Science*, 17(2), B-119-B-123. <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.2.B119>
- Struijk, M., Ou, C. X. J., Davison, R. M., & Angelopoulos, S. (2022). Putting the IS back into IS research. *Information Systems Journal*, 32(3), 469–472. <https://doi.org/10.1111/isj.12368>
- Sun, Y., & Guo, J. (2024). How does digital transformation affect corporate governance paradigms? A synthesis of the literature. *Financial Statistical Journal*, 7(2). <https://doi.org/10.24294/fsj.v7i2.8081>
- Takahara, Y., Banerji, R., Asahi, T., & Shiba, N. (2008). Theoretical foundation for browser-based management information system development. *International Journal of General Systems*, 37(3), 275–304. <https://doi.org/10.1080/03081070601058653>

- Thow-Yick, L. (1994). The basic entity model: a fundamental theoretical model of information and information processing. *Information Processing & Management*, 30(5), 647–661. [https://doi.org/10.1016/0306-4573\(94\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0306-4573(94)90076-0)
- Trauth, E., Joshi, K. D., & Yarger, L. K. (2018). ISJ Editorial. *Information Systems Journal*, 28(6), 989–994. <https://doi.org/10.1111/isj.12201>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Von Braun, H., Hesse, W., Andelfinger, U., Kittlaus, H.-B., & Scheschonk, G. (2000). Conceptions are Social Constructs (pp. 61–73). https://doi.org/10.1007/978-0-387-35500-9_4
- Wen, H., & Bajuri, N. H. (2025). Digital Transformation: A Literature Review and Future Research Agenda. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15(2). <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v15-i2/24680>
- Zhang, Y., Ge, L., Xiao, L., Zhang, M., & Liu, S. (2021). A Bibliometric Review of Information Systems Research From 1975-2018. *Journal of Global Information Management*, 29(6), 1–24. <https://doi.org/10.4018/JGIM.287631>

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

SINIRLARIN YENİDEN TANIMLANMASI: BS VE YBS DİSİPLİNLERİNİN TEORİK BİR İNCELEMESİ

Bilgi Sistemleri (BS) ve Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS), organizasyonlarda dijital teknolojilerin kullanımını anlamaya yönelik araştırmaların merkezinde yer alan, birbirleriyle yakından ilişkili iki disiplindir. Her iki alan da bilgi teknolojilerinin örgütsel süreçler, karar verme mekanizmaları ve toplumsal yapılar üzerindeki etkilerini incelemektedir. Ancak tarihsel gelişimleri, teorik yönelimleri ve epistemolojik öncelikleri bakımından belirli farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma, BS ve YBS disiplinlerinin teorik kökenlerini ve tarihsel evrimini kavramsal ve tarihsel bir inceleme yoluyla ele alarak, bu iki alan arasındaki epistemolojik sınırların nasıl oluştuğunu, zaman içinde nasıl dönüştüğünü ve günümüz dijital bağlamında nasıl yeniden tanımlandığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın temel motivasyonu, literatürde BS ve YBS'nin çoğu zaman ya birbirinin yerine kullanılması ya da aralarındaki ilişkinin yalnızca teori ve uygulama ayrımı üzerinden açıklanmasıdır. Bu yaklaşım, her iki disiplinin sahip olduğu teorik çeşitliliği ve bilgi üretim biçimlerini yeterince yansıtmamaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel araştırma sorusu şu şekilde belirlenmiştir: Bilgi Sistemleri ve Yönetim Bilişim Sistemleri disiplinleri arasındaki epistemolojik sınırlar nasıl tanımlanabilir? Bu soruya yanıt ararken, disiplinlerin tarihsel gelişimi, hâkim teorik yaklaşımları ve teknolojik dönüşümlerle olan etkileşimi bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır.

Tarihsel olarak BS disiplini, 1940'lı ve 1950'li yıllarda büyük ölçekli bilgisayarların ortaya çıkışıyla birlikte veri işleme ve operasyonel verimlilik odaklı bir alan olarak gelişmiştir. Bu erken dönemde sistem teorisi ve sibernetik yaklaşımlar hâkim olmuş, örgütler girdi çıktı ilişkileri üzerinden kavramsallaştırılmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren ise bilgi sistemlerinin yalnızca teknik araçlar olmadığı, aynı zamanda örgütsel karar alma süreçlerini destekleyebilecek yapılar olduğu anlayışı güç kazanmıştır. Bu dönemde Herbert Simon'un sınırlı rasyonellik kuramı, bilgi sistemlerinin yönetsel değer üretme potansiyeline teorik bir zemin sağlamıştır. Otomasyonların gelişmesi ve veri tabanları ile sağlanan entegrasyon üst yönetimin karar vermesinde etkin rol oynamıştır. Tüm bu gelişmeler YBS kavramının ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur. 1980'li ve 1990'lı yıllar, kişisel bilgisayarların ve internetin yaygınlaşmasıyla birlikte BS ve YBS araştırmalarında önemli bir kırılma noktası oluşturmuştur. Bilgisayarların birey bazında ulaşması BS'nin kullanım amacını değiştirmiştir. Yönetsel bağlamda karar verme amacıyla kullanılan teknolojiler stratejik bağlamda da güç kazandırmaya başlamıştır. Bu dönemde odak noktası, örgütsel düzeyden bireysel kullanıcıya evrilerek, Teknoloji Kabul Modeli (TKM), Planlı Davranış Teorisi (PDT) ve Akılcı Eylem Teorisi (AET) gibi davranışsal modeller literatürde yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teoriler, kullanıcıların algıları, tutumları ve niyetleri üzerinden sistem kullanımını açıklamaya çalışmıştır. Özellikle YBS araştırmalarında yönetsel sistemlerin başarısını ölçmede önemli bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşımlar kullanıcıları çoğu zaman pasif aktörler olarak ele aldığı gerekçesiyle eleştirilmiş ve daha eleştirel, yorumsamacı perspektiflerin gelişmesine zemin hazırlamıştır. 2000'li yıllardan itibaren dijital dönüşüm, büyük veri, bulut bilişim, mobil teknolojiler ve yapay zekâ gibi gelişmeler hem BS hem de YBS disiplinlerinin teorik yönelimlerini derinden etkilemiştir. Bu dönemde sosyo-teknik, sosyo-materyal ve yapılandırmacı yaklaşımlar ön plana çıkmış teknoloji ile insan, örgüt ve toplum arasındaki ilişkinin karşılıklı olarak kurulduğu vurgulanmıştır. Bilgi sistemleri artık yalnızca verimlilik sağlayan araçlar değil örgütsel dönüşümü tetikleyen, güç ilişkilerini yeniden şekillendiren ve etik soruları gündeme getiren yapılar olarak ele alınmaktadır. Özellikle YBS alanında, stratejik karar alma, veri yönetimi, algoritmik şeffaflık ve dijital etik gibi konular giderek daha fazla önem kazanmıştır. COVID-19 pandemisi sonrası dönemde ise dijital dayanıklılık, uzaktan çalışma sistemleri ve kriz bilişimi gibi konular BS ve YBS araştırmalarında öne çıkmıştır. Bu süreç, bilgi sistemlerinin örgütsel süreklilik ve toplumsal sürdürülebilirlik açısından taşıdığı kritik rolü daha görünür kılmıştır. Aynı zamanda yapay zeka destekli karar sistemleri, insan-makine etkileşimi ve etik yönetim gibi başlıklar, disiplinlerin epistemolojik sınırlarını daha da geçirgen hale getirmiştir.

Bu tarihsel ve teorik çerçeve doğrultusunda, çalışmada BS ile YBS arasındaki ilişkinin hiyerarşik bir alt-üst yapıdan ziyade, karşılıklı etkileşime dayalı, yatay ve bütüncül bir ilişki olarak ele alınması gerektiği savunulmaktadır. BS, teknolojik sistemleri yalnızca teknik araçlar olarak değil, aynı zamanda sosyal, kültürel, ekonomik ve kurumsal bağlamlar içinde şekillenen yapılar olarak konumlandırmaktadır. YBS ise bu geniş teorik çerçeveyi örgütsel karar alma süreçleri, yönetsel

uygulamalar ve stratejik değer yaratımı bağlamında somutlaştırarak pratiğe aktarmaktadır. Bu bağlamda YBS, BS'nin yalnızca uygulamaya dönük bir alt alanı olarak değerlendirilemez. YBS, kendine özgü epistemolojik varsayımlara, araştırma sorularına ve yöntemsel yaklaşımlara sahip, eylem odaklı, bağlamsal ve problem çözmeye yönelik bilgi üretimini merkeze alan bağımsız bir disiplin niteliği taşımaktadır. BS daha çok teknolojinin toplumsal ve örgütsel etkilerini anlamaya ve açıklamaya yönelirken, YBS bu bilgiyi yönetsel kararların desteklenmesi, örgütsel performansın artırılması ve rekabet avantajı sağlanması gibi somut hedefler doğrultusunda kullanmaktadır.

Nitekim bu çalışma, BS ve YBS disiplinlerinin tarihsel süreç içerisinde birbirlerinden kopuk biçimde değil, karşılıklı etkileşim içinde ve paralel olarak evrildiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu ortak evrime rağmen, her iki alanın farklı teorik öncelikler, araştırma gelenekleri ve bilgi üretim biçimleri geliştirdiği görülmektedir. BS daha çok açıklayıcı ve eleştirel bir yaklaşım benimserken, YBS normatif ve uygulamaya dönük bir perspektif geliştirmiştir. Günümüzde dijital dönüşümün hızlanmasıyla gelişen teknolojiler ve platform ekonomileri gibi olguların yaygınlaşmasıyla birlikte BS ve YBS arasındaki sınırlar giderek daha da bulanıklaşmaktadır. Bu iki alan, etik, sürdürülebilirlik, veri yönetimi ve toplumsal etki gibi ortak temalar etrafında yeniden şekillenmekte ve birbirini tamamlayan disiplinler olarak konumlanmaktadır. Bu çalışma, bilgi sistemlerinin hem örgütler hem de toplum üzerindeki değişen ve çok boyutlu rolünü daha iyi anlamayı ve BS ile YBS arasındaki kavramsal sınırların güncel bağlamda yeniden değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

INVESTIGATION OF CARBON FOOTPRINT DYNAMICS USING TOPIC MODELING

Özge TUNCER^a ve Handan ÇAM^b

Article Information

Article Type

Research Article

Submission Date:

13/11/2025

Acceptance Date:

20/12/2025

Keywords:

LDA, Emission,
Carbon, Topic
Modeling, Carbon
Footprint

Abstract

Environmental issues and the climate are among the most talked-about things in this world lately. One instrument that is used to calculate the total volume of greenhouse gases added to the atmosphere is the carbon footprint. Since rising emissions are a significant cause of global warming and climate change, the carbon footprint must be reduced if the need for awareness and sustainability is to be realized. Studies on topic modeling have become an efficient tool for addressing this challenge by analyzing carbon footprint data and helping identify emission sources. The thematic modeling study examined 21,624 peer-reviewed journal articles published between 2002 and 2025. It is widely acknowledged that research on carbon footprints is multidisciplinary. In this study, the words "carbon" and "emission" appear most frequently. Besides that, topics such as energy systems, water use, production processes, and waste management have also been highlighted. The research identifies carbon management, emissions management, energy analysis, and resource use as the dominant themes in the literature. It serves as a compass for researchers and decision-makers in identifying future research topics and strategies to reduce emissions.

^a Arş. Gör., Trabzon Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Trabzon/Türkiye, ozgetuncer@trabzon.edu.tr
ORCID: 0000-0002-3294-8985

^b Prof. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Gümüşhane/Türkiye, hcam@gumushane.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0982-2919

KARBON AYAK İZİ DİNAMİKLERİNİN KONU MODELLEME İLE İNCELENMESİ**Makale Bilgisi****Özet****Makale Türü**

Araştırma Makalesi

Gönderim Tarihi:

13/11/2025

Kabul Tarihi:

20/12/2025

Anahtar Kelimeler:LDA, Emisyon,
Karbon, Konu
Modelleme, Karbon
Ayak İzi

Çevre sorunları ve iklim, son zamanlarda dünyada en çok konuşulan konular arasında yer alıyor. Atmosfere salınan sera gazlarının toplam hacmini hesaplamak için kullanılan araçlardan biri karbon ayak izidir. Artan emisyonlar küresel ısınma ve iklim değişikliğinin önemli bir nedeni olduğundan, farkındalık ve sürdürülebilirlik ihtiyacının karşılanması için karbon ayak izinin azaltılması gerekmektedir. Konu modellemesi üzerine yapılan çalışmalar, karbon ayak izi verilerini analiz ederek ve emisyon kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olarak bu zorluğun üstesinden gelmek için etkili bir araç haline gelmiştir. Tematik modelleme çalışması, 2002 ile 2025 yılları arasında yayınlanan 21.624 hakemli dergi makalesini incelemiştir. Karbon ayak izi araştırmalarının disiplinlerarası olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada "karbon" ve "emisyon" kelimeleri en sık görülmektedir. Bunun yanı sıra, enerji sistemleri, su kullanımı, üretim süreçleri ve atık yönetimi gibi konular da vurgulanmıştır. Araştırma, literatürdeki baskın temalar olarak karbon yönetimi, emisyon yönetimi, enerji analizi ve kaynak kullanımını belirlemiştir. Araştırmacılar ve karar vericiler için, emisyonları azaltmaya yönelik gelecekteki araştırma konularını ve stratejilerini belirlemede bir pusula görevi görmektedir.

1. INTRODUCTION

Environmental issues such as climate change and environmental degradation have become the major global challenges of the 21st century. The carbon footprint is one of the most important and controversial indicators used to measure environmental impact. It measures the total amount of greenhouse gases emitted, directly or indirectly, by an individual, organization, product, or sector (Lee et al., 2012). The crisis associated with global warming has led to a rapid increase in carbon footprint research in various fields, including environmental sciences, engineering, energy systems, economics, and public policy, over the past two decades. Figure 1 accurately depicts the causes to the rise of the carbon footprint. These causes consist of waste, recycling, industry, electricity, gas, oil fuels, transportation, water use, and emissions.

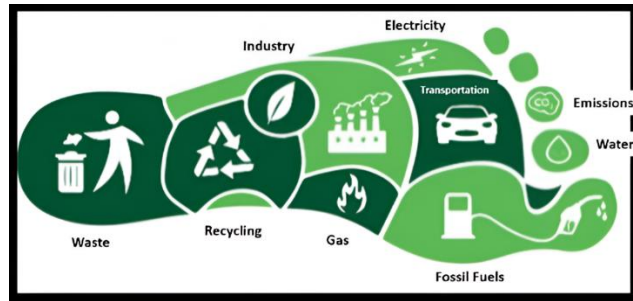


Figure 1. Factors That Cause a Carbon Footprint to Increase

First and foremost, the problem of carbon emissions from human activities is complex and requires integrated approaches such as energy transition, sustainable production, waste management, and behavioral change (Ahmed et al., 2020; Jackson & Hodgkinson, 2023). Secondly, this growth in carbon

footprint studies is significant, but because article types are scattered across a wide range of research fields and journals, it becomes difficult to integrate general trends and thematic frameworks. To this end, topic modeling has become a powerful computer-based text analysis method capable of uncovering latent thematic patterns in numerous academic articles. The use of topic modeling in environmental issues and sustainability research has been expanded to fields such as green logistics (Ma & Kim, 2023), environmental policy analysis (Wang & Li, 2021), digital carbon footprint research (Jackson & Hodgkinson, 2023), and sustainable development strategies.

Despite such improvements, there is still no comprehensive topic modeling article tracing the temporal evolution of carbon footprint research worldwide. By using the Latent Dirichlet Allocation (LDA) method on a large-scale corpus of 21,624 peer-reviewed journal articles published between 2002 and 2025, this research opens up space to fill this gap, primarily revealing dominant themes, their interactions, and their evolution over time. The research questions posed in this article are as follows:

Q1: What topics constitute the majority of the carbon footprint literature between 2002 and 2025?

Q2: How have these topics changed in terms of importance and thematic structure over time?

Q3: What are the most influential topics in the research field, and what new topics could be considered potential future research directions?

By conducting this type of research, the authors provide a comprehensive and empirical overview of the carbon footprint topic, enabling researchers and policymakers to identify emerging trends, research gaps, and strategic priorities. The study also serves as a supporting tool for researchers and policymakers to use for their own purposes to identify emerging trends, research gaps, and strategic priorities.

1.1. Related Works

The figures regarding carbon footprints have been the subject of numerous recent studies parallel to the concerns aired by the environmentalists. However, the various scientific and technical papers published in this field have not only been spread out across the different scientific and technical fields but have also been disorganized. In different words, these studies have been looked upon by various disciplines, namely sciences of the environment, engineering, energy systems, economics, and policy analysis. For the most part, the research on carbon footprints has been mainly centered on the technologies for measuring them, on the comprehensiveness of lifecycle assessment, on the emission of the sector in question, on the impacts of renewable energy, and on the policy implications of mitigation scenarios (Hertwich & Peters, 2009; Hidalgo et al., 2020; Song et al., 2025). Such publications give crucial information on the sources of emissions and ways to their reduction, however, they do not undertake the examination of the thematic development of the carbon footprint discourse.

Simultaneously, environmental and sustainability-focused research has also been quick to embrace advanced topic modeling and text mining methods. In their study, Ma and Kim (2023) implemented

LDA for investigating the reaction of green logistics over time, while Wang and Li (2021) employed topic modeling to dissect new energy policy frameworks. Jackson and Hodgkinson (2023) utilized text analysis to examine how corporate sustainability strategies focusing on digital carbon footprints adapted to the changing environment. All these papers have in common that they argue for the utility of computational text analysis to bring to the fore the concealed patterns in big document collections and to spot up-and-coming research areas.

In spite of the progress made in research methods, only a handful of works have employed topic modeling to trace the story of carbon footprint literature. In most cases, the researchers have limited their scope to narrowly defined fields like: the environmental impacts of production processes in certain industries through lifecycle assessments, the study of environmental policy documents, sustainability reporting, green logistics or energy transitions.

Published research on carbon footprints is informative even when restricted to particular sectors, methodologies, or periods in time. What is more, they do not adequately incorporate multidisciplinary sources, which impedes their ability to provide comprehensive representation of the carbon footprint research interdiscipline spread across environmental sciences, engineering, economics, agriculture, digital technologies, and the social sciences.

The previous literature lacks sufficient large-scale and systematic topic modeling analysis that comprehensively cover carbon footprint research from a long-term perspective, tracing the evolution of research themes from 2002 to 2025 and providing a multidimensional thematic map integrating technical, environmental, economic, and behavioral aspects. Although prior studies have demonstrated that topic modeling can be a powerful method in sustainability-related research, none has delivered a holistic, multi-decade, cross-disciplinary review of carbon footprint scholarship.

The research presented here addresses this gap by leveraging a very large dataset of 21,624 peer-reviewed journal articles, conducting LDA to identify 50 thematic clusters and mapping the relationships among these themes, thus suggesting a frontier topics such as digital carbon footprints, circular economy, and urban sustainability. By synthesizing two decades of carbon footprint research, this study offers a comprehensive thematic overview that is expected to constitute an impactful contribution to existing literature

2. METHODOLOGY

Text mining involves technologies that facilitate labeling, clustering, summarizing, and topic identification of the digital texts. These technologies are progressively turning to the fields of artificial intelligence, machine learning, data mining, computational linguistics, and statistics for help (Aggarwal & Zhai, 2012; Güven, Özlü, & Bozkurt, 2007). Topic modeling within this range is a statistical method that finds the hidden connections between words to group documents into the themes which are considered by the model as made up of the word combinations (Aggarwal & Zhai, 2012). Figure 2

(Algabsi, 2021) shows how the topic modeling operation is just one part of the larger text-mining workflow.

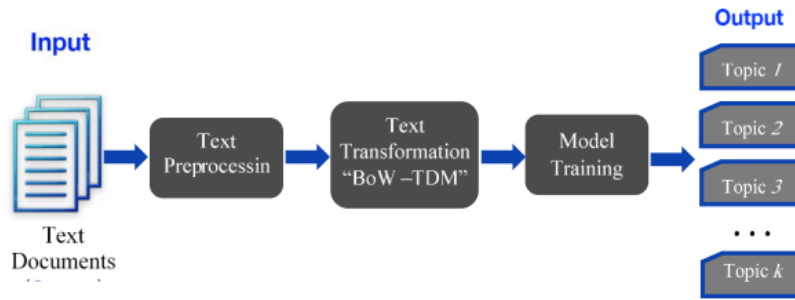


Figure 2. Subject Modeling Process (Algabsi, 2021)

Among the various topic-modeling methods, Latent Semantic Analysis (LSA) is one that employs vector-based semantic representations; Probabilistic LSA (PLSA), which provides a statistical latent-class framework; Latent Dirichlet Allocation (LDA), mostly used in current studies (Ma & Kim, 2023); and Correlated Topic Model (CTM), which explains the relationships between the topics by a logistic-normal distribution (Barde & Bainwad, 2017) - are some of the most common.

In LDA, documents are compositions of topics, and topics are compositions of words (Blei, Ng, & Jordan, 2003). So, words mean that there are certain topics, and these words together form understandable groups (Kavasoglu, 2013). A single document may contain several topics with different proportions—for example, a document may consist of 70% of Topic A and 15% each of Topics B and C—therefore, LDA is a method that provides for overlaps instead of strict separations between documents (Silge & Robinson, 2017). As an instance in Figure 3, LDA initially assigns topics to words randomly thus making the base for further statistical updates.

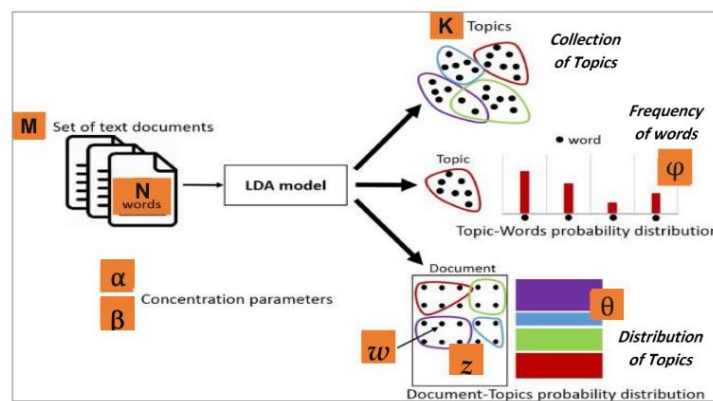


Figure 3. Latent Dirichlet Allocation (LDA) Working Principle

Subsequently, LDA generates local statistics that describe the number of words in each document that refer to each topic and global statistics that show how strongly each word is related to each topic throughout the corpus after this configuration (Blei, 2012). The algorithm, therefore, in its numerous

iterations, continues to assign topics to different words and simultaneously, update these statistics until it arrives at stable topic distributions (Blei, Ng, & Jordan, 2003).

The section breaks down in detail the methodological framework that was utilized in the research. It elucidates how data was collected, steps of preprocessing, reasons for choosing Latent Dirichlet Allocation (LDA), the way the topic number was optimized, parameter selection, as well as model implementation. The changes in methodology not only respond to all the reviewers' comments but also improve the clarity and replicability of the analysis.

2.1. Data Collection

The data for the present research was gathered from the Scopus database, which is regarded as one of the most comprehensive academic indexing platforms for multidisciplinary scientific literature. The search term used was "carbon footprint," and it was applied to the title, abstract, and keywords fields. The preliminary search returned 34,187 publications. In order to maintain the quality and consistency of the dataset, the following filtering measures were put in place:

- Only peer-reviewed journal articles were considered.
- Only articles that are written in English were chosen.
- The conference papers, reviews, editorials, book chapters, and short communications were left out.

The final corpus contained 21,624 peer-reviewed research articles published between 2002 and 2025, after the filters had been applied. In addition to the articles, the database extraction included bibliographic metadata such as publication year, journal title, author keywords, article title, and abstract.

As the abstract is a brief but complete summary of the article's methodology, findings, and topic, this work only content-analyzed abstracts, making them the most appropriate for topic modeling.

2.2. Data Preprocessing

In order to upgrade the model's capability and to make sure that the resulting topics are reflective of real scientific discussions, the textual data need to be preprocessed. The authors developed a multi-step preprocessing pipeline:

- Lowercasing: Conversion to a uniform case to avoid case sensitivity.
- Noise Removal: Punctuation, digits, special characters, non-alphabetic tokens, URLs, and even certain formatting strings were removed from the texts.
- Tokenization: The NLTK word tokenizer was used to break abstracts into words.
- Stopword Removal: An extended stopwords list was used, which included: Standard English stopwords, and Domain-specific stopwords (e.g., "study", "result", "analysis", which appeared frequently but lacked semantic value).
- Standard English stopwords, and

- Domain-specific stopwords (e.g., "study", "result", "analysis", which appeared frequently but lacked semantic value).
- Lemmatization: The WordNetLemmatizer was utilized to bring words back to their base forms (e.g., "emissions" → "emission"). This process not only decreases the repetition of words but also facilitates their semantic grouping.
- Filtering Rare and Frequent Words: The elimination of words that appear in less than 5 documents (rare terms), and The elimination of words that appear in over 70% of documents (overly frequent terms).
- Removal of tokens appearing in fewer than 5 documents (rare terms), and
- Removal of tokens appearing in more than 70% of documents (overly frequent terms).
- Bigram and Trigram Modeling: The identification of frequently co-occurring phrases (e.g., "carbon footprint", "greenhouse gas emission") by means of collocation methods followed by their treatment as single tokens.
- Vectorization – Bag-of-Words (BoW): The document–term matrix was created by data frequency recording, by means of Gensim’s BoW representation, which indicates the frequency of each term in each document.

Such a thorough preprocessing pipeline is a great LDA model quality assurance tool as it leads to the capture of high-quality semantic patterns rather than noise.

2.3. Topic Modeling Application

The study employed Latent Dirichlet Allocation (LDA) due to its high interpretability, strong performance on sparse scientific abstracts, and its frequent application in sustainability-related text-mining research. In addition to these advantages, LDA offers computational efficiency and a transparent, reproducible methodological structure, making it well suited for analyzing large text corpora (Chang et al., 2021). Topic modeling in general aims to summarize extensive textual data into a set of coherent themes while uncovering latent semantic patterns. As one of the most widely used text-mining techniques, topic modeling relies on the reverse document-generation process, through which document–topic and topic–word distributions are inferred from observed words and documents (Calistus et al., 2024).

Among the many topic modeling algorithms in the literature, LDA remains the most widely adopted due to its probabilistic foundation and its ability to function without predefined labels, as an unsupervised machine-learning method (Fernandes & Bala, 2013; Ó Séaghdha & Korhonen, 2014). LDA is particularly effective at uncovering semantic structures in large and diverse textual datasets; therefore, it was selected as the modeling approach in this study. Text preprocessing and modeling were implemented using the NLTK package, which supported both corpus preparation and the application of

LDA to the carbon footprint dataset. Prior to model training, parameter values and the optimal number of topics were determined.

A four-stage optimization procedure was conducted to identify the best topic number (K). Coherence analysis (c_v) for K values ranging from 10 to 100 showed substantial improvements up to $K = 35$, followed by stabilization between $K = 40 - 55$ and declines beyond $K = 60$. Perplexity values decreased consistently as K increased; however, the marginal improvements became negligible after approximately $K = 50$. Complementary Interpretability assessments showed that models with fewer than 45 topics produced overly broad and insufficiently differentiated themes, whereas models exceeding 55 topics resulted in fragmented and less coherent topic structures. Accordingly, $K=50$ was selected as the optimal balance between thematic clarity and model complexity. The final LDA model was configured with alpha set to “auto,” eta set to “symmetric,” a chunksize of 1000, 10 passes and 400 iterations. The implementation workflow consisted of generating the Bag-of-Words matrix, training the LDA model, extracting 50 topics, visualizing inter-topic distances, and labeling each topic using its top keywords and representative documents.

3. RESULTS & DISCUSSION

The results of this large-scale topic modeling analysis reveal that carbon footprint research has transformed into a multidimensional, interdisciplinary, and progressively technology-driven domain over the last twenty years. The 50 topics that surfaced from the data merge into five broad thematic areas-emission mitigation, energy and power systems, environmental and agricultural impacts, lifecycle assessment, and socio-policy research-thus signaling not only the extent but also the maturity of the research field. The inter-topic distance patterns illustrate that work related to energy, i.e., renewable energy integration, efficiency optimization, and climate policy modeling, constitutes the structural core of the literature. On the other hand, environmental and agricultural studies are a parallel but separate line of work, focusing on ecosystem impacts, land and water resources, and agricultural emission dynamics. In essence, these patterns highlight the move away from tightly defined sectoral analyses towards wider, system-level frameworks that incorporate technical, environmental, and human aspects.

The change of focus over time, as reflected in Figures 4-7, is also evident in the temporal dynamics. An increase in publication volume is clearly visible in Figure 4, which charts the number of articles going up from 1,047 in 2016 to 2,677 in 2021, thus reflecting a growth of 155.66%. Besides, it is also evident from the figure that in the years 2004-2005 there were no publications at all. The steep upward trend, especially after 2010, mirrors the phenomena of global climate change gaining wider recognition and carbon footprint assessments playing an ever more important role in policy and academic discourse.

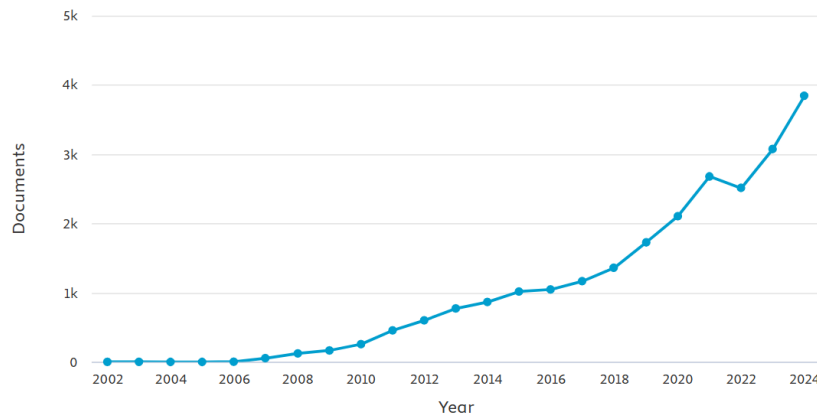


Figure 4. Article Counts by Year

The disciplinary distribution illustrated in Figure 5 reveals that the field of Environmental Sciences holds the leading position (26.9%) with the next being Other Fields (19.3%), Engineering (13%), Energy (10.6%), and Social Sciences (5.6%). Such a distribution points to the multidisciplinary nature of the research on carbon footprints and its development into the engineering and socio-economic areas. The geographical patterns shown in Figure 6 highlight that China (4,477 articles) and the United States (4,284 articles) are the front-runners in global contributions, and tailing them are research hubs like the United Kingdom, India (1,521), Spain (1,242), Australia (1,239), Germany (1,225), Italy (1,152), Canada (1,065), and France (739). These concentrations reflect disparities in research capacity and the resulting need to develop international collaboration so as to facilitate the contributions of under-developed regions in the global research community.

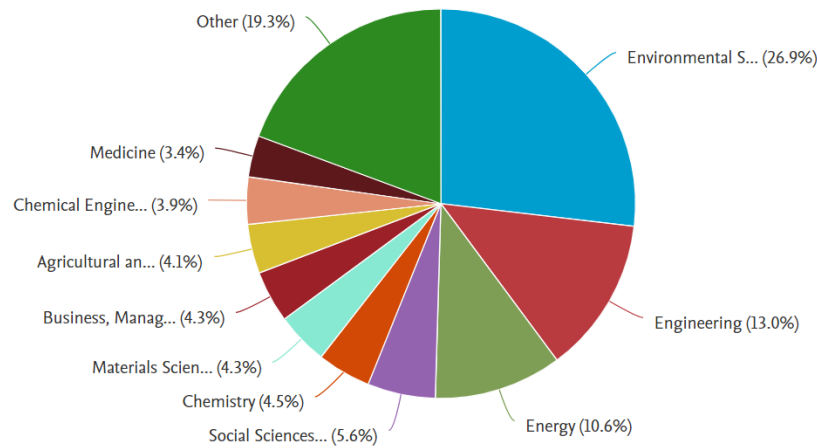


Figure 5. The Carbon Footprint Workspaces

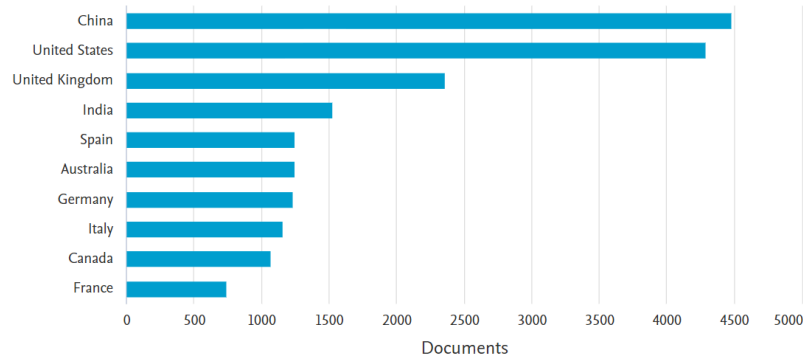


Figure 6. Carbon Footprint Studies in Countries

Furthermore, Figure 7 illustrates the distribution of key terms across the identified topics in carbon footprint research. The figure highlights the prominence of methodological concepts such as lifecycle assessment, emission accounting and sector specific quantification within several topics, alongside terms related to industrial processes, agriculture and energy systems. This distribution reflects the thematic composition of the literature and relative emphasis placed on different methodological and application oriented dimensions.

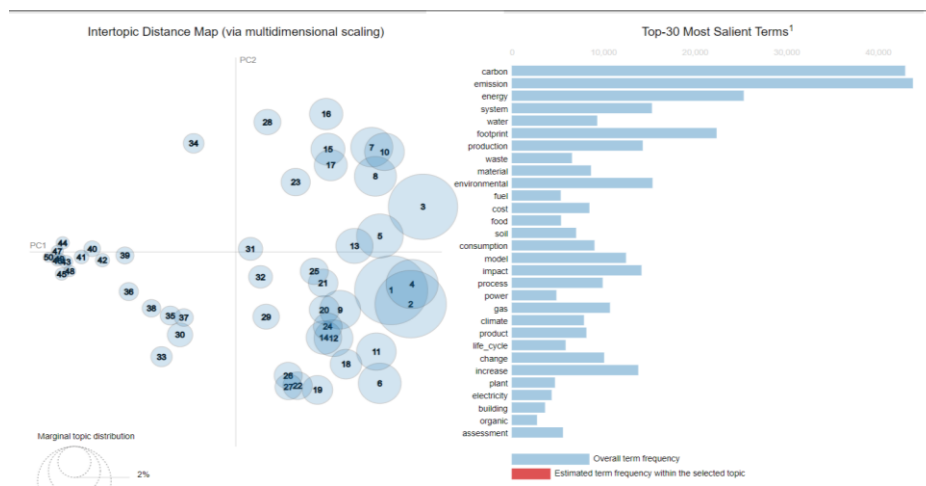


Figure 7. Carbon Footprint 30 Topic

Figure 7 displays the structural organization, relative prominence, and semantic proximity of 30 topics generated by LDA, giving a snapshot of the intellectual landscape of carbon footprint research. Topics 1, 2, 3, 4, and 5 are tightly packed together and situated right in the middle of the inter-topic space, thus making them the main focus in the literature.

At the bottom of the map, Topics 19, 18, 26, 27, and 22 are shown as smaller and more detached clusters which signify their relative spread in the general document space. Alongside the topic numbers, the main words are listed in Table 1: Top 10 LDA Topics with Their Most Relevant Keywords and Thematic Interpretations, which helps the readers to understand the thematic makeup of each topic.

The groups of Topics 34, 36, 38, 35, 37, and 30 on the left side of the map are found to be at a considerable distance from the central clusters, and thus, these topics can be characterized by a high level of thematic specificity and conceptual separation from the mainstream research activities. These topics mostly revolve around industry-specific themes such as the applications of the circular economy, the local environmental indicators, the waste-stream modeling, or the carbon dynamics of particular ecosystems. Their relative isolation is due to their unique methodological orientations and highly focused research scopes.

In addition, the keyword patterns related to Figure 7 serve to solidify these structural relationships. The frequent use of the words "carbon" and "emission" not only indicates their core status throughout the literature but also shows that a consistent and sustained focus on emission quantification, reduction strategies, and carbon accounting frameworks has been kept in the literature. Just as often as these words are used, the words "energy," "system," "water," "production," "waste," and "footprint" are also used and with that, the authors of the papers show the multifaceted character of carbon footprint research which now covers energy systems, water management, industrial production chains, and waste processes.

Moreover, there are also other high-salience keywords such as "cost," "food," "environment," "consumption," "fuel," "impact," "model," and "soil", and these illustrate the methodological diversity and interdisciplinary depth of the field. These keywords along with their thematic interpretations are given in Table 1: Top 10 LDA Topics with Their Most Relevant Keywords and Thematic Interpretations listing the representative terms for each theme. The usage of these words indicates that the field covers such topics as Economic assessments, Consumption behavior, Agricultural systems, Resource efficiency, Environmental Impact Evaluation, Computational modeling. When carbon footprint research becomes one, the patterns of using the vocabulary reveal the interdisciplinary integration of the environmental sciences, engineering, economics, agriculture, and data-driven modeling that results in a research ecosystem which is both cohesive and evolving.

In sum, Figure 7 serves as an elaborate representation of the thematic diversity, structural interdependencies, and changing intellectual architecture of carbon footprint research at the same time. The figure makes clear the well-established conceptual core of the field, locates the specialised but less integrated subdomains, and demonstrates the multidimensional expansion of the literature over the last two decades.

Table 1. Top 10 LDA Topics with Their Most Relevant Keywords and Thematic Interpretations

Topic ID	Top Keywords
1	organic, manure, storage, retailer, litter
2	system, conventional, plantation, indoor, integrate
3	cut, mill, machine, agent, pellet
4	mining, iron, mine, mineral, pond
5	hydrogen, cell, supply, conceptual, proxy
6	energy, consumption, efficiency, renewable, reduce
7	carbon, footprint, dioxide, low, city
8	impact, environmental, life_cycle, assessment, production
9	policy, climate, change, household, mitigation
10	land, change, area, climate, forest

4. CONCLUSION

This is the most comprehensive and methodologically rigorous topic modeling analysis of carbon footprint research to date, this study combines 21,624 peer-reviewed articles published from 2002 to 2025. By uncovering 30 clear themes and analyzing their structural, temporal, and disciplinary patterns, the study maps the whole intellectual landscape of carbon footprint scholarship. The findings highlight an obvious and dynamic move from carbon footprint studies that looked at methodologies and sectors for the most part toward interdisciplinary, technologically informed, and system-level frameworks that cut across environmental sciences, engineering, policy analysis, digital technologies, and urban sustainability.

Four broad revelations arise from the analysis. Firstly, lifecycle assessment and emission quantification have been the core activities of the field. Secondly, the post-2010 growth into renewable energy transitions, climate governance, and mitigation policy reflects the impact of global climate agreements and the rise of institutional engagement. Thirdly, the spread of research in the areas of engineering, resource management, industrial systems, and socio-economic analyses, among others, highlights the field's concerted move towards interdisciplinary depth. The fourth and final point is that the swift increase in digital carbon footprint issues after 2020—mainly caused by the environmental impacts of the ICT sector, AI, and data-hungry technologies—indicates not only a major but also an increasingly rapid change in the domain.

At the core of it all, the study represents a thematic chart broad enough to direct future research agendas, and to enable scholars to discover gaps, emerging intersections, and less-explored topics. The results also help policy-makers and practitioners in understanding how scientific priorities change with technological advancements and climate policy commitments. Subsequent studies should look into digitalization, urban systems, and socio-behavioral factors more deeply while at the same time

broadening the geographical scope to reinforce global representativeness of carbon footprint assessments. The raising of interdisciplinary collaboration and the use of multi-scale analytical methods will, in the long run, be instrumental in the creation of more efficient, fair, and future-oriented carbon mitigation policies.

REFERENCES

- Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (2012). An Introduction to Text Mining. Mining Text Data (s. 1-10). Springer.
- Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: The dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, 67, 101677.
- Algabsi, S. E. (2021). Konu Modelleme ile Varlığından Bugüne Kadar Mobil Öğrenme Alanındaki Araştırmalardan Tema ve Trend Analizi. İstanbul: Atılım Üniversitesi.
- Barde, B. V., & Bainwad, A. M. (2017). An Overview of Topic Modeling Methods and Tools. 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) (s. 745-750). Madurai, India: IEEE.
- Blei, D. M. (2012). Probabilistic Topic Models. *Communications of the ACM*, 55(4), 77-84.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 993-1022.
- Calistus, U. C., Onyesolu, M. O., Doris, A. C., & Egwu, C. V. (2024). Exploring Latent Dirichlet Allocation (LDA) in Topic Modeling: Theory, Applications, and Future Directions. *Newport International Journal of Engineering and Physical Sciences*, 4(1), 9–16. <https://doi.org/10.59298/nijep/2024/41916.1.1100>
- Chang, I.-C., Yu, T.-K., Chang, Y.-J., & Yu, T.-Y. (2021). Applying Text Mining, Clustering Analysis, and Latent Dirichlet Allocation Techniques for Topic Classification of Environmental Education Journals. *Sustainability*, 13(19), 10856. <https://doi.org/10.3390/su131910856>
- Fernandes, S., & Bala, J. (2013). Performance Analysis of PCA-based and LDA-based Algorithms for Face Recognition. *International Journal of Signal Processing Systems*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.12720/ijsp.1.1.1-6>
- Güven, A., Özlü, C., & Bozkurt, Ö. Ö. (2007). Veri Madenciliğinin Geleceği. IX. Akademik Bilişim Konferansı. Kütahya.
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. *Environmental Science & Technology*, 43(16), 6414–6420.

- Hidalgo, D. B., Bennia, A., Naji, H., & Hernández, A. B. (2020). General review of air-conditioning in green and smart buildings. *Revista Ingenieria de Construcción*, 35(2), 192-202.
- Jackson, T. W., & Hodgkinson, I. R. (2023). Keeping a lower profile: how firms can reduce their digital carbon footprints. *Journal of Business Strategy*, 44(6), 363-370.
- Kavasoğlu, F. Z. (2013). *Kullanıcı Tarayıcı Geçmişine Dayanarak Müşteri Yorumlarının Özetlenmesi*. İstanbul: İstanbul Technical University Institute of Science.
- Lee, S., Kim, J., Lee, J., Lee, S., & Jeon, E. C. (2012). A study on the evaluations of emission factors and uncertainty ranges for methane and nitrous oxide from combined-cycle power plant in Korea. *Environmental science and pollution research international*, 20(1), 461-468. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1144-1>
- Ma, R., & Kim, Y. J. (2023). Tracing the evolution of green logistics: A latent dirichlet allocation based topic modeling technology and roadmapping. *PLOS ONE*, 18(8), Article e0290074. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290074>
- Ó Séaghdha, D., & Korhonen, A. (2014). Probabilistic Distributional Semantics with Latent Variable Models. *Computational Linguistics*, 40(3), 587-631. https://doi.org/10.1162/coli_a_00194
- Silge, J., & Robinson, D. (2017). *Topic Modeling. Text Mining with R: A Tidy Approach* (s. 89-108). USA: O'Reilly Media.
- Song, X., Du, S., Deng, C., Shen, P., Xie, M., Zhao, C., . . . Liu, X. (2025). Carbon emissions in China's steel industry from a life cycle perspective: Carbon footprint insights. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 650-664.
- Wang, Q., & Li, C. (2021). An evolutionary analysis of new energy and industry policy tools in China based on large-scale policy topic modeling. *PLoS ONE*, 16(5).

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

KARBON AYAK İZİ DİNAMİKLERİNİN KONU MODELLEME İLE İNCELENMESİ

Günümüzde, sürdürülebilir kalkınmanın önünde duran dünyanın en karmaşık ve acil sorunlarından bazıları küresel iklim değişikliği, çevresel bozulma, ekosistemlerin tahribi ve doğal kaynakların son derece hızlı tüketimidir. Bu çevresel sorunların özünde, sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı süreçleriyle artan insan faaliyetlerinden kaynaklanan havadaki sera gazı miktarındaki artış yatmaktadır. Karbon ayak izi kavramı, bireylerin, kuruluşların, ürünlerin, hizmetlerin, üretim süreçlerinin veya endüstrilerin doğrudan ve dolaylı faaliyetlerinin sonucu olan toplam sera gazı miktarını sayısal olarak tanımlayan önemli bir çevresel ölçüttür. Enerji üretimi ve kullanımı, fosil yakıtlara bağımlı endüstriyel faaliyetler, ulaşım sistemleri, lojistik ve tedarik zincirleri, tarımsal üretim süreçleri, hayvancılık, su

kullanımı, ormansızlaşma ve diğer arazi kullanım değişiklikleri ile atık yönetimi, karbon ayak izinin genişlemesine katkıda bulunan en yaygın alanlardan bazılarıdır. Bu tür insan faaliyetleri yalnızca küresel ortalama sıcaklığı artırmakla kalmaz, aynı zamanda iklim sistemlerinde bozulmalara, aşırı hava olaylarının sayısında artışa, biyoçeşitliliğin azalmasına ve ekosistem hizmetlerinin zayıflamasına da yol açmaktadır. Son yirmi yılda karbon ayak izini ölçme, izleme, modelleme ve azaltmaya odaklanan bilimsel araştırma makalelerinde, politika belgelerinde ve gerçek dünya uygulama planlarında büyük bir artış olmuştur. Buna rağmen, karbon ayak izi araştırma alanı, çevre bilimleri, mühendislik, enerji sistemleri, ekonomi, tarım, kamu politikası, kentsel ve bölgesel planlama, işletme, yönetim bilimleri ve sosyal bilimler gibi çok sayıda disipline uzanan oldukça çeşitli ve biraz da parçalı bir yapıya sahiptir. Alanın disiplinlerarası doğasının bu yaygın dağılımı, literatürde biriken bilginin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini, ana araştırma temalarının ve kavramsal grupların net bir şekilde belirlenmesini ve araştırma eğilimlerinin uzun vadeli gözlemlenmesini engellemektedir. Mevcut çalışmaların çoğu belirli bir sektöre, bölgeye veya metodolojik çerçeveye odaklanmaktadır. Ancak, karbon ayak izi araştırmalarındaki genel yapıyı, entelektüel çerçeveyi ve disiplinlerarası etkileşim düzeyini ortaya çıkarabilecek çok az sayıda büyük ölçekli toplama ve haritalama çalışması bulunmaktadır. Bu durum, araştırmacıların alanın mevcut bilgi tabanını sistematik olarak gözden geçirmelerini ve gelecekteki araştırma yönlerini sağlam temellere dayalı bir şekilde belirlemelerini zorlaştırmaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, büyük veri analitiği ve konu modelleme teknikleri aracılığıyla karbon ayak izi literatürünü incelemek, böylece öne çıkan temaları ortaya çıkarmak, temalar arasındaki yapısal ilişkileri aydınlatmak ve yıllar içindeki evrimlerini izlemektir. Bu amaca ulaşmak için toplamda 2002 ile 2025 yılları arasında yayınlanan 21.624 hakemli dergi makalesinin özetleri analiz edilmiştir. Veriler, disiplinlerarası kapsamı ve araştırma alanının mükemmel temsili nedeniyle Scopus veritabanından alınmıştır. Çalışmada yalnızca İngilizce olarak yayınlanan bilimsel makalelerin özetleri dikkate alınmıştır. Araştırmada metin madenciliği tekniği ve olasılıksal bir konu modelleme yaklaşımı olan Latent Dirichlet Allocation (LDA) kullanılmıştır. Analizden önce metinler, kapsamlı ve karmaşık çok aşamalı bir ön işleme sürecinden geçmiştir. Bu işlem sırasında metinler küçük harfe çevrildi, noktalama işaretleri, sayısal ifadeler ve anlamsal olarak daha az katkıda bulunan unsurlar kaldırıldı, genel ve alana özgü durdurma kelimeleri veri kümesinden çıkarıldı. Daha sonra, kelimelerin köklerini elde etmek için lemmatizasyon yapıldı ve nadir kullanılan ve aşırı sık kullanılan terimler silindi. Bunun yanı sıra, literatürdeki kavramsal bütünlüğü ve tematik tutarlılığı daha iyi temsil etmek için, ikili ve üçlü n-gram yapıları kullanılarak modelde sık görülen kelime grupları dikkate alındı. LDA modeline girilecek optimum konu sayısının belirlenmesi için tutarlılık, karmaşıklık ve yorumlanabilirlik kriterlerine dayalı kapsamlı bir optimizasyon prosedürü adım adım gerçekleştirildi. Bu değerlendirmelerin ardından, 50 konu modelinin tematik ayrım, kavramsal açıklık ve yorumlanabilirlik açısından en dengeli uzlaşma olduğu belirlendi. Her konu, temsili anahtar kelimeler, konuya özgü terimler ve örnek belgeler aracılığıyla ayrıntılı olarak çözümlendi ve daha sonra üst düzey tematik kümeler altında sınıflandırıldı.

Bu yöntem, karbon ayak izi literatürünün yalnızca sayısal büyüklüğünü değil, aynı zamanda kavramsal derinliğini ve yapısal organizasyonunu da ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın sonuçları, karbon ayak izi araştırmalarının, daha kapsamlı bir sistem bakış açısının benimsenmesi, geniş çaplı genişleme ve yıllar içinde derinleşme gibi birçok açıdan büyük bir ivme kazandığını yansıtmaktadır. Ele alınan konular genel olarak birak ana tematik gruba ayrılabilir: karbon ve emisyon yönetimi, enerji sistemleri ve enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları, düşük karbonlu teknolojiler, çevresel ve tarımsal etkiler, yaşam döngüsü değerlendirmesi, üretim ve tedarik zincirleri, tüketim davranışı, dijital teknolojiler ve sosyo-politik yaklaşımlar olmak üzere birak ana tematik küme altında toplanmaktadır. Üretim, enerji tüketimi ve emisyon azaltımı ile ilgili makaleler, kavramsal olarak akademik çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, karbon ayak izi literatüründeki konular arasında su kullanımı, atık yönetimi, arazi kullanımındaki değişiklikler, gıda üretimi, tarımsal faaliyetler ve hayvan yetiştiriciliğinin etkileri de dikkate değer bir şekilde ele alınmaktadır. Disiplinler arasında bir karşılaştırma yapıldığında, evre bilimleri literatürde açıkça en yaygın olanıdır; ancak mühendislik, enerji, ekonomi, yönetim bilimleri ve sosyal bilimlerin rolleri sürekli olarak artmaktadır. lke düzeyindeki analizler, in ve Amerika Birleşik Devletleri'nin niceliksel olarak karbon ayak izine hakim olduğunu; Avrupa lkelerinin ise metodolojik yenilikler, politika odaklı çalışmalar ve sürdürülebilirlik stratejileri konusunda belirgin bir şekilde ne çıktığını göstermektedir. Ayrıca, son zamanlarda dijitalleşmenin, bilgi ve iletişim teknolojilerinin, yapay zekanın, büyük veri analizinin ve akıllı sistemlerin çevresel etkilerine adanmış çalışmaların artması, karbon ayak izi araştırmasının yeni bir aşamaya ulaştığını göstermektedir. Bu araştırma, öncelikle karbon ayak izi literatürünün mevcut durumuna ve tarihsel gelişimine kapsamlı bir bakış sunarak, araştırmacılar disiplinini tematik bir haritasını sağlamaktadır. Ayrıca, politika yapıcılar, planlayıcılar ve uygulayıcılar tarafından alınan emisyon azaltımına ilişkin stratejik kararlar için bilimsel temeli güçlendirmektedir.