

JOURNAL OF ACADEMIC OPINION

Yıl/Year: 2025 Cilt/Volume:5 Sayı/Issue:2

e-ISSN: 2791-9447



academicopinion.org/

Sahibi / Owner

İlhan EROĞLU

Editör Kurulu / Editor Boards

İlhan EROĞLU

Mustafa Necati ÇOBAN

Nalan KANGAL

Fatih YETER

Alan Editörleri / Field Editors

Andreea Claudia SERBAN

(İktisat / Economics)

Ömer Faruk BİÇEN

(İktisat / Economics)

Murat TÜRK

(İşletme / Business)

Bahadır Sazak DOĞAN

(Maliye / Public Finance)

Serkan KEKEVİ

(Uluslararası İlişkiler / International Relations)

Yavuz ACUNGİL

(Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi /
Political Science and Public Administration)

Dil Editörü / Language Editor

Buğra KAŞ

Yayın Türü

Yaygın Süreli

İletişim / Contact

Tokat Gaziosmanpaşa University, Taşıciiftlik Campus, 60250

Tokat / TÜRKİYE

Tel : +90 (356) 252 16 16 (2382 / 2793)

Mail: info@academicopinion.org

Web: https://academicopinion.org/

e-ISSN: 2791-9447

JAO
Journal of Academic Opinion

Yıl / Year 2025

Cilt / Volume 5

Sayı / Issue 2

Journal of Academic Opinion altı aylık periyotta (Haziran - Aralık) yılda iki kez açık erişim ve ücretsiz e- dergi olarak yayımlanmaktadır.

Yayın ilkeleri ve etiği ile yazım kurallarına
https://academicopinion.org/ adresinden ulaşılabilir.

Journal of Academic Opinion is published twice a year in a six-month period (June - December) as an open access and free e-journal.

You can reach the publication principles and ethics and the writing rules at https://academicopinion.org/.



©Her hakkı saklıdır. Bu dergide yer alan yazı, makale, fotoğraf ve illüstrasyonların elektronik ortamlarda dahil olmak üzere kullanma ve çoğaltılma hakları Journal of Academic Opinion Dergisine aittir. Yazılı ön izin olmaksızın materyallerin tamamının ya da bir bölümünün çoğaltılması yasaktır. Makalelerde yer alan görüşler yazar(lar)ın kendi görüşüdür, derginin görüşü değildir. Ayrıca yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu da yazar(lara) aittir.

©All rights are reserved. Rights to the use and reproduction, including in the electronic media, of all communications, papers, photographs and illustrations appearing in this journal belong to Journal of Academic Opinion. Reproduction without prior written permission of part or all of any material is forbidden. The journal complies with the Professional Principles of the Press. The opinions expressed in the articles are the opinion of the author(s), not the opinion of the journal. In addition, the scientific and legal responsibility of the articles belongs to the author(s).



academicopinion.org/

Danışma Kurulu / Advisory Board

Çetin BEKTAŞ – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Drazena GASPAR – University of Mostar, Bosna Hersek
Fatih Coşkun ERTAŞ – Atatürk Üniversitesi, Türkiye
Ferda YERDELEN TATOĞLU – İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Fikret ADAMAN – Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye
Gülzar İBRAHİMOVA – Bakü Avrasya Üniversitesi, Azerbaycan
Halil SEYİDOĞLU – Uludağ Üniversitesi (Emekli), Türkiye
Kemal YILDIRIM – Anadolu Üniversitesi (Emekli), Türkiye
Mohammad Kabir HASSAN – University of New Orleans, ABD
Sebastian KOT – Czeszochowa University, Polonya

Bilim Kurulu / Science Board

Abdul RASHID – International Islamic University, Pakistan
Abdülkadir BULUŞ – Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye
Ali Yasin KALABAK – Yalova Üniversitesi, Türkiye
Andreea Claudia SERBAN – Bucharest University of Economic Studies, Romanya
Anıl BOZ – Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
Anna XHEKA – Aleksander Moisiu University, Arnavutluk
Arkadiusz MIRONKO – Indiana University East, ABD
Atif Aziz – Karachi Institute of Economics and Technology, Pakistan
Ayfer GEDİKLİ – Düzce Üniversitesi, Türkiye
Aykut Lenger – Ege Üniversitesi, Türkiye
Bahadır Sazak DOĞAN – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Baki DEMİREL – Yalova Üniversitesi, Türkiye
Burcu ÖZCAN – Fırat Üniversitesi, Türkiye
Bülent GÜNŞOY – Anadolu Üniversitesi, Türkiye
Bünyamin DEMİRGİL – Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye
Coşkun KÜÇÜKÖZMEN – İzmir Ekonomi Üniversitesi, Türkiye
Çetin BEKTAŞ – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Drazena GASPAR – University of Mostar, Bosna Hersek
Durmuş Çağrı YILDIRIM – Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye
Dzmitry MARUSHKA – Belarusian State University, Belarus
Ekrem ERDEM – Erciyes Üniversitesi, Türkiye
Elif Özlem ÖZÇATAL – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Erhan ASLANOĞLU – Piri Reis Üniversitesi, Türkiye
Fatih Coşkun ERTAŞ – Atatürk Üniversitesi, Türkiye
Fatih YETER – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Ferda YERDELEN TATOĞLU – İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Ferhat Devrim ZENGÜ – University of Alabama at Birmingham, ABD
Feridun YILMAZ – Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Fikret ADAMAN – Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye
Gholamreza ZANDI – University Kuala Lumpur, Malezya
Güler GÜNŞOY – Anadolu Üniversitesi, Türkiye
Gülbahar ATASEVER – Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Türkiye
Gulzhanat TAYAUOVA – Turan University, Kazakistan
Gündüz AKSU KOCATÜRK – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Halil SEYİDOĞLU – Uludağ Üniversitesi (Emekli), Türkiye
Haydar AKYAZI – Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye
İbrahim Adeolu BAKARE – Lagos State University, Nijerya
İbrahim Attila ACAR – İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Türkiye
İlhan EROĞLU – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
İlhan ÖZTÜRK – Nişantaşı Üniversitesi, Türkiye
İsmail EFİL – Uludağ Üniversitesi (Emekli), Türkiye
Jose Rafael Alvarado LOPEZ – Universidad Nacional de Loja, Ekvador
Kemal YILDIRIM – Anadolu Üniversitesi (Emekli), Türkiye
Mehmet Akif DESTEK – Gaziantep Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BÖLÜKBAŞ – Aydın Üniversitesi, Türkiye
Mehmet ÇINAR – Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Mehmet Fatih CİN – Çukurova Üniversitesi, Türkiye
Mehmet KENDİRCİ – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Mohammad Kabir HASSAN – University of New Orleans, ABD
Muhammad SHAHBAZ – Beijing Institute of Technology, Çin
Muhittin DEMİRAY – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Muhsin KAR – Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye
Murat TÜRK – Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Türkiye
Mustafa AYKAÇ – Marmara Üniversitesi, Türkiye
Nadir EROĞLU – Marmara Üniversitesi, Türkiye
Nalan KANGAL – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Nazife Özge BEŞER – Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Türkiye
Necdet ŞENSOY – İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye
Nikolina POPOVA – International Business School (Botevgrad), Bulgaristan
Nurettin ÖNER – Sağlık Bakanlığı, Türkiye
Oktay ÖZKAN – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Ömer Faruk BİÇEN – Balıkesir Üniversitesi, Türkiye
Rima FAYAD – Lebanese University, Lebanon
Sebastian KOT – Czeszochowa University of Technology, Polonya
Serkan KEKEVİ – Düzce Üniversitesi, Türkiye
Seyfettin ERDOĞAN – Medeniyet Üniversitesi, Türkiye
Tayfur BAYAT – İnönü Üniversitesi, Türkiye
Tetyana PİMONENKO – Sumy State University, Ukrayna
Ümit ŞİMŞEK – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Vedat KAYA – Atatürk Üniversitesi, Türkiye
Yavuz ACUNGİL – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Yong Chen CHEN – University Malaya, Malezya
Yusuf TEMUR – Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Zeynep KARAÇOR – Selçuk Üniversitesi, Türkiye

İÇİNDEKİLER \ CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Proje Çizelgeleme Problemlerinde Gri Kurt Optimizasyon Algoritması: Müze Tasarım Sektöründe Bir Uygulama

Grey Wolf Optimization Algorithm In Project Scheduling Problems: An Application In The Museum Design Sector

Semih VERGİ, Emre ASLAN..... 33 – 47

Housing Prices In Turkey: Macroeconomic Factors and Structural Changes

Türkiye’de Konut Fiyatları: Makroekonomik Faktörler ve Yapısal Değişimler

Hidayet DUZCU, Rüstem YANAR..... 48 – 56

Enerji Yoksulluğu, Gelir Dağılımı ve Makroekonomik İstikrar: Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Bir Değerlendirme

Energy Poverty, Income Distribution, and Macroeconomic Stability: An Evaluation from the Perspective of Sustainable Development

Yunus BUDAK..... 57 – 65

Tarımsal Gıda Sektöründe Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi: Taşköprü Sarımsağı Üzerine Matematiksel Modelleme Örneği

Vehicle Routing Problem with Time Windows in Agricultural Food Sector: Mathematical Modeling Example on Taşköprü Garlic

Fuat KARMAHMUTOĞLU, Adem TÜZEMEN..... 66 – 81

Digital Transformation and Economic Sustainability: A comparative analysis of Romania, Poland and Hungary

Dijital Dönüşüm ve Ekonomik Sürdürülebilirlik: Romanya, Polonya ve Macaristan’ın Karşılaştırmalı Analizi

Marta STOIAN, Maxim CETULEAN & Razvan BUJOR..... 82 – 87

Gelir Dağılımı Adaletsizliği ve İnsani Gelişme: Türkiye Üzerine Ampirik Bir İnceleme

Income Inequality and Human Development: An Empirical Analysis for Turkey

Ayşenur KAYA, Bünyamin DEMİRGİL..... 88 – 95

Embracing the Unruly: Rethinking Informal Settlements Through Shifting Perceptions

Asi Olanı Kucaklamak: Algıları Değiştirerek Gayri Resmi Yerleşimleri Yeniden Düşünmek

Ola K. ESMAIL..... 96 – 102



Proje Çizelgeleme Problemlerinde Gri Kurt Optimizasyon Algoritması: Müze Tasarım Sektöründe Bir Uygulama

Grey Wolf Optimization Algorithm In Project Scheduling Problems: An Application In The Museum Design Sector

¹ Semih VERGİ ² Emre ASLAN

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tokat / Türkiye, semihvergi@gmail.com
² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Tokat / Türkiye, emre.aslan@gop.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin proje yönetiminde karşılaştığı bir çizelgeleme problemine meta sezgisel algoritmalarla Gri Kurt Algoritması (GWO) yardımıyla çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmada ele alınan proje çizelgeleme problemine ilişkin 19 farklı etkinliğin tamamlanma süreleri, etkinliklerin hangi ekipler tarafından üstlenileceği, etkinliklere ilişkin öncüller ve problemde karşılaşılan kısıtlar bilinmektedir. İç mimari tasarımı ve sergi alanlarının oluşturulmasına yönelik işlemlerin ele alındığı çizelgeleme problemine tamamlanma süresinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Problemin verilerine ve problemin kısıtlarına yönelik Python programlama dilinde gri kurt algoritmasının çözümü elde edilmiştir. Bu operasyonel işlem için firma yetkilileri tarafından 260 gün(süre) tamamlanma süresi belirlenmiş, kritik yol (CPM) metodu ile de 242 gün(süre) olarak tamamlanma süresinin hesaplanması karşın uygulanan yöntem kısıtlar ve değişkenler çerçevesinde işlerin yeniden sıralamasını gerçekleştirerek 213 gün(süre) sonucuna ulaşmıştır. Bu sonuç belirlenen sürelerle kıyasla başarılı bir sonuç elde etmiştir. Bu yönüyle de müze tasarım sektöründe karşılaşılan gerçek bir operasyonel süreçte ait problemin başarılı bir sonuç elde edilerek çözülmesi araştırmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Proje Çizelgeleme, Çizelgeleme Problemleri, Meta Sezgisel Yöntemler, Gri Kurt Optimizasyonu

ABSTRACT

In this study, the aim is to address the scheduling problem encountered in the project management of a company operating in the museum design sector by utilizing the Grey Wolf Optimization (GWO) algorithm, a meta-heuristic approach. The completion times of 19 different activities related to the project scheduling problem addressed in the research, which teams will undertake the activities, the precedencies related to the activities and the constraints encountered in the problem are known. The scheduling problem, which focuses on the processes related to interior design and the creation of exhibition spaces, aims to minimize the completion time. The solution to the problem, along with its data and constraints, was obtained using the Grey Wolf Optimization algorithm implemented in Python. The company set a target completion time of 260 days, while the Critical Path Method (CPM) calculated a duration of 242 days. However, the applied GWO method reordered tasks within the framework of constraints and variables, achieving a completion time of 213 days. This outcome represents a successful result compared to the initially defined timeframes. Consequently, solving a real operational process problem in the museum design sector with a successful outcome highlights the originality of this research.

Keywords: Project Scheduling, Scheduling Problems, Meta Heuristic Methods, Grey Wolf Optimization

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 12 Nisan 2024

Kabul Tarihi: 02 Mart 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Semih VERGİ

ARTICLE INFOS

Article History

Received: April 12, 2024

Accepted: March 02, 2025

Article Type

Research Article

Corresponding Author

Semih VERGİ

1. Giriş

Proje, belirli bir amacı gerçekleştirmek için belirlenmiş bir zaman aralığında ve belirli bir bütçe çerçevesinde tamamlanması planlanan bir dizi faaliyetin gerekliliklerinin yerine getirdiği bir süreçtir. Planlanan her proje, belirli bir ihtiyacı karşılamayı hedeflediğinden projelerin kendine özgü problemlerinin üstesinden gelme ihtiyacı doğmaktadır. Büyük ölçekli projelerin etkin bir şekilde yönetilmesi,

zaman ve kaynakların doğru bir şekilde tahmin edilmesini gerektirir (Kurt, 2006: 2). Başarılı bir proje, belirlenen zaman, maliyet, kaynak ve performans kısıtları içinde hedeflere ulaşmalıdır. Günümüz iş dünyasında operasyonel işlemlere ilişkin alternatiflerin veya kısıtların artması ile proje yönetimi karmaşık ve dinamik hale gelmiştir. Proje yönetimindeki en önemli sorunlardan biri, bir dizi faaliyetin uygun bir biçimde bir araya getirilerek ve mümkün olan en kısa sürede tamamlanmasıdır. Bu yönü ile proje yönetiminde kullanılan araçlar önem arz etmekte olup en önemli etkenlerden biri

de operasyonların planlanmasında ortaya çıkan çizelgeleme problemlerinin verimli bir şekilde aşılmasıdır. Proje çizelgeleme problemleri, bir projenin belirli görevleri arasındaki sıralamayı, süreyi ve kaynak kullanımını optimize etmeyi amaçlayan matematiksel modellerdir. (Kurt, 2006: 2; Kolaylıoğlu, 2006: 450; PMI, 2017).

Araştırma proje çizelgeleme problemlerinde karşılaşılan kaynak kısıtlı, kesintili ve kesintisiz hibrit proje çizelgeleme problemlerinden bir örnek teşkil etmektedir. Ele alınan proje çizelgeleme problemi, müze tasarımı sektöründe temel operasyonlardan biri olan İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması işlemine ait olup bu sürece bağlı 19 farklı etkinlik bulunmaktadır. Her bir etkinlik belirli bir başlangıç ve bitiş süresine sahip olup işlemlerin öncülleri bulunmakta ve belirlenen ekipler tarafından tamamlanabilmektedir. Atanan ekipler çizelgeleme probleminde kaynak olarak ortaya çıkmaktadır. Kısıtlarda bulunan etkinliklerin koordineli yürütülmesi ya da kesintiye uğratılamayacak kesintisiz işlemlerin varlığı ve ekiplerin projede bulunma sürelerine ilişkin kısıtlar çizelgeleme probleminin hibrit yapıda olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Araştırmaya konu problem, firma tarafından gerçekleştirilen projelere yönelik gerçek bir hayat problemi olup, araştırmanın amacı projenin tamamlanma süresini minimize etmektir.

Araştırmada kullanılan yöntem ise Mirjalili ve çalışma arkadaşları tarafından 2014 yılında geliştirilen gri kurt algoritması (Grey Wolf Optimizer) yöntemidir. Yöntem doğadan ilham alan meta sezgisel algoritmalarından olup gri kurtların avlanma stratejisine göre geliştirilmiştir. Meta sezgisel algoritmalar kullanım yönü itibarıyla kendine has dinamikleri ve kısıtları olan problemlere uygulanmakta olup NP Zor nitelikte problemlere hızlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmesiyle ön plana çıkmaktadır (Mirjalili vd., 2014: 46).

Çalışma beş bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde giriş kısmı yer almaktadır. İkinci bölümde karşılaşılan proje çizelgeleme problemlerine yönelik kavramsal çerçeveye ve literatür araştırmasına değinilmiştir. Üçüncü bölümde probleme ilişkin bilgi ve veriler ortaya konarak problemin çözümüne yönelik uygulanacak yöntem hakkında bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölüm bulgularla ilgili bilgi ve açıklamalardan oluşmaktadır. Algoritma, Python programlama dilinde kodlanarak belirlenen performans kriterlerine kıyasla başarılı bir sonuç elde etmiştir. Algoritmanın çözümü ile elde edilen sonuçlar ise son bölümde yorumlanmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde, proje çizelgeleme problemleri, meta sezgisel yöntemler ve literatürde bulunan benzer araştırmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Proje Çizelgeleme

Proje yönetiminin önemli bir unsuru olan çizelgeleme, etkinlik ve verimliliği artıran kritik bir planlama sürecidir. Çizelgeleme sürecinde, faaliyetler arasındaki öncelik ve sıra ilişkilerinin belirlenmesi, kaynakların tahsisi ve faaliyet sürelerinin hesaplanması gibi adımlar yer almaktadır. Bu süreç, projenin zamanında tamamlanması ve kaynakların verimli kullanılması gibi hedeflerin gerçekleşmesini sağlayarak proje sürecine önemli katkılar sağlamaktadır (Kurt, 2006: 2-6; Kolaylıoğlu, 2006: 450-452). Çizelgeleme problemleri, görevlerin belirli kısıtlar altında nasıl planlanacağını belirlemeye odaklanmaktadır. Bu problemler, görevlerin başlangıç ve bitiş zamanları, görevler arası bağımlılıklar ve kaynak kısıtları gibi temel kavramları içermektedir. Genellikle, proje tamamlanma süresini en aza indirmek veya kaynak

kullanımını maksimize etmek gibi hedefler doğrultusunda optimizasyonlar sağlanmaktadır. Başarılı bir çizelgeleme, projenin kalite, zaman ve maliyet yönünden hedeflerine ulaşmasına hizmet etmektedir. (Demeulemeester ve Herroelen, 2002: 3-7).

2.2. Meta Sezgisel Yöntemler

Meta sezgisel yöntemler çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan ve araştırmacılar arasında karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde büyük ilgi gören yöntemlerdendir. Bu yöntemler, belirli bir problemi çözmek için kullanılan sezgisel algoritmaların parametrelerini optimize etmek veya performanslarını artırmak için doğadan ilham alarak ya da geçmiş verileri kullanarak başka bir sezgisel yaklaşımın kullanılmasına yönelik olup, sezgisel algoritmaların optimize edilmesini ve performanslarının artırılmasını hedeflemektedir. Bilgisayar bilimi, mühendislik, ekonomi, tıp ve daha birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan meta sezgisel yöntemler, uyumlanma ve esnek yapısıyla etkili bir çözüm aracı olarak görülmektedir (Glover ve Kochenberger, 2006: 1-6).

Meta sezgisel yöntemler, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Doğadan esinlenen yöntemler arasında genetik algoritmalar, karınca kolonisi optimizasyonu, gri kurt algoritması optimizasyonu vb. yöntemler yer alırken, doğadan esinlenmeyen yöntemler; benzetimli tavlama ve tabu arama gibi teknikleri içermektedir. Ayrıca amaç fonksiyonlarının dinamik ya da statik olması bakımından da kategorize edilebilmektedir. Komşuluk yapısına dayanan teknikler ise belirli bir çözüm etrafındaki potansiyel çözümleri incelerken, değişken komşuluk yapısına sahip yöntemler daha esnek bir arama stratejisi benimsemektedir. Hafıza kullanımı da önemli bir ayırt edici özellik olup, tabu arama gibi bazı yöntemler geçmiş bilgileri kullanarak arama sürecini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca tek çözüme dayalı meta sezgisel yöntemler genellikle bireysel çözümleri optimize etmeye odaklanırken, karınca kolonisi optimizasyonu gibi toplum tabanlı yöntemler bir grup ajan arasındaki etkileşimlerden yararlanmaktadır (Blum ve Roli, 2003: 4).

Bu bağlamda proje yönetimi ve proje çizelgeleme gibi alanlarda problemlerin özellikleri ve meta sezgisel yöntemlerin güçlü yönleri uygulanabilirliği açısından önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. En yaygın kullanılan meta sezgisel yöntemler arasında Benzetimli Tavlama, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tabu Arama ve Genetik Algoritmalar yer almaktadır. Meta sezgisel yöntemlerin proje yönetimi ve çizelgeleme alanında kullanımı, geniş veri setleriyle yapılan deneyler ve gerçek dünya uygulamaları ile desteklenmesi, yöntemlerin bu süreçlerde önemli bir potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir (Kolisch ve Hartmann, 2006: 23-27: 4-7; Vanhoucke, 2012: 4; Burke ve Kendall 2005: 5).

2.3. Literatür Taraması

Bu bölümde araştırma problemlerine ve araştırma yöntemine benzer nitelikte literatürde yer alan spesifik ve genel kabul görmüş araştırmalara yer verilmiştir.

Brucker vd. (1999), kaynak kısıtları altında zaman kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini ele alan bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada, görevlerin belirli bir süre içinde tamamlanması, kaynakların kullanılabilirliği ve diğer kısıtlar göz önüne alınarak problem optimize edilmiştir.

Rasmussen ve Sorensen. (2000), karmaşık proje çizelgelerinin zaman kısıtlarını ele alan genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntem ile, büyük ölçekli projelerin zaman

kısıtlarına uygun olarak çizelgelenmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Hartmann (2001), tarafından yapılan araştırmada, yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların yer aldığı çizelgeleme problemleri açısından meta sezgisel yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın geliştirmiş olduğu yaklaşım literatürde raporlanmış olan üç sezgisel yöntemle kıyaslanmıştır. İleriye sürülen yeni yaklaşımın, en iyi proje süresine yönelik ortalama sapma kriterine göre kıyaslama yapılan üç sezgisel yöntemden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Brucker ve Kampmeyer (2005) gerçekleştirdikleri araştırmada, çizelgeleme problemleri için geliştirilen Tabu Arama algoritmalarının etkinliği değerlendirilmiştir. Araştırma, farklı komşuluk yapılarına dayalı stratejilerin karşılaştırmalı analizini sunmakta; özellikle blok temelli komşulukların çözüm kalitesi ve hesaplama süresi açısından dengeli performans gösterdiğini vurgulamıştır. Elde edilen bulgularla, önerilen yöntemlerin çevrim süresi minimizasyonunda başarı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ruiz ve Stützle (2007) tarafından yapılan çalışmada, çizelgeleme problemlerinden bir örneğe yeni bir algoritma çözümü sunmuşlardır. Yazarlar, geliştirmiş olduğu algoritmanın benzer yöntemler karşısında performansını kıyaslayıp, algoritmanın bu tip problemlere kolayca uygulanabilir olduğunu ele almışlardır. Genetik algoritmalar ile tabu aramanın birleştirilmesinin çözüm kalitesini artırdığını vurgulamışlardır. Meta sezgisel yöntemlerin inşaat projeleri, yazılım geliştirme ve ürün geliştirme gibi geniş bir uygulama yelpazesinde başarıyla kullanıldığı ortaya konulmuştur.

Jiang ve Zhang (2018), "Application of Grey Wolf Optimization for Solving Combinatorial Problems: Job Shop and Flexible Job Shop Scheduling Cases" başlıklı çalışmalarında, gri kurt algoritmasının iş atölyesi ve esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerine uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışma, GWO'nun kombinatoriyal optimizasyon problemlerindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, GWO'nun her iki çizelgeleme probleminde de rekabetçi performans sergilediğini ve diğer meta sezgisel algoritmalarla karşılaştırılabilir sonuçlar elde ettiğini göstermektedir.

Ebesek ve Yaman (2019) çalışmalarında geliştirdikleri algoritmayı PSPLIB problemleri üzerinden sınamışlar; problemlerinin çözümü sonucunda elde edilen J30 ve J60 problemlerinin ortalama sapma değerleri aynı çözüm sonuçlarını veren diğer çalışmalarla birlikte en üst banatta yer aldığı gözlemlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlarda J120 problemlerinde ise altıncı sırada yer almıştır.

Tolouei ve Moosavi (2020), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, uzun vadeli üretim çizelgeleme problemlerinin çözümünde gri kurt algoritmasını augmented lagrangian relaxation (ALR) yöntemiyle entegre ederek hibrit bir model sunmuşlardır. Bu yaklaşım, problem çözüm performansını artırmayı ve yakınsamayı hızlandırmayı hedeflemiştir. Önerilen model, yarasa algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma gibi meta sezgisel yöntemlerin entegrasyonu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. GWO'nun ALR yöntemine entegrasyonu ile yerel optimumda sıkışmayı azaltmış ve daha yüksek kaliteli çözümler üretmiştir. Sonuçlar, net bugünkü değer, ortalama cevher tenörü ve işlem süresi açısından daha üstün performans sergilendiğini göstermektedir.

Yılmaz vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen "Investigating Multi-Objective Time, Cost, and Risk Problems Using the Grey Wolf Optimization Algorithm" başlıklı araştırmada, zaman, maliyet ve risk unsurlarını aynı anda optimize etmeyi hedefleyen çok amaçlı problemleri çözmek için Gri Kurt Optimizasyonu algoritmasının uygulanabilirliğini test edilmiştir. Araştırmada, standart çok amaçlı

veri setleri üzerinde yapılan testlerde, GWO algoritmasının optimal çözümler üretmede etkili olduğu ve çözüm uzayını dengeli bir şekilde taradığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada, 11 faaliyetli ve 13 faaliyetli iki farklı veri seti üzerinde sonuç elde edilmeye çalışılmış ve özellikle 13 faaliyetli veri setinde kıyaslanan başka bir meta sezgisel yöntemle göre (Parçacık Sürü Optimizasyonu) %10 oranında daha verimli bir sonuç elde edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca, GWO'nun zaman, maliyet ve risk odaklı çok amaçlı problemler için etkili bir araç olduğu ve farklı mühendislik ve yönetim alanlarında uygulanabilirliğini kanıtladığı savunulmaktadır.

Huang vd. (2024) tarafından bulut bilişim ortamlarında görev zamanlama probleminin optimizasyonuna yönelik gerçekleştirilen araştırmada, Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasını yeni bir kodlama mekanizması ile geliştiren yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. Araştırma, kaynak kullanımını optimize etmeye ve toplam görev tamamlama süresini (makespan) minimize etmeye odaklanmıştır. Çeşitli bulut görev zamanlama veri setleri üzerinde yapılan testlerde, önerilen yöntem, kıyaslama yapılan tamamlanma süresi değerini %25,7 oranında minimize etmeyi başarmıştır. Ayrıca meta-sezgisel algoritmalarından (PSO) ile kıyaslandığında ise %18,3 oranında daha iyi sonuç vermiştir. Araştırmada, yeni kodlama mekanizmasının optimal çözüme ulaşmak için gereken iterasyon sayısını ortalama %30 oranında azaltarak algoritmanın yakınsama hızını önemli ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, yöntemin dinamik ve büyük ölçekli görev zamanlama senaryolarında son derece uygun olduğunu ve bulut kaynaklarının verimli kullanılmasını sağladığını vurgulamaktadır.

Çorumlu vd. (2024) yaptıkları bir araştırmada, proje çizelgeleme problemlerine ilişkin olarak bulanık doğrusal programlama yaklaşımıyla yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada, özellikle yazılım projelerinde belirsizliklerin yönetilmesi amacıyla bulanık doğrusal programlama modelinin nasıl uygulanabileceği ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Geliştirdikleri model, projede farklı görevler arasındaki bağımlılıkları, belirsiz görev sürelerini ve kaynak kısıtlarını dikkate almıştır. Araştırmada, üyelik dereceleri azaldıkça proje tamamlanma sürelerinin kısaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zhou vd. (2024) gerçekleştirdikleri araştırmada esnek iş akışı çizelgeleme problemlerinde optimuma ulaşmak için Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonunu (SS-GWO) uygulamıştır. Araştırmada, GWO'nun temel yapısı, hız ve doğruluk açısından iyileştirilmiş, özellikle çözüm arama aşamasında daha dengeli bir global ve lokal arama stratejisi önerilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setleri, esnek iş akışı çizelgeleme probleminin standart örneklerini içermektedir ve bu veri setlerinde her iş için farklı makinelerde işleme süreleri ve sıralama kısıtları dikkate alınmıştır. Araştırmanın sonuçları, SS-GWO algoritmasının, geleneksel GWO'ya kıyasla daha düşük toplam üretim süresi (makespan) ve daha hızlı yakınsama sağlandığını ortaya koymaktadır. Örneğin, belirli bir veri seti üzerinde SS-GWO algoritması ile elde edilen sonuçlar geleneksel GWO sonuçları ile kıyaslanmış ve tamamlanma süresinin %19 ve %37 oranında azaldığı ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca, farklı parametre kombinasyonları ile yapılan deneyler, algoritmanın çeşitli problem büyüklüklerinde ve karmaşıklık düzeylerinde başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Chen vd. (2025) çalışmalarında, sıralamaya bağlı kurulum sürelerine sahip ortak akış tipi atölye çizelgeleme problemlerine GWO'ya dayalı bir model uygulamışlardır. Çalışma, bu problemin karmaşıklığını göz önünde bulundurarak algoritmayı özellikle hem yerel hem de global arama yeteneklerini iyileştirecek şekilde geliştirmiştir. Sonuçlar, algoritmanın toplam tamamlanma süresini (%10-15 oranında) azaltmada ve işleme verimliliğini artırmada

geleneksel optimizasyon yöntemlerinden daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, algoritmanın, farklı boyutlardaki problemler için çözüm yakınsama hızını artırdığı ve yerel optimumda sıkışma problemini minimize ettiği belirtilmiştir. Özellikle büyük ölçekli problemler üzerinde yapılan deneylerde, çözüm kalitesinin ve işlem süresinin başkaca meta sezgisel yöntemlere (örn. Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma) kıyasla daha üstün olduğu kanıtlanmıştır.

Araştırmanın problemini oluşturan hibrit proje çizelgeleme problemlerinde özellikle meta sezgisel algoritmaların karmaşık projelerin zaman kısıtlarına uygun olarak çizelgelenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olduğunu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra bu tip problemlerinin çözümü, problem boyutu ve karmaşıklığına bağlı olarak zorlu olabilmektedir. Büyük ölçekli projelerde, doğru çözümü bulmak genellikle zaman ve hesaplama gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar ve yöneticiler bu problemler üzerine daha etkili çözüm yöntemleri geliştirmek için farklı yöntemlerin uygulanabilirliğini sınamaya ihtiyaç duymaktadır (Kolisch ve Hartmann, 2006: 23-37).

3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde çalışmanın uygulama problemi ve amacı tanımlanarak, problemin çözüm yöntemi olarak belirlenen meta sezgisel algoritmalarla gri kurt algoritması hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

Araştırmada müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın gerçekleştirmiş olduğu bir projeden elde edilen verilerle özgün bir proje çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Veriler firma yetkililerinden elde edilmiş olup ayrıca araştırmacı tarafından gözlem yoluyla teyit edilmiştir. Proje, Şekil 1’de gösterilen 5 temel operasyonel işleme sahip olup ele alınan operasyonel süreç “İç Mimari Tasarımı Ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması” işlemine aittir. Bu operasyonel işlemde 19 farklı etkinliğin planlanan süreleri bilinmektedir. Etkinlikler uzmanlık alanlarına göre 7 farklı ekip tarafından yönetilmektedir. Ekipler aynı anda birden fazla işlemi yüklenemezler (müze araştırmacıları hariç) ve operasyonel süreçler içerisinde farklı projelerde olma yükümlülükleri olduğu için işe başlangıç ve iş sonlandırma sürelerinde belirli kısıtlar mevcuttur. Yöneticiler tarafından etkinliklerin planlama sürelerinin 260 gün

olarak belirlenmesine karşın çizelgelemenin daha verimli yapılması sonucunda bu sürenin daha da kısalacağı düşünülmektedir.

3.1.1 Araştırmaya İlişkin Veriler

Araştırma verilerine ilişkin bilgiler firmanın daha önceden gerçekleştirmiş olduğu projelere yönelik deneyimlerinden ortaya çıkmış olup araştırmada ele alınacak operasyonel süreçle ilişkin etkinliklerin tamamlanma süreleri, etkinliklerin atandığı ekipler ve etkinliklere ilişkin öncül etkinlikler bilinmektedir.

Müze Tasarımında Projenin Tamamlanmasına Yönelik 5 Temel Operasyon Şekil 1’de ifade edilmiştir. İşin Teslim Süresi: 545 gün olarak belirtilmiştir. Projenin tamamlanma süresinde temel operasyonel işlemlerden, restorasyon, makina tesisatı, elektrik tesisatı ve peyzaj işlemleri iş akışında öncelik sıralaması bakımından iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işinden önce yapılacak olup, bu süreçle ilişkin tamamlanma süresi 260 gündür.

Şekil 1

Proje Yönetiminde Temel Operasyonel İşlemlerin Tamamlanma Süreleri ve Öncelik Sıralamaları



Proje sürecinde işlem süresi en uzun süreç İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması işlemidir. Bu süreçle yönelik alt işlemler ve işlemlerin atandığı ekipler Tablo 1 yardımıyla ifade edilmektedir.

Tablo 1

Etkinliklerin Sembolleri ve Etkinlikleri Üstlenen Ekipler

Etkinliklere Atanan Semboller	Etkinlik Açıklamaları	Etkinliklerin Atandığı Ekipler
A	Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması	Müze Araştırmacıları
B	İçeriklerin Oluşturulması ve Metinlerin Yazılması	Müze Araştırmacıları
C	Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması	Medya Ekibi
D	İngilizce İçerik İçin Videoların ve Teknolojik Sunumların Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
E	Pano Metinlerinin İngilizce Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
F	Sözlü Tarih Video Çekimlerinin Yapılması	Medya Ekibi
G	Sözlü Tarih Video Kayıtlarının Kurgu ve Montajının Yapılması	Medya Ekibi
H	Görsel Panoların Grafik Tasarımlarının ve Uygulamalarının Yapılması	Grafik Tasarım Ekibi
I	Görsel Panoların Baskı İmalatlarının Yapılması ve Yerine Uygulanması İşleri	Reklam ve Baskı Ekibi
J	Yönlendirmelerin İmalatlarının Yapılması ve Yerine Montaj Yoluyla Konulması İşleri	Teknik Ekip
K	Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması	Heykel ve Maket Ekibi

L	Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması	Teknik Ekip
M	Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Teknik Ekip
N	Dekor, Canlandırma ve Maketlerin İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Heykel ve Maket Ekibi
O	Aydınlatma Elemanları	Teknik Ekip
P	Video Prodüksiyonları	Medya Ekibi
R	Teknolojik ve Elektronik Sunum Uygulamaları	Teknik Ekip
S	Yazılımların Oluşturulması ve Teknolojik Cihazlara Entegrasyonu	Yazılım Ekibi
T	Dokunmatik Bilgisayarların ve Projeksiyonların Temini, Montajı ve Yazılım Entegrasyonu	Teknik Ekip

Tablo 1’de belirtildiği üzere “İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması” operasyonunda 19 farklı etkinlik bulunmaktadır. Bu etkinlikler araştırmada ele alınan sürecin tamamlanması için gerçekleştirilmesi gereken işlemler olarak ortaya çıkmaktadır. Problemin çözümünde kolay anlaşılabilirliği ve parametrelerde karmaşıya yol açmamak adına etkinlikler A’dan T’ye kadar alfabetik şekilde sıralanarak sembolleştirilmiştir. Ayrıca tasarım firmasına bağlı 7 farklı ekip (Müze Araştırmacıları, Medya Ekibi, Grafik Tasarım Ekibi, Teknik Ekip, Reklam ve Baskı, Heykel ve Maket Ekibi, Yazılım Ekibi) olup, her bir etkinliğe bir ekip atanmıştır. Ekipler uzmanlık alanlarına göre farklı etkinliklere atanmış olup, uzmanlıkları dışındaki etkinliklere atanma durumları söz konusu değildir.

Tablo 2

Etkinliklerin Öncülleri ve Tamamlanma süreleri

Etkinlik	Etkinliklerin Öncülleri	Etkinliklerin Planlanan Süreleri (Gün)
A	-	30
B	A	15
C	A	5
D	C	7
E	C, D	4
F	E	5
G	B	15
H	E	10
I	B	30
J	B	50
K	B	40
L	K	17
M	J, L	7
N	I, K	22
O	N	25
P	O	45
R	P	10
S	M, N	10
T	S	5

Tablo 2’de etkinliklere ait öncüller verilmiştir. Öncül etkinlikler, ardılı olan etkinliğin başlangıç yapabilmesi için tamamlanması gereken etkinlikler olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin, A (Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması) etkinliği B (İçeriklerin Oluşturulması ve Metinlerin Yazılması) ve C (Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması) etkinliğinin öncülü olarak yer almaktadır.

Müze araştırmacıları tarafından içerik araştırmaları işlemi tamamlamadan yine müze araştırmacıları tarafından üstlenilen içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması etkinliği ve medya ekibi tarafından video prodüksiyon senaryolarının yazılması etkinliğinin başlangıç yapması mümkün değildir. Bu tür etkinlikler birbirlerine bağlı etkinliklerdir. Ayrıca Tablo 2’de bu etkinliklere yönelik planlanan kesin süreler bilinmektedir. Sürelerin sabit olmasının sebebi müze tasarım sektöründe gerçekleştirilen projelerin genellikle kamu ihaleleri olması sebebiyle ihale gerçekleştirme süreleri sıkı şartnamelere bağlanmış ve tamamlanma sürelerinde esneklik gerçekleştirmeye müsait olmamasıdır. Bu sebeple firma yöneticileri etkinliklere yönelik kesin süreler atamıştır.

3.1.2 Araştırma Problemine Yönelik Kısıtlar

Proje yönetimi, projelerin belirlenen zaman, maliyet ve kalite hedeflerine ulaşmasını sağlamak amacıyla çeşitli kısıtlar altında yürütülen bir süreçtir. Proje yöneticileri, genellikle projelerin özgün ve dinamik kısıtlar gibi temel zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Kerzner, 2017: 1). Bu kısıtlar, projenin kapsamını, faaliyetlerin sıralanışını ve karar alma süreçlerini önemli ölçüde etkiler. Özellikle müze tasarımı gibi çok disiplinli projelerde farklı disiplinlerdeki uzman ekipler arasındaki uyumun sağlanması gibi özel kısıtlar söz konusu olabilmektedir. Bu tür projelerde, tasarım süreçlerinin başarılı olması, kısıtların dikkatlice değerlendirilmesi ve yönetilmesi ile mümkün hale gelmektedir (Falk ve Dierking, 2013:1-7). Bu bağlamda araştırmada ele alınan çizelgeleme probleminin de kendine has kısıtları bulunmaktadır. Kısıtlara yönelik bilgiler aşağıda açıklanmıştır:

Tablo 2’de verilmiş olan öncül işlemler problemin kısıtlarından bir olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca firma yetkililerinin geçmiş verileri inceleyerek öncül olarak belirledikleri etkinliklerin bazılarında esneklik yapabileceklerini ve koordineli çalışma ile tamamlanma süresinde azalma yaşanabileceğini uygun görmeleri sonucunda etkinliklerin bazı katı ve esnek işlemler olarak ayrıldığı tespit edilmiştir.

Katı işlemler öncüllük kurallarının kesinlikle esnetilemeyeceği, öncül olan etkinlik tamamlanmadan ardıl etkinliğin iş başlangıcı yapamayacağı etkinlikleri temsil etmektedir. Katı işlemler Tablo 3’te sunulmuştur. Bu etkinlikler öncül ve ardıl etkinliklerin tamamlanma süreçlerinin birbirine sıkı sıkıya bağlandığı işlemler olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin, Tablo 3’te görüldüğü üzere, heykel ve maket ekibi tarafından “Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması” (K) etkinliği bitmeden, teknik ekip tarafından “Ünitelerin İmalat Ve Montajının Yapılması” (L) etkinliğinin başlaması mümkün değildir.

Tablo 3

Katı İşlemler

Etkinlik	Öncül Olarak Kesinlikle Tamamlanması
----------	--------------------------------------

C	A
D	C
F	E
H	E
I	B
J	B
K	B
L	K
P	O
S	M, N

Tablo 4
Esnetilebilir İşlemler

Etkinlik	Öncül (Koordineli Başlatılabilecek İşlemler)	Öncül Uzama Süresi (Gün)	Ardıl Uzama Süresi (Gün)
B	A	3	5
D	B	5	-
E	C	-	1
G	F	-	1
M	L	3	1
N	I	-	4
O	N	-	3
R	P	-	4
T	S	2	-

Tablo 4'te esnetilebilir veya koordineli çalışmaya müsait olan etkinlikler sunulmuştur. Bu etkinliklerin öncülleri arasında Tablo 3'te verilen etkinlikler gibi sıkı bir yapı olmadığından koordineli yürütülmesi veya kesintiye uğratılması söz konusu olabilmektedir. Ancak esneklik uygulanması etkinlikler arasında hazırlık süreçleri veya ayarlama süreçleri olduğundan etkinliklerin sürelerinin uzaması söz konusu olabilmektedir. Bu süreler faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin direkt olarak artması gibi faaliyet başlangıçlarından önce veya bitişlerinden sonra boşluk süreleri olarak da meydana gelebilmektedir. Örneğin, "Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları" (M) etkinliğinin öncül etkinliği "Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması" (L) etkinliğidir. M etkinliğinin L etkinliğinin bitiş süresi bitmeden koordineli başlatılabileceği ortaya çıkmıştır. Buna karşın bu esnekliğin sağlanması göze alındığı durumda M etkinliğinin süresinin 3 gün, L etkinliğinin süresinin ise 1 gün süre ile uzaması söz konusu olabilmektedir.

Tablo 5
Ekiplerin Mevcut Projede Bulunma Koşulları

Ekipler	Üstlenilen Etkinlikler	Özel Şartlar
Müze Araştırmacıları	A, B, D, E	60. Güne Kadar Etkinliklerin Tamamlanmış Olması Gerekir
Reklam ve Baskı Ekibi	I	95. Güne Kadar Etkinliklerin Tamamlanmış Olması Gerekir
Teknik Ekib	J, L, M, O, R, T	40. Günden Önce İş Başlangıcı Yapamazlar

Yazılım Ekibi	S	110. Günden Önce İş Başlangıcı Yapamazlar
---------------	---	---

Tablo 5'te ekiplerin atanmış oldukları etkinlikte de belirli kısıtlar söz konusudur. Ekipler aynı anda başka illerde bulunan projelere de yönlendirildiği için ele alınan projede belirli zamanlarda bulunma koşulları vardır. Örneğin teknik ekip 40. güne kadar başka projelerde görevlendirildiği için 40. günden sonra mevcut projeye başlayıp iş bitimine kadar bu projede görevlidir. Reklam ve baskı ekibi ise etkinliklerin başladığı tarihten 95.güne kadar projede üstlendiği etkinlikleri tamamlamak zorundadır. Medya Ekibi, Grafik Tasarım Ekibi, Heykel ve Maket Ekibi içinse bu durum açısından öncülleri dışında herhangi bir kısıt veya koşul tanımlanmamaktadır.

3.2. Araştırmanın Amacı

Dünyada ve ülkemizde özellikle son 5 yıl içerisinde özel statüde bulunan müzelerin artması, yeni bir sektörün ortaya çıkmasına ve bu alanda nitelikli projelerin değer görmesine yol açmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde 2022 yılında toplam müze sayısı 555 (özel statüde müze sayısı 341) ve aynı yılda toplam ziyaretçi sayısı 45.822.525 olarak belirtilmiştir (TÜİK, 2022). Özellikle özel statüde bulunan müze sayısının toplam müze sayısı içerisinde önemli bir oranda olması bu sektörde çalışma yapacak araştırmacılar ve sektörde faaliyet gösteren nitelikli personellerin faydalanacağı kaynak ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın literatürde az sayıda yerli ve yabancı kaynak bulunduğu gözlemlenmiştir. Araştırmada sektörde karşılaşılan gerçek hayat problemlerinden oluşan verilerle orijinal bir algoritma oluşturulmuştur. Ayrıca "NP Zor" nitelikte tanımlanacak çizelgeleme problemleri için meta sezgisel yöntemlerden biri olan gri kurt algoritması yöntemi ile "Python" yazılım programı tabanlı özgün bir model oluşturulmuştur. Bu yönü ile araştırma, yeni bir sektörde hem araştırmacıların hem de sektörde çalışan uzmanlara faydalanacakları yeni bir algoritma oluşturmayı hedeflemektedir. Ayrıca gri kurt algoritmasının araştırmaya ilişkin problemin yapısında olduğu gibi kombinatoriyal optimizasyon problemlerine de uyarlanabilir yapıda olduğunu göstermek araştırmanın bir diğer amacı olarak ortaya çıkmaktadır.

Müze tasarım sektöründe karşılaşılan problemlerin kendilerine has dinamikleri ve kısıtları bulunması sebebiyle hali hazırda proje çizelgeleme problemlerinde uygulanan Gantt Yöntemi, Kritik Yol Yöntemi vb. kendini ispatlamış yöntemlerin esnek ve dinamik problemler karşısında yetersiz kaldığı veya bu alandaki problemlerin optimumu arama uzaylarının geniş olması sebebiyle yeterli sayıda iterasyonun gerçekleştirilemediği düşünülmektedir. Yapılan çalışma ile geliştirilen algoritmanın hem gerçek bir yaşam problemine çözüm getireceği hem de sektörde karşılaşılan başkaca problemlere algoritmanın uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Bu yönleriyle araştırmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3.3. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmanın yöntemi, farklı tipte karmaşık problemlere çözüm önerileri getiren meta sezgisel yöntemlerden biri olan gri kurt optimizasyonu olarak belirlenmiştir. Yönteme ilişkin algoritma işleyişi problemin veri ve kısıtları ölçüsünde Python programlama dilinde kodlanarak çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca algoritmaya ilişkin sonucun kıyaslaması yapılabilmesi adına CPM yöntemi ile çözüm elde edilerek Gantt diyagramı yardımıyla bulgular bölümünde sunulmuştur. Çizelgeleme problemlerinde sıkça faydalanan CPM çözümüne başvurulmasının sebebi araştırma

verilerinin planlanan kesin sürelerin bilinmesi ve bu yöntemin çalışma verilerine uygun olmasından kaynaklıdır.

Bu kısımda GWO hakkında genel bilgilere değinilerek, yöntemin amacı ve çalışma sistemi hakkında bilgilere değinilmiştir.

3.3.1. Gri Kurt Optimizasyonu

Gri kurt optimizasyon algoritması, gri kurtların sosyal hiyerarşi liderliğinden ve avlanma davranışlarından esinlenerek optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. Sürü davranışlarını temel alan optimizasyon algoritmaları arasında sınıflandırılan GWO'nun diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla yerel optimumdan kaçınma konusunda üstün performans gösterdiği ve doğrusal olmayan, çok değişkenli ve çok modlu optimizasyon problemlerini çözmek için uygun bir stokastik yöntem olduğu belirtilmiştir. Mirjalili ve çalışma arkadaşları (2014) tarafından geliştirilen bu algoritma, gri kurtların avlanma davranışlarını ve sosyal hiyerarşik yapısını modellemektedir. Kurtların sosyal rollerinin ve bu rollerin avlanma üzerindeki etkilerinin matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır. GWO, sosyal hiyerarşi, avı

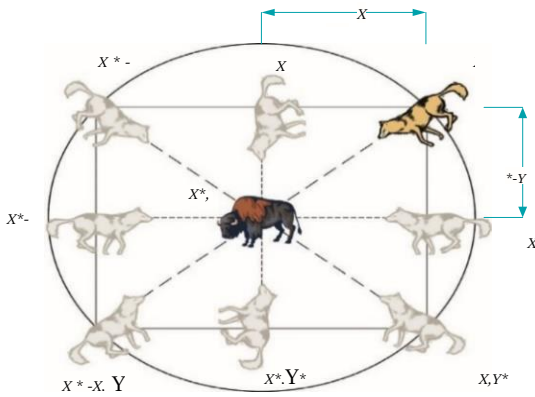
çevreleme, avlanma ve ava saldırma olmak üzere dört temel davranış modelini içermektedir. Mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi alanlarda çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. (Mirjalili vd., 2014: 46, Kadalia vd., 2017: 2)

Popülasyondaki bireyler, alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) olarak adlandırılan dört rolden oluşmaktadır. Lider takım ise en güçlü üç bireyi kapsamaktadır. Bu hiyerarşi düzeninde alfa sürünün en etkin bireyi olarak uyku, avlanma, dinlenme gibi önemli kararların alınmasında belirleyici rol oynamaktadır. Lider takımındaki diğer iki birey olan beta ve delta, hiyerarşi olarak omega bireyinden daha üstün durumda bulunurlar ve yönetme konusunda alfa bireyine yardımcı olurlar. Algoritma temel itibarıyla avın belirlenmesi, avın çevrelenmesi ve avlanma aşamalarından oluşmaktadır. (Jadhav ve Gomathi, 2018: 1569-1572). Bu aşamalar ve aşamalarda bulunan iterasyon işlemleri aşağıda belirtilmiştir:

Avı çevreleme: Sürü halindeki gri kurtların avlanma stratejisinin önemli bir aşaması avı çevrelemektir. GWO algoritmasının modellenmesinde bu aşamaya özen gösterilerek ele alınmıştır.

Şekil 2

Bir Bireyin Avı Çevreleme Sonucu Vektörel Olası Konumları



Kaynak: Mirjalili vd., 2014

Şekil 2 hiyerarşi içerisinde bulunan bir bireyin avı çevrelerken güncellediği vektörel değerleri göstermektedir. Avı çevrelemenin matematiksel modeli ise Formül (1), Formül (2) ve Formül (3) olarak aşağıda belirtilmiştir:

t iterasyon numarası,

$A^{\rightarrow}$ ve $C^{\rightarrow}$ sırasıyla elde edilen katsayı vektörleri,

$D^{\rightarrow}$ av ve kurt arasındaki vektör mesafesini,

p avın konumu,

$X^{\rightarrow}$ popülasyondaki herhangi bir bireyin mevcut konumunu ifade etmektedir.

$$X^{\rightarrow'} \quad (1)$$

$$(t + 1) = X^{\rightarrow'}$$

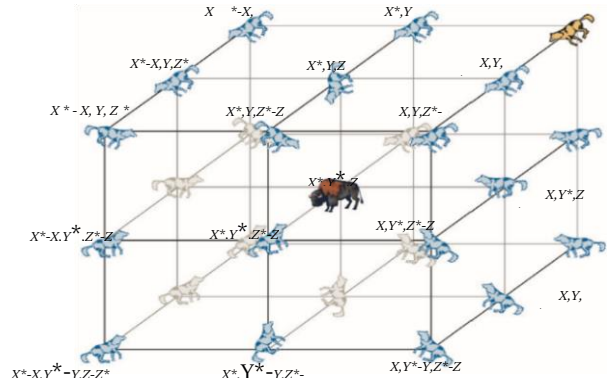
$$p(t) - A^{\rightarrow} \cdot D^{\rightarrow}$$

$$D^{\rightarrow} = |C^{\rightarrow} \cdot X^{\rightarrow}$$

$$p(t) - X^{\rightarrow}(t)|$$

$$X^{\rightarrow'} \quad (2)$$

$$(t + 1) = X^{\rightarrow'}$$



$$p(t) - A^{\rightarrow} \cdot D^{\rightarrow}$$

$$D^{\rightarrow} = |C^{\rightarrow} \cdot X^{\rightarrow}$$

$$p(t) - X^{\rightarrow}(t)|$$

$$A^{\rightarrow} = 2 \cdot \alpha \cdot r^{\rightarrow}1 - \alpha \quad (3)$$

$$C^{\rightarrow} = 2 \cdot r^{\rightarrow}2$$

α değeri iterasyona bağlı olarak - 2'den 0'a doğru doğrusal olarak düşen bir değişken (0 değerine yakınsama gerçekleştikçe elde edilen değer in optimuma yakın bir değer olduğu varsayılmaktadır.), $r1$ ile $r2$

[0 - 1] aralığında rastgele üretilen sayılardır. Şekil 2'de görüldüğü üzere gri kurtların avı çevreleme ve pozisyon güncelleme noktasında çözüm uzayında rastgele bir konum belirlenmesi ve her çözümünden sonra iyileme yaparak ava olan vektörel uzaklıklarında pozisyon değişikliği belirtilmiştir.

Avlanma: Sürüye liderlik eden üç baskın birey (alfa, beta ve delta) bulunmaktadır. Bu üç lider birey uygunluk değeri bakımından en iyi değere sahiptir ve popülasyondaki bireylerin ilerlemesi bu lider takımın denetiminde olmaktadır. Popülasyondaki bireyler avlanma esnasında lider takımın konumlarını göz önüne alarak ava doğru ilerlemektedir.

$$D^{\leftrightarrow} \alpha = |C^{\leftrightarrow} 1. X^{\leftrightarrow} \alpha - X^{\leftrightarrow}|, D^{\leftrightarrow} \beta = |\vec{C} 2. \vec{X} \beta - X^{\leftrightarrow}|, D^{\leftrightarrow} \delta = |C^{\leftrightarrow} 3. X^{\leftrightarrow} \delta - X^{\leftrightarrow}| \quad (4)$$

$$\vec{X} 1 = \vec{X} \alpha - \vec{A} 1. \vec{D} \alpha,$$

$$\vec{X} 2 = \vec{X} \beta - \vec{A} 2. \vec{D} \beta,$$

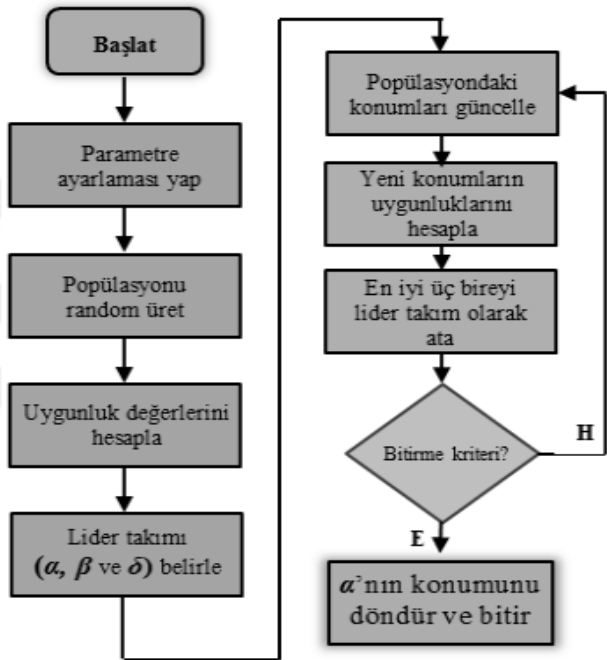
$$\vec{X} 3 = \vec{X} \delta - \vec{A} 3. \vec{D} \delta$$

$$\vec{X}(t+1) = X^{\leftrightarrow} 1 + X^{\leftrightarrow} 2 + X^{\leftrightarrow} 3$$

GWO'nun temel işleyişi, alfa, beta ve delta kurtları ile av arasındaki mesafe vektörlerinin Formül (4)'te belirtildiği şekilde hesaplanması ve bu vektörlerin kullanılarak yeni pozisyonların belirlenmesiyle avın konumuna doğru yakınsamadır. Bu süreç, belirli denklemler aracılığıyla matematiksel olarak modellenmiştir. Örneğin, alfa, beta ve delta kurtları ile av arasındaki mesafe vektörleri sırasıyla $D^{\leftrightarrow}$ olarak ifade edilirken, bu kurtların avın konumuna göre yeni pozisyonları $X^{\leftrightarrow}$ 1 vektörleriyle belirlenir ve sonrasında ortalama alınarak yeni konum vektörü $X^{\leftrightarrow}(t+1)$ hesaplanır. Bu yöntem, GWO'nun hızlı yakınsama özelliklerini ve uyumlanması gereken daha az kontrol parametresine sahip olmasını sağlamaktadır (Zhang ve Zhou, 2015: 2).

Şekil 3

Algoritmanın Akış Diyagramı



Kaynak: Karakoyun, 2021: 44

Popülasyon tabanlı algoritmaların birçoğunda olduğu gibi GWO algoritmasında da ilk popülasyon rastgele oluşturulmaktadır. Şekil 3'te belirtildiği üzere algoritmanın parametre düzenlemeleri yapıldıktan sonra arama uzayı sınırları çerçevesinde oluşturulan ilk popülasyon rastgele bir biçimde elde edilir. Oluşturulan popülasyondaki bireylerin uygunluk değeri hesaplanır. En iyi uygunluk değerine sahip olan üç değer alfa, beta ve delta olarak belirlenir. İlk popülasyon ve ilk lider takım bu sonuçla elde edilmektedir. Sonraki aşamada konum güncellemelerinin yapıldığı temel döngü başlatılır. Popülasyondaki tüm bireyler alfa, beta ve delta bireylerini öncü alarak konum güncellemesi yapar. Konum güncellemesinde lider takımın belirleyiciliği ile birlikte rassal olarak üretilmiş olan r1 ve r2 sayılarının ve iteratif biçimde doğrusal bir

düzende azalan α değerinin de etkisi mevcuttur. Popülasyonda bulunan bütün bireyler için konum güncellemesi ve uygunluk değerlerinin hesaplanması yapıldıktan sonra bulunan en iyi konum alfa, beta ve delta bireylerinin konumları olarak belirlenir. Ana döngüyü bitirecek olan şart gerçekleştiğinde ve tekrar eden sonuçlar elde edildiğinde alfa olarak belirlenen konum algoritmanın sonucu olarak verilir ve algoritma sonlandırılır. (Karakoyun, 2021:40-45)

Optimizasyona yönelik oluşturulan başlangıç kodu aşağıdaki gibidir:

Şekil 4

GWO Başlangıç Kodu

```

Başlangıç parametrelerini belirle

Başlangıç dağılımını rastgele oluştur

Çözümlerin uygunluk değerlerini hesapla

Dağılımdaki en iyi üç konumu alfa, beta ve delta olarak belirle

while !(bitirme kriteri)

  for i=1 to N //N popülasyondaki birey sayısını ifade eder

    i bireyin konumunu alfa, beta ve delta bireylerin konumuna göre uyumla

    Yeni konumun uygunluk değerini hesapla

  end // i=1 to N

  Bu süreçte kadar bulunan en iyi üç konumu lider takım olarak işaretle

end //Sonlandırma
  
```

Şekil 4'te verilen Gwo başlangıç koduna göre algoritmanın başlangıç adımında, çalışmayı yönlendiren tüm parametreler belirlenir. Bu parametreler arasında popülasyon boyutu (N), arama alanının sınırları, hedef fonksiyon ve algoritmanın sonlandırma kriterleri yer almaktadır. Popülasyon boyutu, çözümleri temsil eden bireylerin toplam sayısını ifade ederken, sonlandırma kriteri genellikle maksimum iterasyon sayısı veya bir hata tolerans seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Algoritmanın tanımında da yer alan bilgiler doğrultusunda İlk adımda çözümler, rastgele bir dağılım oluşturularak arama alanına yerleştirilmektedir. Ardından, her bireyin uygunluk değeri hedef fonksiyon aracılığıyla hesaplanır ve popülasyondaki en iyi üç çözüm, sırasıyla alfa, beta ve delta olarak işaretlenir. İteratif süreçte, her birey bu üç lider çözüme göre konumunu günceller ve yeni bir uygunluk değeri hesaplanır. Süreç, belirtilen sonlandırma kriteri sağlanana kadar devam eder ve her iterasyonda popülasyonun en iyi üç çözümü lider takım olarak güncellenir.

4. Bulgular

Araştırmaya yönelik bulgular, probleme yönelik veri ve kısıtların matematiksel ifadeler ve sembollere dönüştürülerek başlık 3.3.1. de ifade edilen algoritmanın çalışma işleyişine yönelik Python programlama dilinde kodlanması ile elde edilmiştir. Python, Guido Van Rossum tarafından 1991 yılında geliştirilen, açık kaynak kodlu, yüksek seviyeli ve nesne yönelimli bir programlama dilidir. Python'un basit sözdizimi, öğrenmeyi kolaylaştıran bir yapıya sahip olması nedeniyle kullanıcılarına çok çeşitli uygulama alanlarında esneklik sunmaktadır. Açık kaynak yapısı sayesinde kullanıcıların kendi modüllerini ve algoritmalarını geliştirmesine olanak tanımaktadır. Özellikle meta sezgisel algoritmaların farklı

problemlere özgü ihtiyaçlar doğrultusunda özelleştirilmesini kolaylaştırması açısından algoritmanın çözümlenmesi bu program yardımıyla yapılmıştır (Van Rossum & Drake, 2009: 1).

Bu Bölümde, algoritmanın çözümüne yönelik sonuçlar tablolar yardımıyla belirtilerek sonuçlara ilişkin bilgiler Gantt diyagramı yardımıyla görsel hale getirilmiştir. Bunun yanı sıra şematik gösterimlere de yer verilip açıklamaları sunulmuştur. Ayrıca Tablo 2’de verilen bilgiler doğrultusunda CPM yönteminin hesaplama adımları gerçekleştirilerek sonuçlar algoritmanın sonuçlarıyla kıyaslanabilmesi adına Gantt diyagramı yardımıyla sunulmuştur.

Tablo 6

Gwo Algoritma Sonucuna Göre Etkinliklerin Sıralanması ve Gerçekleşen İş Süreleri

Etkinlik	Başlama Önceliği	Süre(gün)	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
A	-	30	0	30
C	A	5	32	37
D	C	7	37	44
E	C, D	4	44	48
B	A	15	35	50
H	E	10	48	58
I	B	30	60	90
K	B	40	50	90
J	B	50	53	103
O	N	28	108	136
N	I, K	50	90	140
G	B	16	139	155
F	E	21	136	157
L	K	17	147	164
P	O	45	136	181
M	J, L	7	184	191
T	S	7	196	203
R	P	10	195	205
S	M, N	17	196	213

Tablo 6’da GWO sonuçlarına göre etkinliklere ait sıralamalar incelendiğinde, proje öncülü bulunmayan ve ilk etkinlik olan A etkinliği ile başlamış ve 196.günde başlayıp 213.günde tamamlanan S etkinliği ile sonuçlanmıştır. Projenin tamamlanma süresi 213 gündür. Koyu renkte belirtilen G, F, N ve S etkinliklerinin sürelerinde esneklikler mevcuttur. G etkinliğinin tamamlanma süresi 15 günden 16 güne, F etkinliği 5 günden 21 güne, N etkinliği 22 günden 50 güne, S etkinliği 10 günden 17 güne esnetilmiştir. Bu etkinliklerde gerçekleşen süre uzamalarının veya öncül etkinlikler tamamlandıktan sonra boşluk sürelerinin gerçekleşmesinin nedeni Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’te belirtilen probleme özgü olan kısıtlar sebebiyledir. Tablo 4’te verilen süre uzamalarının yanı sıra farklı etkinlikleri üstlenen ekiplerin bir etkinliğe birden fazla ara verememesinden veya ekiplerin üstlenecekleri etkinliklerde katı işlemleri bekleme sürelerinden kaynaklıdır. Bunun yanı sıra yeniden sıralama yapılması sayesinde toplam sürede bir azalma gerçekleştiğinden algoritma esnetilebilir ölçüde olan etkinliklere toplam süreyi arttırmamak koşuluyla yeni iş süreleri atamıştır. Belirtilen etkinliklerin sürelerinde esneklik yapılması ve etkinliklere ara verilerek sürelerin uzaması göze alınarak 213 gün olarak

4.1. Gri Kurt Algoritmasına İlişkin Bulgular

Algoritmanın Python yazılım programında oluşturulan sonuçlarına göre; etkinlikler sırasıyla A, C, D, E, B, H, I, K, J, O, N, G, F, L, P, M, T, R, S işleri olarak sıralanmıştır. Problemin kısıtları ölçüsünde etkinliklerin gerçekleşen sürelerinde ve öncelik sıralamalarında esneklikler gerçekleşmiştir. Tablo 6’da etkinlik süreleri ve gerçekleşme zamanları belirtilmiştir.

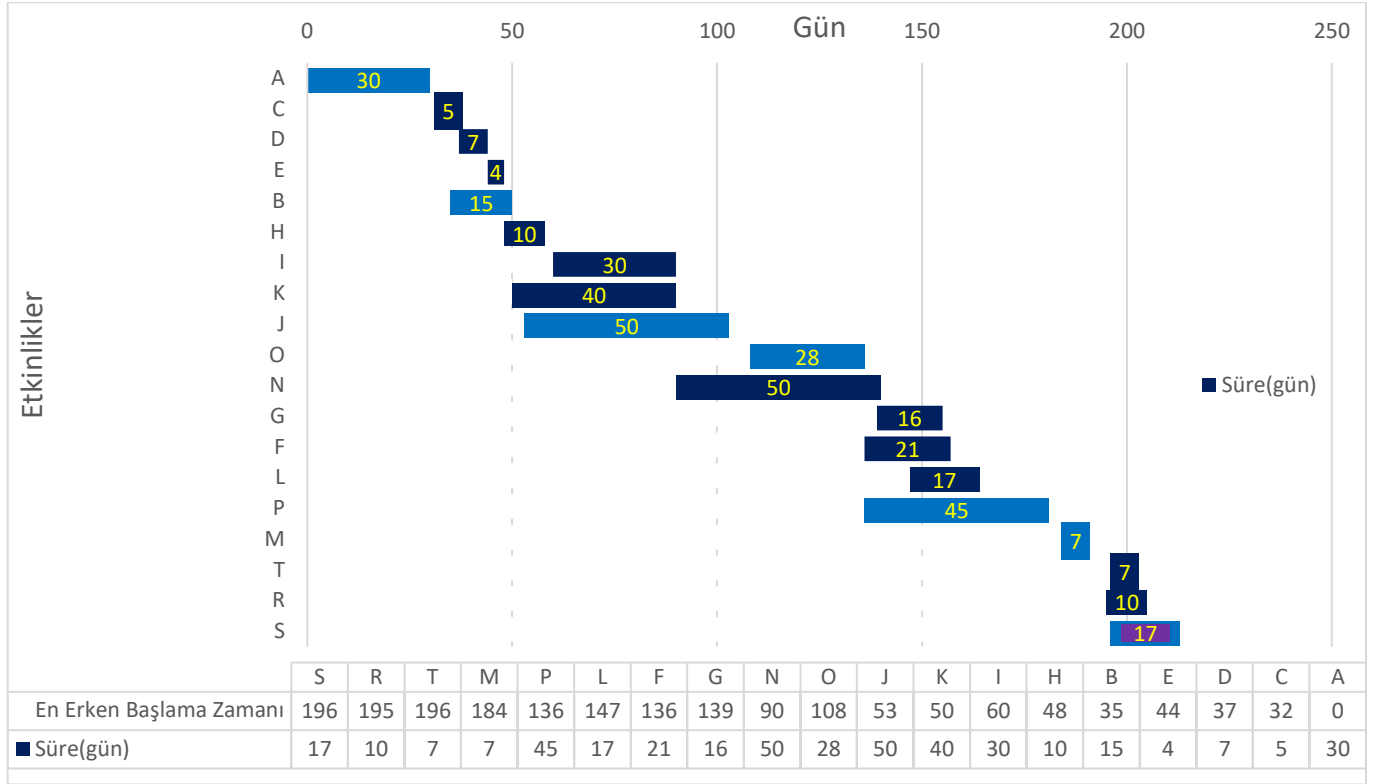
tamamlanan operasyon, 260 gün olarak belirtilen tamamlama süresine göre 47 gün(süre) olarak daha iyi bir performans vermiştir.

Algoritmaya yönelik çözümde, en uzun süren faaliyetler arasında J (50 gün), K (40 gün) ve P (45 gün) yer almaktadır. Özellikle bu üç faaliyet toplam proje tamamlanma süresinin %63,4’ünü kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin sürelerinin başarılı bir şekilde optimize edilmesi, proje süresi üzerinde belirleyici bir rol üstlenmiştir. Bu bilgilerin yanı sıra, kısa süreli faaliyetler olan C (5 gün), E (4 gün) ve T (7 gün) etkinliklerinin kritik yol dışında yer almalarına rağmen, diğer faaliyetlerin zamanında tamamlanmasına dolaylı olarak katkıda bulunmuştur. Özellikle E etkinliğinin tamamlanma sürecinde çakışmaların yaşanmaması, H ve F faaliyetlerinin paralel bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamıştır. Bu durum kaynak kullanımında %12’lik bir verimlilik artışı sağlamaktadır.

Ayrıca erken başlama ve bitiş zamanları arasında sağlanan denge, faaliyetlerin planlanan önceliklere uygun bir şekilde ilerlemesini temin etmiştir. Proje sürecinde 90. gün ile 140. gün arasında paralel olarak yürütülen I, K ve N etkinliklerinin ekiplerin faaliyetlerde bulunma kısıtlarında çakışma olmaksızın tamamlanması, kaynak kullanımında %20 oranında bir iyileşme sağlamıştır.

Şekil 5

Gwo Sonuçlarının Gantt Şeması Yardımıyla Gösterimi

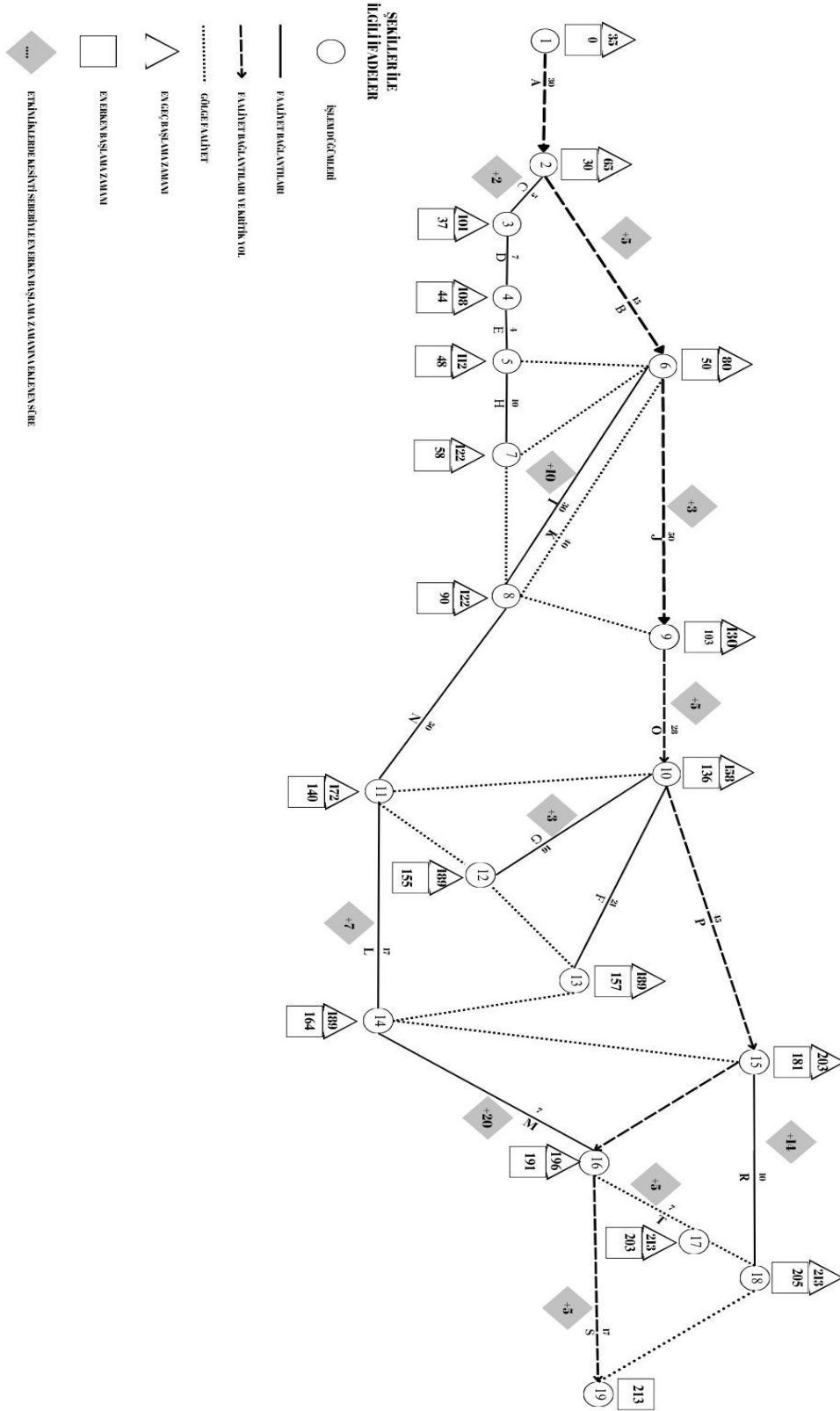


Algoritmanın gerçekleştirmiş olduğu çözüm sonuçları, proje sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi adına Gantt diyagramı yardımıyla Şekil 5'te sunulmuştur. Gantt diyagramı, proje yönetiminde görevlerin zamanlamasını ve birbirleriyle olan ilişkilerini görselleştirmek amacıyla kullanılan bir araçtır. İlk olarak Henry L. Gantt tarafından 1910'larda geliştirilen bu yöntem, yatay bir zaman ekseninde her bir görevi bir çubukla temsil etmekte ve bu çubuklar, görevlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini belirtmektedir (Gantt, 1919). Proje planlama, üretim süreçlerinin yönetimi, yazılım geliştirme ve inşaat projeleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gantt diyagramı, görevlerin başlangıç ve bitiş sürelerini belirginleştirerek zaman yönetimine katkı sağlarken, aynı zamanda görevler arasındaki bağımlılıkları görselleştirir. Şekil 5'te yatay eksen günleri ifade ederken, dikey eksen etkinliklere ait olup etkinlikler tamamlanma sürelerinin önceliğine göre sıralanmıştır. En alt satır ve sütunda ise çözüm sonucunun erken başlama zamanı ve etkinliklerin tamamlanma süreleri verilmiştir. Gri kurt algoritmasının gantt diyagramı yardımıyla sunulduğu Şekil 5 incelendiğinde Tablo 4'te yer alan iş süreçlerinin esnekliğine yönelik olarak esnetilebilir etkinlikler ölçüsünde algoritma F, G, N, O, S ve T etkinliklerinde esneklik gerçekleştirerek bu etkinliklerin sürelerinin uzamasını göze alarak sıralamaları tekrar gerçekleştirmiş ve tamamlanma sürelerini minimize etmeyi başarmıştır. Şekil 5'te yatay sütunlar gerçekleştirilen etkinliklerin sürelerini göstermekte olup daha açık renkte olan sütunlar ise kritik yolu ifade etmek içindir. Gantt şemasında gösterilen operasyonel süreçlerin kritik yolu sırasıyla; A, B, J, O, P, M, S etkinlikleri olarak gerçekleşmiştir. Algoritma proje sürecinde etkinliklerin paralel ilerleme işlemini kısıtlar ölçüsünde olabildiğince sıkıştırmaya çalışmış ve ekiplerin boş sürelerini minimize etmiştir. Bu doğrultuda ilk etkinlik olan "Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması"

(A) etkinliği ve "Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları" (M) etkinliği dışında tek etkinliğin yapıldığı bir süreç olmamıştır. Diğer süreçlerde işlemler olabildiğince paralel ilerlemektedir. Süreç içerisinde en yoğun işlem yüklenilen aralık C etkinliğinin başladığı 32.gün ve H etkinliğinin tamamlandığı 58.gündür. Bu 26 günlük süreçte; C, D, E, B ve H etkinliklerinin üstlenildiği tespit edilmiştir.

Şekil 6

Gwo Sonuçlarına Göre Etkinlik Akışlarının Şematik Gösterimi



Şekil 6'da algoritmanın elde ettiği çözüme göre ağ diyagramı yardımıyla şematik gösterim elde edilmiştir. Etkinliklerin öncülleri,

etkinliklerin gerçekleştirilme süreleri ve faaliyet bağlantıları sürekli oklarla gösterilmiş, ayrıca kritik yol ve yeni oluşturulan faaliyet

sıralamasında uzama süreleri hakkında bilgi verilmiştir. İlk etkinlik olan A işleminden başlayarak algoritma tarafından son etkinlik olarak belirlenen S işlemine kadar etkinliklerin süreleri ve öncelikleri bakımından sıralanmıştır. Algoritmanın çözümünde etkinliklerin ardıl olarak başlangıcında bazı bekleme ve hazırlık süreleri meydana gelmiş olup bu durumlar Şekil 6'da "Etkinliklerin Kesinti Sebebiyle Uzama Süreleri" olarak belirtilmiştir. Örneğin, B etkinliğinde 5 gün, C etkinliğinde 2 gün ve J etkinliğinde 3 gün olarak bu süreler gerçekleşmiştir. Uzama sürelerinden en çok etkilenen etkinlik 20 gün süre ile M etkinliği olup esnetilebilir etkinliklerden olmasına rağmen süre uzama durumuna uğramayan etkinlikler E ve N etkinlikleri olarak gerçekleşmiştir.

Oluşturulan kritik yol belirlenerek kesikli oklarla şema üzerinde belirtilmiştir. Ayrıca etkinliklere ait en erken başlama süreleri ve en geç başlama süreleri de faaliyetlerin başlangıç ve bitiş durumlarının gösterildiği işlem düğümlerinde yer almaktadır. Kritik yola ilişkin işlem düğümleri sırasıyla 1., 2., 6., 9., 10., 15., 16. Ve 19. işlem düğümü olarak görülmektedir. Bu işlem düğümlerinde rastlanılacak aksaklıklar projenin tamamlanma süresini doğrudan etkileyebilmektedir.

4.2. CPM Çözümüne ilişkin Bulgular

Probleme ilişkin Tablo 2'de sunulan veriler yardımıyla CPM yöntemine ilişkin etkinliklerin başlama ve bitiş süreleri hesaplanarak sonuçlar Gantt diyagramı yardımıyla Şekil 7'de sunulmuştur. Bu yönteme başvurulmasının sebebi hem problemin verilerinin yöntemine uygun olması (Planlanan kesin süreler içermesi) hem de gerçekleştirilen projede firma yetkililerinin tamamlanma süresini 260 gün olarak belirlemesine karşın 213 gün gibi başarılı bir sonuç veren algoritma sonucunu genel kabul görmüş bir yöntemle kıyaslanmasının doğru olacağı düşüncesidir. Çünkü CPM yöntemi, faaliyetlerin belirlenen sürelerinin sabit ve hesaplanmış olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu sebeple problemde var olan verilerin bu yöntemin çalışma sistemindeki verilerle aynı doğrultuda olduğu ve probleme

uygulanmasında daha anlamlı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir (Thierauf ve Klekamp, 1975: 441).

CPM'e göre "Erken Başlama Zamanı" ve "Erken Bitiş Zamanı" aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Erken Başlama Zamanı (ES)

ES_i : Etkinlik i'nin en erken başlama zamanı,

EF : Etkinlik j'nin en erken bitiş zamanı,

Öncül İşlemler: i etkinliğinin bağlı olduğu işlemler.

$$ES_i = \max\{EF_j | j \in \text{Öncül işlemler}\} \quad (5)$$

Eğer bir etkinliğin öncül işlemi yoksa, $ES_i = 0$

Erken Bitiş Zamanı (EF)

En erken bitiş zamanı şu şekilde hesaplanır:

EF_i : Etkinlik i'nin en erken bitiş zamanı,

ES_i : Etkinlik i'nin en erken başlama zamanı,

$Süre_i$: Etkinlik i'nin gerçekleşme süresi.

$$EF_i = ES_i + Süre_i \quad (6)$$

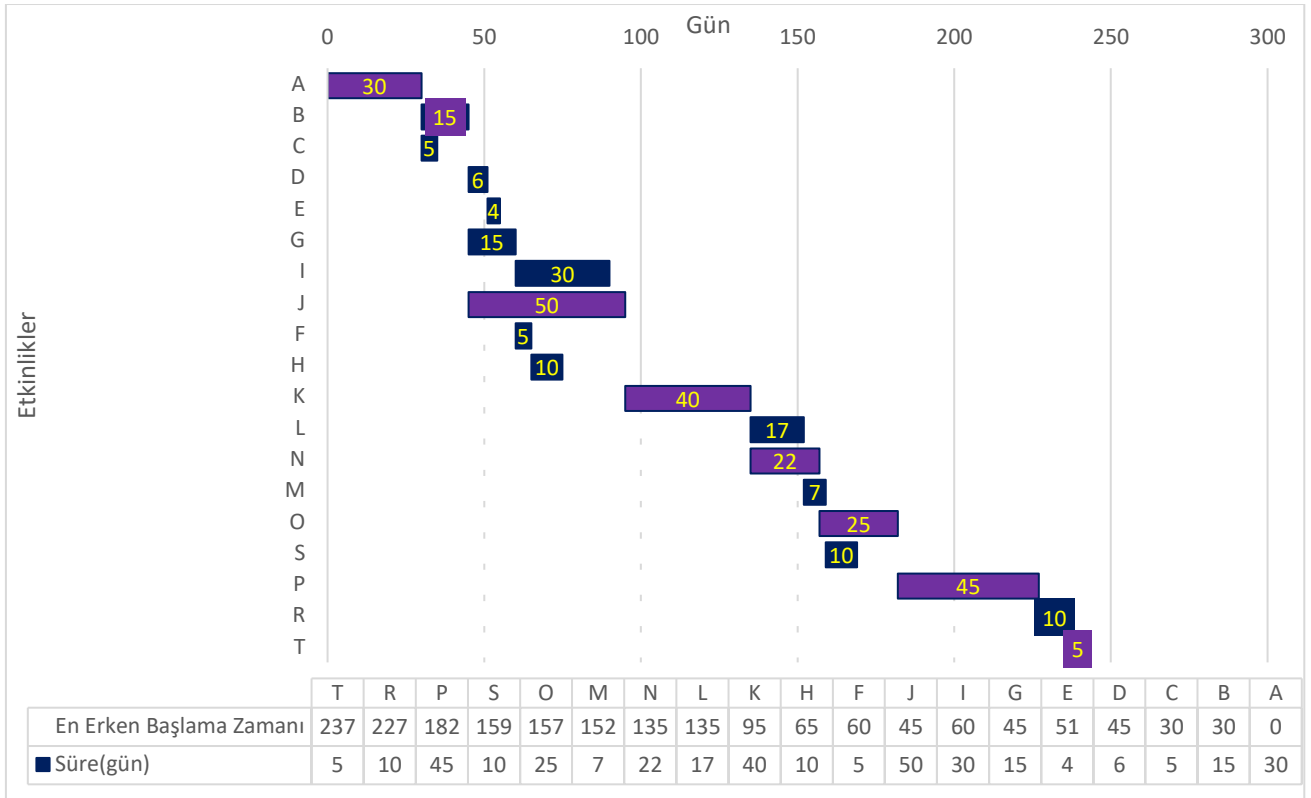
Tablo 6'da ES ve EF hesaplamalarının Formül 5 ve Formül 6 yardımıyla elde edilen sonuçları verilmiştir.

Tablo 7
CPM Sonuçları

Etkinlik	Süre(gün)	Erken Başlama Zamanı	Erken Bitiş Zamanı
A	30	0	30
B	15	30	45
C	5	30	35
D	6	45	51
E	4	51	55
G	15	45	60
I	30	60	90
J	50	45	95
F	5	60	65
H	10	65	75
K	40	95	135
L	17	135	152
N	22	135	157
M	7	152	159
O	25	157	182
S	10	159	169
P	45	182	227
R	10	227	237
T	5	237	242

Şekil 7

Cpm Çözümünün Gantt Şeması ile Gösterimi



Formül (5) ve Formül (6) yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 7'de bulunan gantt diyagramı oluşturulmuştur. Şekil 7'de görüldüğü üzere proje 30 gün süre tamamlanma süresi olan A etkinliği ile başlamış ve 237.gün başlayıp 5 gün süren T etkinliğinin tamamlanması ile 242 gün olarak gerçekleşmiştir. Kritik yol ise sırasıyla A, B, J, K, N, O, P, R, T etkinlikleri olarak belirlenmiştir. Şekil 5'te olduğu gibi Şekil 7'de de yatay sütunlar etkinlik sürelerini göstermekte olup, açık renkte olan sütunlar sürecin kritik yolunu belirtmektedir. Etkinlikler bitiş sürelerinin önceliğine göre dikey eksenle sıralanmıştır.

Müze araştırmacılarının üstlendiği A etkinliği ile heykel ve maket ekibinin üstlendiği K etkinliğinin gerçekleştiği süreçlerde diğer ekipler herhangi bir etkinlik üstlenmemiştir. Bunun yanı sıra diğer etkinliklerde ekiplerin etkinlikleri paralel dönemlerde üstlendiği görülmektedir. Ayrıca probleme ilişkin Tablo 5'te yer alan ekiplerin etkinliğe başlangıç ve etkinliklere ilişkin bitiş kısıtlarının CPM çözümüne yansıtılmasına karşın, Tablo 3 ve Tablo 4'te yer alan kısıtlar çözüme dahil edilemeyip bütün öncüller katı işlemler olarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi, Tablo 4'te bulunan esnetilebilir etkinlikler ve koordineli çalışma durumunda hesaplamalardaki iterasyon sayısının artmasına ve her bir durum için ayrı hesaplama yapılmasına ihtiyaç olmasıdır. Bu durumda çözüm sayısının üstel olarak artmasını ve çözüm süresinin ulaşılabilir olmasını güçleştirmektedir. Bu durumda benzer problemler için meta sezgisel yöntemler ve diğer algoritmaların uygulama ihtiyacındaki önemini ortaya çıkarmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada proje yönetiminde karşılaşılan proje çizelgeleme problemlerinden bir örneğe çözüm getirilmeye çalışılmış ve farklı etkinliklere yönelik işlemlerin sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada ele alınan problemin çözümüne yönelik

sonuçlar firma yetkilileri tarafından uygulanarak operasyonun gerçekleştirme süresinden tasarruf edilmiştir.

Benzer faaliyet gösteren işletmeler için taahhütlerin yerine getirilmesi, iş teslim sürelerinin ihale şartnamelerinde kesin olarak belirtilmesi, çizelgeleme ve planlamalarda yapılacak yanlışlıklar ve süre uzatımlarının ek maliyetler getirmesi yönüyle işletmelerin sürdürülebilirlikleri açısından belirli problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca bir işletmenin sürdürülebilirliği açısından maliyetlerin ne kadar önemli olduğu bilinse de bulunulan sektörün dinamikleri iyi analiz edilmelidir. Bu bağlamda müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren uzman işletmelerin azlığı ve proje maliyetlerin rakip firmalarla denk olması sebebiyle, firmaların hali hazırda üstlendikleri projelerde ekiplerin koordinasyonunu sağlaması veya yeni projelerde ekipleri değerlendirme olasılığı bakımından proje tamamlanma sürelerinin minimuma indirilmesi daha fazla önem arz etmektedir. Bilimsel yöntemlerin bu tarz gerçek hayat problemlerinde uygulanabilmesi ve kaynakların daha verimli kullanılabilmesi hedeflendiğinden araştırma; tamamlanma süresini firma tarafından belirlenen 260 günden 213 gün süreye indirmektedir. Ayrıca algoritmanın sonucunun kıyaslanabilmesi adına CPM ile çözüm yapılarak 242 gün sonucuna ulaşılmıştır. Bu yönüyle algoritma, CPM'e göre 29 gün(süre), araştırmanın başında hedeflenen bitirme süresine göre ise 47 gün(süre) daha iyi bir tamamlanma süresine ulaşmıştır. Araştırma hedef tamamlanma süresine kıyasla %18, Cpm yöntemine kıyasla ise %12 oranında tamamlanma süresini minimize etmeyi başarmıştır. CPM çözümü optimal çözümü elde etmiş olsa dahi algoritmaya yönelik süre farkı CPM'in problemin özelinde esnetilebilir etkinlikleri dikkate alma kabiliyetinde yetersiz kalması ve tüm etkinliklerin katı işlemler olarak değerlendirip çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü esnetilebilir etkinlikleri dikkate almak CPM yönteminin hesaplanmasında çözüm uzayının genişlemesine ve iterasyon sayısının artarak kabul edilebilir zaman sınırları içerisinde çözümün ulaşılabilir hale gelmesine yol açmaktadır.

Esnetilebilir faaliyetlerde kısıtlara yönelik sınırlar ele alınarak algoritma kaynak kullanım etkinliği açısından daha dengeli bir dağılım sağladığı tespit edilmiştir. GWO problem özelinde kaynakların kullanım etkinliğini göz önünde bulundurarak bazı etkinliklerin gerçekleştirilmesinde projenin toplam süresinde uzama olmayacak şekilde düzenlemelerde bulunmuştur. Örneğin CPM'de F etkinliği yalnızca 5 günde tamamlanırken, GWO algoritmasında bu süre 21 gün olarak belirlenmiştir; bu fark, kaynak tahsisine yönelik daha stratejik bir planlama yapıldığını ortaya koymaktadır. Nitekim GWO gerçekleştirdiği bu düzenlemeler ile etkinlik bazlı süre uzatımında bulunmuş olsa dahi ekipler arası koordinasyonu artırarak, iş yükü dağılımını daha homojen hale getirmiş ve kaynak kullanımında CPM'e göre %15 oranında daha verimli kaynak kullanım oranı elde etmiştir.

Paralel faaliyetlerin yönetiminde, GWO CPM'e göre daha başarılı bir yaklaşım sergilemiştir. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri optimize edilerek, paralel faaliyetlerde çıkışma oranı minimize edilmiştir. Örneğin, CPM'de paralel faaliyetlerin etkili bir şekilde planlanamaması, toplam süreyi uzatan bir etken olmuştur. Buna karşın, GWO aynı anda yürütülen faaliyetleri uyumlu hale getirerek toplam süreyi kısaltmıştır. Bu durum, proje süresinin kritik yol analizi üzerinde yapılan optimizasyonlarla %8 oranında daha verimli hale getirildiğini ortaya koymaktadır (Bkz. Tablo 6, Tablo 7). Bu bağlamda GWO hem tamamlanma süresi hem de kaynak kullanım etkinliği açısından CPM yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Proje süresindeki azalmaların yanı sıra, kaynakların daha verimli bir şekilde tahsis edilmesiyle, ekiplerin iş yükü dengelenmiş ve projelerde meydana gelen gecikmeler önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu bulgular, GWO algoritmasının yüksek karmaşıklığa sahip projelerde uygulanabilir bir çözüm yöntemi olduğunu ve proje yönetimi süreçlerinde dikkate değer bir avantaj sunduğunu düşündürmektedir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar ile sezgisel olarak sonuca varılması zor olan karmaşık problemlerde doğadan ilham alarak uyarlanmış meta sezgisel algoritmaların performanslarının daha iyi sonuca varabileceği kanaati Rasmussen ve Sorensen. (2000), Ruiz ve Stützle (2007) çalışmalarının sonuçlarını da destekler niteliktedir. Bunun yanı sıra meta sezgisel algoritmaların içerisinde yeni sayılabilecek bir algoritma olan gri kurt algoritmasının araştırma problemine uygulanması ile kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde de uygulanabilir olduğu sonucu Jiang ve Zhang (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmayla paralel sonuçlar içermektedir.

Bu yönüyle farklı dinamik ve kısıtları olan bu tip problemlerde de başkaca araştırmacılar tarafından yöntemin uygulanması ile literatüre katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada araştırmacılar, müze tasarımı karşılaşılan "İç Mimari Tasarımı Ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması" operasyonel işleminde karşılaşılan bir çizelgeleme problemini ele almış olup, başkaca araştırmacılar tarafından farklı operasyonel işlemlere yönelik araştırmalar test edilebilir. Ayrıca farklı operasyonel işlemlere yönelik kısıt veya kaynaklar değişebildiği gibi algoritmanın yapısı gereği problemlerin ihtiyaçlarına yönelik bu ihtiyaçların tanımlanabilir olduğu ve algoritmanın bu ihtiyaçları karşılayabilir nitelikte olduğu yapılan çalışma ile ortaya konmuştur.

Bunun yanı sıra literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, birçok araştırmanın problem çözümünde hazır veri seti kullandığı gözlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada gerçek bir hayat problemi üzerinde çözüm elde edilmeye çalışıldığından problemin çözümünde tamamlanma süresinin minimize edilmesine yoğunlaşılmış ve çözüme yönelik gri kurt algoritmasının çözüm doğası problemin yapısına uygun gerçekleşmiştir. Farklı sektörlerde karşılaşılan problem, kısıt ve amaç fonksiyonlarının maliyet, kar ve kaynak tahsis gibi çözüm hedefleri olabilmektedir. Bu yönüyle algoritma stokastik problemlerin çözümlerinde de farklı

algoritmalarla bulanık biçimde kullanılabilir yapıdadır. Nitekim Huang vd. (2024), Zhou vd. (2024) gibi araştırmacıların farklı meta sezgisel algoritmalarla GWO'yu hibrit halde kullandıkları ve farklı dinamik problemlere çözüm aradıkları görülmektedir. Bu bağlamda yapılan araştırma problemin çözümünde tek bir algoritma tabanlı çözümü benimsemiş olsa dahi başkaca araştırmalar algoritmayı hibrit yapıda test edip uygulayabilir. Ayrıca çalışmada ele alınan sektörde etkinliklerin tamamlanmasında kaynak olarak ortaya çıkan ekipler, uzmanlık gerektiren işlemleri üstlenip disiplinler arası çalışmaları yapabilecek kabiliyette deneyin sahibi personellerdir. Müze tasarımı gibi sektörlerde ekiplerin iş gücünü artırmak üzere yeni personel alımı vs. gibi katkılarla ekiplerin kapasitesini ve personel sayısını artırmak zorlu olabilmektedir. Bu sebeple araştırma probleminde firma deneyimleri göz önünde bulundurularak faaliyet süreleri planlanan kesin süreler olarak gerçekleşmiştir. Farklı sektörlerde karşılaşılan problemlerde algoritmanın test edileceği kaynaklarda personel artırımı, ek çalışma mesailerinin eklenmesi, makine ve teçhizatların çeşitlendirilmesi gibi durumlar faaliyet sürelerinde iyimser ve kötümser süreler veya faaliyetlerin tamamlanma sürelerinde sapmalar gibi durumlara öncelik vermeyi gerektirebilir. Bu durumlarda algoritmanın kıyaslanması verilerle uygun olarak CPM yöntemi yerine başkaca yöntemlerle kıyaslanması gerektirebilir. Bu sebeple de araştırma, bu husus veya kısıtların da dikkate alınabileceğini başka araştırmalara bir öneri olarak sunmaktadır.

Kaynakça

- Blum, C. and Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3): 268-308.
- Brucker, P., Drexel, A., Möhring, R., Neumann, K. and Pesch, E. (1999). Resource-Constrained Project Scheduling: Notation, Classification, Models, and Methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1): 3-41.
- Brucker, P. and Kampmeyer, T. (2005). Tabu Search Algorithms for Cyclic Machine Scheduling Problems. *Journal of Scheduling*, 8: 303-322.
- Burke, E. K. and Kendall, G. (2005). *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Springer.
- Chen, S., Zheng, J. and Zhang, W. (2025). A Cooperative Grey Wolf Optimizer For The Joint Flowshop Scheduling Problem With Sequence-Dependent Set-Up Time. *Engineering Optimization*, 57(3): 739-761.
- Çorumlu, V., Atalay, K. D. ve Dinler, E. (2024). Proje Çizelgelemede Bulanık Doğrusal Programlama İle Yeni Bir Yöntem Önerisi: Yazılım Projesinde Uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 8(1): 20-38.
- Demeulemeester, E. and Herroelen, W. (2002). *Project Scheduling: A Research Handbook*. Kluwer Academic Publishers.
- Ebesek, Ş. ve Yaman, H. (2019). Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminde Tekrarsız Kromozom Destekli Paralel Genetik Algoritma Uygulaması. *Journal of International Social Research*, 12(62).
- Falk, J. H. and Dierking, L. D. (2013). *The Museum Experience Revisited*. Walnut Creek, CA: Left Coast Press.
- Gantt, H. L. (1919). *Organizing for Work*. Harcourt, Brace and Howe.
- Glover, F. and Kochenberger, G. A. (2006). *Handbook of Metaheuristics, Resende, M.G.C., Ribeiro, C.C., Glover, F. and Marti, R. (Eds.), Scatter Search and Path-Relinking: Fundamentals, Advances, and Applications* (pp. 1-20). Springer.
- Hartmann, S. (2001). Project Scheduling with Multiple Modes: A Genetic Algorithm. *Annals of Operations Research*, 102: 111-135.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2022) Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kulturel-Miras-Istatistikleri-2022>, Erişim Tarihi (07.09.2024).
- Huang, X., Xie, M., An, D., Su, S. and Zhang, Z. (2024). Task Scheduling in Cloud Computing Based on Grey Wolf Optimization with A New Encoding Mechanism. *Parallel Computing*, 122: 103111.
- Jadhav, A. N. and Gomathi, N. (2018). WGC: Hybridization of Exponential Grey Wolf Optimizer with Whale Optimization for Data Clustering. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3): 1569-1584.
- Jiang, T. and Zhang, C. (2018). Application of Grey Wolf Optimization for Solving Combinatorial Problems: Job Shop and Flexible Job Shop Scheduling Cases. *Ieee Access*, 6: 26231-26240.

- Kadalia, K., Shah, V. and Kadam, R. (2017). Comparative Study of Grey Wolf Optimization with Different Optimization Algorithms for Optimal Power Flow Solutions. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(2): 1383-1394.
- Karakoyun, M., (2021). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Kurbağa Sıçrama ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Tabanlı Hibrit Bir Yöntemin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.
- Kolaylıoğlu, Ö. (2006). İnşaat Sektöründe Proje Yönetimi ve Proje Yöneticisi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Kolisch, R. and Hartmann, S. (2006). Experimental Investigation of Heuristics for Resource-Constrained Project Scheduling: An Update. *European Journal of Operational Research*, 174(1): 23-37.
- Kurt, Ö. (2006). Proje Planlama Ve Programlama Teknikleri Ve İnşaat Sektörüne Ait Bir Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. and Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances In Engineering Software*, 69: 46-61.
- PMI (Project Management Institute). (2017). *A Guide to The Project Management Body of Knowledge*(6th ed.). Project Management Institute.
- Rasmussen, R. V. and Sørensen, K. (2000). The Use of Genetic Algorithms in Project Scheduling. *Computers & Operations Research*, 27(6): 527-541.
- Ruiz, R. and Stützle, T. (2007). A Simple and Effective Iterated Greedy Algorithm for The Permutation Flowshop Scheduling Problem. *European journal of operational research*, 177(3): 2033-2049.
- Thierauf, R. J. and Klekamp, R. C. (1975). *Decision Making Through Operations Research*. Wiley & Sons
- Tolouei, K. and Moosavi, E. (2020). Production Scheduling Problem and Solver Improvement Via Integration of The Grey Wolf Optimizer into The Augmented Lagrangian Relaxation Method. *SN Applied Sciences*, 2(12): 1963.
- Van Rossum, G. and Drake, F. L. (2009). *Introduction to PYTHON 2.6*. CreateSpace.
- Vanhoucke, M. (2012). *Project Management with Dynamic Scheduling: Baseline Scheduling, Risk Analysis and Project Control*. Springer.
- Yilmaz, M., Dede, T. and Grzywiński, M. (2023). Investigating Multi-Objective Time, Cost, and Risk Problems Using The Grey Wolf Optimization Algorithm. *Construction of Optimized Energy Potential Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 12(1): 79-86.
- Zhang, S. and Zhou, Y. (2015). Grey Wolf Optimizer Based on Powell Local Optimization Method for Clustering Analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015(1): 481360.
- Zhou, K., Tan, C., Zhao, Y., Yu, J., Zhang, Z. and Wu, Y. (2024). Research On Solving Flexible Job Shop Scheduling Problem Based On Improved GWO Algorithm SS-GWO. *Neural Processing Letters*, 56(1): 26.



Housing Prices In Turkey: Macroeconomic Factors and Structural Changes

Türkiye'de Konut Fiyatları: Makroekonomik Faktörler ve Yapısal Değişimler

Hidayet DUZCU¹ Rüstem YANAR²

¹Gaziante Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Gaziantep/Türkiye, yanar@gantep.edu.tr

²Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) 12. Bölge Müdürlüğü, Gaziantep/Türkiye, hd211004@mail2.gantep.edu.tr

ABSTRACT

This study examines the effects of macroeconomic variables on housing prices in Turkey within the framework of structural breaks. Given Turkey's geopolitical position and its frequent economic fluctuations driven by both domestic and external dynamics, the originality of this study lies in conducting all analyses by incorporating structural breaks. The empirical analysis utilizes monthly data from 2015 to 2023, employing time series methods to investigate the determinants of housing prices. By considering structural breaks in all analyses, the study emphasizes long-term and permanent effects rather than short-term economic shocks. The analyses are conducted within the framework of supply-side and demand-side variables. The results indicate a significant causal relationship between cement production, construction cost index, and the housing price index among supply-side variables. However, no direct relationship is found between building permits and the housing price index. On the demand side, a significant causal relationship is identified between the housing price index and all demand-side variables. The findings highlight that structural breaks are a crucial determinant of the housing market and provide valuable insights for policymakers regarding the long-term effects of macroeconomic variables.

Keywords: Housing Prices, Structural Breaks, Macroeconomic Indicators, Time Series Analysis

ÖZET

Bu çalışma, yapısal kırılmalar çerçevesinde Türkiye'deki konut fiyatları üzerinde makroekonomik değişkenlerin etkilerini incelemektedir. Türkiye'nin jeopolitik konumu ve hem iç hem de dış dinamiklerin etkisiyle sık sık yaşanan ekonomik dalgalanmalar göz önüne alındığında, bu çalışmanın özgünlüğü tüm analizlerin yapısal kırılmaları da dikkate alarak gerçekleştirilmesinde yatmaktadır. Ampirik analiz, 2015 ile 2023 yılları arasındaki aylık verileri kullanarak zaman serisi yöntemleriyle konut fiyatlarının belirleyicilerini incelemektedir. Tüm analizlerde yapısal kırılmalar dikkate alınarak, çalışma kısa vadeli ekonomik şoklardan ziyade uzun vadeli ve kalıcı etkileri vurgulamaktadır. Analizler, arz tarafı ve talep tarafı değişkenleri çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, arz tarafı değişkenleri arasında çimento üretimi, inşaat maliyet endeksi ve konut fiyat endeksi arasında önemli bir nedensel ilişki olduğunu göstermektedir. Ancak, inşaat ruhsatları ile konut fiyat endeksi arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır. Talep tarafında ise konut fiyat endeksi ile tüm talep tarafı değişkenleri arasında önemli bir nedensel ilişki tespit edilmiştir. Bulgular, yapısal kırılmaların konut piyasasının önemli bir belirleyicisi olduğunu vurgulamakta ve politika yapıcılar için makroekonomik değişkenlerin uzun vadeli etkileri konusunda değerli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Konut Fiyatları, Yapısal Kırılmalar, Makroekonomik Göstergeler, Zaman Serisi Analizi

ARTICLE INFOS

Article History

Received: March 06, 2025

Accepted: May 25, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Hidayet DUZCU

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 06 Mart 2025

Kabul Tarihi: 25 Mayıs 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Hidayet DUZCU

1. Introduction

In today's world, the housing market stands out as one of the fundamental components of economic development and financial

stability (Yıldırım, 2017:1). Housing prices are a critical factor influencing both individual well-being and macroeconomic balances (Şeyranlıoğlu, 2023,1714). Therefore, understanding the determinants of housing prices is essential for the effective management of economic policy. In particular, supply and demand factors are among the key

elements shaping the movements of the housing price index, necessitating a detailed examination of these factors.

The determinants of supply and demand balance in the housing market are influenced by various macroeconomic and sectoral dynamics (Hilbers, Hoffmaister, Banerji and Shi, 2008:9). On the supply side, construction costs, land prices, financing opportunities required for housing development, and regulatory policies play a significant role. On the demand side, economic indicators such as income levels, interest rates, inflation rates, and demographic factors determine the direction of housing prices. The interaction between these two fundamental dynamics causes fluctuations in housing prices and shapes the overall trajectory of the market.

In the case of Turkey, the dynamics of the housing market exhibit a more complex and distinctive structure compared to other countries worldwide (Şeyranlıoğlu, 2023:1715). Specifically, geopolitical risks, economic fluctuations, interest rate volatility, and government policies directed toward the construction sector play a crucial role in determining housing prices.

Structural breaks also hold significant importance in the determination of housing prices (Kaya, 2012:9). Factors such as macroeconomic crises, political uncertainties, natural disasters, and global financial fluctuations can create sudden and lasting effects on housing prices (Öztürk and Gövdere, 2010:394). Therefore, when evaluating the factors affecting the housing price index, it is necessary to focus on structural breaks. In countries like Turkey, which have dynamic economic and political structures, traditional economic analysis methods alone are insufficient; instead, these analyses must be designed to account for structural breaks.

This study aims to analyze the determinants of the housing price index in Turkey within the framework of supply and demand dynamics and to reveal the impact of macroeconomic variables through structural break time series analyses. The findings contribute to the academic literature and provide valuable insights for policymakers, enabling them to make more informed decisions regarding the housing market.

2. Literature Review

Numerous studies in the literature have examined the macroeconomic variables affecting housing prices. In particular, research analyzing the impact of factors such as interest rates, inflation, exchange rates, the industrial production index, and housing loan interest rates on housing prices has revealed significant findings using different methods and datasets. Recent studies on this subject are presented below. Understanding the relationship between the housing market and macroeconomic variables is crucial for assessing the effects of factors such as global financial crises and political uncertainties.

Nneji et al (2013) examined the sensitivity of housing prices to macroeconomic variables based on different regimes. Using a three-regime Markov switching model and a probit model, their analysis found that decreasing interest rate spreads help economies recover from crisis periods. They concluded that housing prices fluctuate more during periods of economic growth but become less responsive to macroeconomic variables during crisis regimes.

Xifilidou and Karanikolas (2014) analyzed the relationship between housing activities and macroeconomic factors in Greece. Their study found that housing prices declined after the 2008 financial crisis, and excessive housing supply and increasing taxes negatively affected market stability. However, tourism investments were found to have a positive impact on the real estate sector.

Shinwari and Özdemir (2022) examined the short- and long-term effects of the industrial production index and CPI on the housing price index in Turkey for the period 2010–2020 using the ARDL bounds test

and the Toda-Yamamoto causality test. Their findings indicated that increases in the industrial production index and CPI negatively affected the housing price index in the short term. However, no significant long-term relationship was found between these variables and housing prices.

Zulkifli et al (2022) analyzed the macroeconomic variables affecting the housing price index in Malaysia using the ARDL model, unit root tests, and causality tests. Their study found that Gross Domestic Product (GDP) and money supply (M₃) had a positive impact on housing prices, whereas the Consumer Price Index (CPI) had a negative effect. Additionally, GDP and money supply were found to significantly influence housing prices in the short term.

Ding (2022) examined the effects of macroeconomic variables on housing prices in the U.S. over the past 15 years. Using a multiple regression model and Stata/IC 16.1 software, the study found that stock market growth and economic expansion had a positive effect on housing prices. Conversely, mortgage interest rates and the unemployment rate exerted downward pressure on housing prices, while population growth had no statistically significant effect.

Abasimi et al (2023) analyzed the impact of macroeconomic variables on the housing price index in G20 countries using panel data analysis. Their findings indicated that the Consumer Price Index (CPI) and Purchasing Power Parity (PPP) had a positive and significant effect on the housing price index, while exchange rates and unemployment rates had a negative effect. No significant impact was found for construction GDP or population density.

Akyol Özcan (2023) examined the impact of the exchange rate, housing loan interest rates, and the Consumer Price Index on the housing price index using ARDL and NARDL models. The results indicated that positive shocks in housing loan interest rates increased the housing price index, while negative shocks led to a decrease. Positive shocks in CPI were found to reduce housing prices, whereas negative shocks increased them. The exchange rate had no significant effect on the housing price index.

Aydın (2023) investigated the causality relationship between the housing price index and macroeconomic indicators in Turkey from 2010 to 2023 using the Toda-Yamamoto causality test and the VAR model. The findings revealed a bidirectional causality relationship between the housing price index and the construction material price index, exchange rate, and Consumer Price Index. Additionally, a unidirectional causality relationship was found from the industrial production index to the housing price index and from the housing price index to housing loan interest rates.

Soylu and Kaynak (2024) analyzed the macroeconomic variables influencing housing prices in Turkey and, using the AR(3)-TGARCH(1,1) model, found that economic growth and inflation positively affected housing prices, whereas interest rates and exchange rates had a negative impact.

Yiu and Murray (2024) examined the effect of vacant housing units on prices in the Hong Kong housing market. Using time series and dynamic panel data models, their analysis found that vacant housing had a negative effect on housing prices. However, unexpectedly, new housing supply was found to have an upward effect on prices.

3. Data

The time series analysis variables used in this study aim to comprehensively analyze various factors affecting the housing price index. The data utilized in this study were obtained from the Turkish Statistical Institute (TÜİK) and the Central Bank of the Republic of Turkey's Electronic Data Distribution System (EVDS). The data are in monthly frequency, covering the period between 2015 and 2023. The logarithms of all variables used in the analysis were taken to perform

time series analysis. These variables are categorized into two main groups: supply-side and demand-side series.

The supply-side series consist of indicators reflecting the production capacity and costs of the construction sector. The Cement Production Index and the Construction Cost Index help assess construction costs and production processes within the sector, while Building Permit data provide insights into future trends in housing supply. These indicators are crucial for understanding the impact of fluctuations in housing supply on prices.

The demand-side series include variables that measure the level of demand in the housing sector. The Occupancy Permit data reflect the number of completed housing units, while macroeconomic indicators such as the Industrial Production Index help analyze the impact of overall economic activity on housing demand. Indicators such as housing sales statistics and housing loan interest rates are used to

assess how consumer demand and financial conditions shape the sector's demand. Additionally, the Consumer Price Index (CPI) is analyzed to measure the impact of general inflationary pressures on housing prices.

4. Empirical Method

4.1. Detecting Seasonality in the Series: Variance Analysis Technique

In this study, the Variance Analysis Technique is applied to determine whether seasonality exists in the series. This technique identifies seasonal fluctuations by testing whether time series exhibit significant differences across specific periods (Dilek, 1988). Based on separate analyses conducted for each variable, the presence of seasonality in the series is evaluated.

Table 1

Detection of Seasonality in Supply-Side Series Using the Variance Analysis Method

	Dependent Variable	Supply-Side Series		
	LKFE	LCUE	LIME	LYR
Within-Month Variances (S_W^2)	0,712	0,028	0,613	0,277
Between-Month Variances (S_B^2)	0,074	0,323	0,043	0,596
Z Value	-1,131	1,223	-1,33	0,384
Critical F Value (Fo.05;11,96)	1,89	1,89	1,89	1,89
F Values of Variables	0,104	11,55	0,07	2,155

When examining the results in Table 1, it is observed that the F values of the LCUE and LYR series exceed the critical F value. This indicates the presence of a seasonal effect in the LCUE and LYR series. On the other hand, the F value of the LIME series is significantly below

the critical value, suggesting that there is no seasonal effect in this series. Consequently, among the supply-side series, only the LCUE and LYR series exhibit statistically significant seasonal fluctuations.

Table 2

Detection of Seasonality in Demand-Side Series Using the Variance Analysis Method

	Dependent Variable	Demand-Side Series				
	LKFE	LYKI	LSUE	LKSI	LKI	LTUFE
Within-Month Variances (S_W^2)	0,712	0,057	0,023	0,184	0,114	0,341
Between-Month Variances (S_B^2)	0,074	0,294	0,053	0,034	0,063	0,036
Z Value	-1,131	0,822	0,423	-0,852	-0,295	-1,117
Critical F Value (Fo.05;11,96)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
F Values of Variables	0,104	5,177	2,331	0,182	0,554	0,107

When examining the results in Table 2, it is observed that only the F values of the LYKI and LSUE series exceed the critical F value. This indicates the presence of a seasonal effect in the LYKI and LSUE series. In the other series, the F values remain below the critical threshold, suggesting that there is no seasonal effect in these series. Consequently, among the demand-side series, only the LYKI and LSUE series exhibit statistically significant seasonal fluctuations.

According to these analysis results, the F values of the Cement Production Index, Occupancy Permit Data, Industrial Production Index, and Construction Cost Index are 11.550, 5.177, 2.331, and 2.155,

respectively, exceeding the critical value. This finding indicates that seasonal effects in these series are statistically significant.

4.2. Seasonal Adjustment

After detecting seasonality in the series, the seasonal adjustment process was carried out for these series. This process was applied using the Census X-13 method. This technique identifies seasonal fluctuations by testing whether time series exhibit significant differences across specific periods (Lee and Lee, 2014:133). Separate analyses were conducted for each variable to evaluate the presence of seasonality in the series.

Table 3

Seasonally Adjusted Series

	LCUE	LIME	LYKI	LSUE
Within-Month Variances (S_W^2)	0,0241	0,5393	0,0521	0,0222
Between-Month Variances (S_B^2)	0,0036	0,0767	0,005	0,0044
Z Value	-0,949	-0,975	-1,1761	-0,8139
Critical F Value (Fo.05;11,96)	1,89	1,89	1,89	1,89
F Values of Variables	0,1499	0,1423	0,0952	0,1964

Table 3 demonstrates that the seasonal adjustment process has been successfully implemented, and the series no longer exhibit seasonal effects. The within-month and between-month variance values are significantly lower, indicating that the series have attained a more stable structure after the removal of seasonal fluctuations. These results confirm that the series can be analyzed independently of seasonal effects, allowing for more consistent and reliable outcomes.

4.3. Bai-Perron - Multiple Structural Break Test

Table 4

Bai-Perron Multiple Structural Break Test Results for Supply-Side Series

	Dependent Variable		Supply-Side Series	
	LKFE	LCUE	LIME	LYR
Number of Bai-Perron Structural Breaks	3	3	4	2
Break Dates	Feb. 17	Feb. 17	Jan.17	Aug.18
	Jun.20	Nov.18	Jul.18	
	Apr.22	Jun.20	Jul.20.20	Jun.20
			Feb.22	

Examining the reasons behind these structural breaks, the failed coup attempt in 2016 triggered issues regarding investment confidence, which were further intensified by fluctuations in global markets and domestic political uncertainties. Additionally, the global economic volatility following this period had significant repercussions on the housing market. Particularly, the currency crisis in August 2018 sharply increased construction costs, resulting in fluctuations in cement demand. The construction sector, heavily burdened by increased borrowing costs in foreign currency, experienced project delays and a decline in new building permit applications. Concurrently, imported materials became costlier, leading to additional pressure on construction costs.

The COVID-19 pandemic in 2020 introduced further instability by disrupting global supply chains and creating economic uncertainties, resulting in significant fluctuations in construction costs. Although the introduction of low-interest housing loans during the pandemic temporarily boosted housing demand, it simultaneously led to rising prices of raw materials required for cement production. Consequently,

The Bai-Perron multiple structural break test is an important statistical method used to identify structural breaks in time series data (Bai and Perron, 1998).

4.3.1. Structural Break Test for Supply-Side Series

Structural breaks in the housing price index and supply-side series were analyzed using the Bai-Perron multiple structural break test. The results indicated three structural breaks in the housing price index, three in the cement production index, four in the construction cost index, and two in building permits.

these cost pressures had an adverse effect on the sector's overall production and investment capacity.

In February 2022, global disruptions caused by rising energy prices stemming from geopolitical tensions due to the Russia-Ukraine war led to increased construction costs, triggering another set of structural breaks. Elevated energy prices exacerbated cost pressures within the construction sector, intensified difficulties within supply chains, and resulted in fluctuations in raw material availability. These developments significantly impacted the housing price index by creating additional pressures on construction costs and project sustainability.

4.3.2. Structural Break Test for Demand-Side Series

Structural breaks in the housing price index and demand-side series were analyzed using the Bai-Perron multiple structural break test. The analysis identified three structural breaks in the housing price index, three in occupancy permits, three in the industrial production index, four in housing sales statistics, four in housing loan interest rates, and four in the consumer price index.

Table 5

Bai-Perron Multiple Structural Break Test Results for Demand-Side Series

	Dependent Variable		Demand-Side Series			
	LKFE	LYKI	LSUE	LKSI	LKI	LTUFE
Number of Bai-Perron Structural Breaks	3	3	3	4	4	4
Break Dates	Feb. 17	Nov.16	Nov.16	Jan.17	Jul.18	Jan.17
	Jun.20	Jun.19	Sep.20	Jan.19	Nov.19	Sep.18
	Apr.22	Sep.22	Feb.22	Jan.21	Mar.21	Aug.20
				Sep.22	Sep.22	Mar.22

Examining the primary causes of the structural breaks, it is evident that the economic uncertainties and loss of confidence following the 2016 coup attempt led to the first major fluctuations in the housing market and related macroeconomic indicators. The 2018 currency crisis triggered sudden spikes in exchange rates, resulting in rapid inflation and rising interest rates. During this period, significant effects were observed on industrial production and housing sales statistics, while construction costs increased, and access to housing

loans became more challenging. The rise in exchange rates led to higher costs in the construction sector, which relies heavily on imported inputs, thereby constraining housing supply. On the demand side, higher credit interest rates made home purchases more difficult.

In 2020, the impact of the COVID-19 pandemic caused significant structural changes in the housing market and demand-side indicators. Global economic uncertainties and supply chain disruptions contributed to rising construction costs, while housing demand surged

due to low-interest housing loans. During this period, increases in occupancy permits and housing sales statistics were observed, and interest rate cuts boosted demand for housing loans. However, following the initial effects of the pandemic, the slow pace of economic recovery and continued disruptions in global production chains caused structural breaks in variables such as industrial production and the consumer price index. Rising inflation led to a noticeable increase in the consumer price index, causing fluctuations in housing demand.

By 2022, global economic crises and geopolitical developments resulted in new structural breaks in the housing market. In particular, the Ukraine-Russia war drove up energy and raw material prices, increasing construction costs and exacerbating supply-demand imbalances. Rising costs fueled an upward trend in housing prices while simultaneously causing fluctuations in the consumer price index and industrial production. Global inflationary pressures led to volatility in interest rates, and changes in housing loan interest rates had a direct impact on housing sales statistics.

4.4. Carrion-i Silvestre Unit Root Test

Table 6

Carrion-i Silvestre Unit Root Test Results at Level

	Level Values (I ₀)				
	P _T	MP _T	MZ _α	MSB	MZ _t
LKFE	9,276 [7.245]	8,354 [7.245]	-28,574 [-33.388]	0,132 [0.122]	-3,78 [-4.063]
LCUE	20,743 [7.746]	19,312 [7.746]	-13,428 [-33.481]	0,193 [0.122]	-2,588 [-4.083]
LIME	12,467 [8.202]	10,59 [8.202]	-26,556 [-35.150]	0,137 [0.119]	-3,643 [-4.171]
LYR	13,28 [7.130]	11,829 [7.130]	-16,835 [-28.353]	0,171 [0.133]	-2,887 [-3.747]
LYKI	10,638 [8.262]	10,335 [8.262]	-27,865 [-35.599]	0,134 [0.118]	-3,731 [-4.198]
LSUE	12,467 [7.427]	11,714 [7.427]	-20,879 [-33.353]	0,155 [0.122]	-3,228 [-4.063]
LKSI	13,77 [6.040]	12,848 [6.040]	-14,085 [-29.041]	0,186 [0.133]	-2,621 [-3.804]
LKI	14,282 [7.469]	13,472 [7.469]	-19,296 [-34.962]	0,161 [0.119]	-3,105 [-4.167]
LTUFE	19,201 [9.025]	17,223 [9.025]	-24,871 [-46.612]	0,142 [0.103]	-3,526 [-4.826]

Indicates stationarity at the 5% significance level. The values in parentheses represent critical values generated using 1,000 iterations with bootstrap.

According to the Carrion-i Silvestre unit root test results in Table 6, it is observed that all series contain a unit root at their level values, indicating that they are not stationary. This finding suggests that the

Due to the high presence of structural breaks in the series, traditional unit root tests were deemed insufficient, leading to the preference for the Carrion-i Silvestre unit root test. This test stands out for its ability to provide reliable results, particularly in series with two or more structural breaks (Russo and Foster-McGregor, 2021:719). The Carrion-i Silvestre test evaluates the stationarity of the series while incorporating breakpoints into the analysis. This approach prevents misleading results that may arise when structural changes are not considered, ensuring a more accurate examination of the series' stability (Carrion-i-Silvestre et al, 2007).

When applying the Carrion-i Silvestre unit root test, the codes used were directly obtained from the "codes" section of Josep Lluís Carrion-i Silvestre's official website (Silvestre). A key feature of these codes is their ability to determine break dates autonomously during the test. However, these breakpoints may differ from those identified in the Bai-Perron test. To obtain more accurate and contextually relevant results, the codes were optimized by incorporating the break dates identified through the Bai-Perron test. This modification enabled a more reliable assessment of the effects of structural breaks on the series.

series are not stationary at their levels and require additional transformations to ensure stability in econometric analysis.

Table 7

Carrion-i Silvestre First-Difference Unit Root Test Results

	First Differences (I ₁)				
	P _T	MP _T	MZ _α	MSB	MZ _t
LKFE	5,025 [7.286]	4,595 [7.286]	-51,932 [-33.317]	0,098 [0.122]	-5,095 [-4.053]
LCUE	5,267 [6.989]	4,679 [6.989]	-51,231 [-33.785]	0,099 [0.122]	-5,057 [-4.104]
LIME	6,135 [8.193]	5,85 [8.193]	-47,536 [-34.647]	0,103 [0.119]	-4,875 [-4.129]
LYR	5,729 [7.208]	5,091 [7.208]	-39,169 [-28.047]	0,113 [0.133]	-4,419 [-3.729]
LYKI	7,743 [8.028]	6,813 [8.028]	-42,499 [-35.745]	0,108 [0.118]	-4,608 [-4.217]

LSUE	5,921 [7.896]	5,508 [7.896]	-51,516 [-36.043]	0,098 [0.117]	-5,072 [-4.225]
LKSI	7,189 [6.119]	6,749 [6.119]	-18,58 [-21.216]	0,164 [0.153]	-3,047 [-3.226]
LKI	6,597 [7.345]	6,356 [7.345]	-38,669 [-33.531]	0,114 [0.122]	-4,39 [-4.076]
LTUFE	7,974 [8.079]	7,175 [8.079]	-48,226 [-42.522]	0,102 [0.108]	-4,909 [-4.608]

Indicates stationarity at the 5% significance level. The values in parentheses represent critical values generated using 1,000 iterations with bootstrap.

In Table 7, after taking the first differences of the series, the Pr , $\text{M}\pi$, Mz , and MSB statistics became significant, indicating that the series are stationary at their first differences and have achieved stationarity.

4.5. Maki Multiple Structural Break Cointegration Test Results

If the structural breaks present in the series used in the study are ignored, the cointegration tests conducted tend to indicate that there is no cointegration relationship among the series. Therefore, when structural breaks are present in the analysis, it is essential to integrate them into the examination (Göçer et al 2013). The cointegration test developed by Maki, which allows for the endogenous determination of structural breaks, permits the inclusion of up to five structural breaks in the analysis (Maki, 2012).

Table 8

Maki Multiple Structural Break Cointegration Test Results for Supply-Side Series

	At Most 1 Break	At Most 3 Breaks	At Most 2 Breaks	At Most 4 Breaks
Model 0 (Level)	-3,331[-5,341]**	-4,317 [-5,517]**	-4,317 [-5,912]**	-4,842[-6,345]**
Model 1 (Regime Shift)	-4,081 [-5,645]**	-4,204 [-5,796]**	-4,571[-5,957]**	-4,811 [-6,086]**
Model 2 (Trend Shift in Regime)	-5,088 [-6,035]**	-5,088 [-6,702]**	-5,088 [-7,018]**	-6,125 [-7,650]**
Model 3 (Shift in Intercept and Trend)	-6,314 [-6,464]	-7,074 [-7,201]**	-7,127 [-7,743]**	-7,127 [-8,269]**

Values in [] represent the critical values at the 5% significance level calculated by the GAUSS program. ** indicates the presence of a cointegration relationship at the 5% significance level.

Examining Table 8, it is observed that in all models, the calculated test statistics are smaller than the critical values. Therefore, no significant cointegration relationship is found between the supply-side series and the housing price index. This indicates that the series do not move together in the long run, and conducting long-term analysis using level values may pose a spurious regression risk. As a result, it has been concluded that estimating long-term cointegration coefficients between the series is not appropriate.

Table 9

Maki Multiple Structural Break Cointegration Test Results for Demand-Side Series

	At Most 1 Break	At Most 3 Breaks	At Most 2 Breaks	At Most 4 Breaks
Model 0 (Level)	-3,851 [-5,650]**	-4,126 [-5,839]**	-4,126[-5,992]**	-4,518[-6,132]**
Model 1 (Regime Shift)	-4,145[-5,913]**	-4,595[-6,055]**	-4,726[-6,214]**	-4,770[-6,373]**
Model 2 (Trend Shift in Regime)	-4,388[-6,520]**	-4,888[-7,244]**	-4,949[-7,803]**	-5,507[-8,292]**
Model 3 (Shift in Intercept and Trend)	-4,446[-6,911]**	-5,457[-7,638]**	-5,457[-8,254]**	-6,826[-8,871]**

Values in [] represent the critical values at the 5% significance level calculated by the GAUSS program. ** indicates the presence of a cointegration relationship at the 5% significance level.

Examining Table 9, it is observed that in all models, the calculated test statistics are smaller than the critical values. Therefore, no significant cointegration relationship is found between the demand-side series and the housing price index. This indicates that the series do not move together in the long run, and conducting long-term

4.5.1. Maki Cointegration Test Results for Supply-Side Series

In this section, the Maki cointegration test, which accounts for multiple structural breaks, was applied to determine the long-term equilibrium relationship between supply-side series and the housing price index, and the existence of a cointegration relationship was evaluated. Since the Bai-Perron multiple structural break analysis previously identified up to four structural breaks in the supply-side series and the dependent variable, the Maki test was applied to provide results for up to four structural breaks:

4.5.2. Maki Cointegration Test Results for Demand-Side Series

In this section, the Maki cointegration test, which accounts for multiple structural breaks, was applied to determine the long-term equilibrium relationship between demand-side series and the housing price index, and the existence of a cointegration relationship was evaluated. Since the Bai-Perron multiple structural break analysis previously identified up to four structural breaks in the demand-side series, the Maki test was applied to provide results for up to four structural breaks.

analysis using level values may pose a spurious regression risk. As a result, it has been concluded that estimating long-term cointegration coefficients between the series is not appropriate.

4.6. Fourier Toda-Yamamoto Causality Test Results

The Fourier Toda-Yamamoto test enhances the traditional Toda-Yamamoto causality test by providing a more effective approach to handling structural breaks in time series. This method is particularly useful in financial time series where structural breaks do not occur abruptly but rather emerge gradually over time. By incorporating Fourier functions, the test improves the reliability of results, especially in cases where structural breaks develop progressively.

A significant contribution to the development of this method was made by Şaban Nazlıoğlu, who integrated Fourier functions into the model. This addition enables a more flexible modeling approach, particularly when structural breaks appear gradually rather than

instantaneously (Nazlıoğlu et al, 2016). By extending the test with Fourier functions, this approach eliminates the need for prior knowledge regarding the number, timing, or nature of structural changes, thereby increasing the model's accuracy. Thanks to Nazlıoğlu's contributions, this method has been successfully applied in capturing gradual structural breaks and has been widely used in financial market analyses.

The results of the Fourier Toda-Yamamoto Causality Test for supply-side series, which examine the causal relationships between the housing price index and other variables, are presented in Table 10:

Table 10
Causality Test Results for Supply-Side Series

Fourier Toda-Yamamoto Causality Test Results for Supply-Side Series					
H ₀	Lag Length	Frequency	Test Statistic	Asymptotic (p-value) Probability	Bootstrap (p-value) Probability Value
LKFE ≠>LCUE	2	3	1,731	0,045**	0,038**
LCUE ≠>LKFE	2	3	0,811	0,666	0,679
LKFE ≠>LIME	2	3	12,877	0.002***	0.001***
LIME ≠>LKFE	2	3	23,366	0***	0***
LKFE ≠>LYR	2	3	0,495	0,781	0,754
LYR ≠>LKFE	2	3	0,142	0,931	0,92

*, **, *** indicate statistical significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively. The analyses were conducted using 1,000 bootstrap simulations.

Examining the results in Table 10, a unidirectional causality relationship is identified from the housing price index to the cement production index at the 5% significance level. However, no causality relationship is found from the cement production index to the housing price index. Additionally, a bidirectional causality relationship exists between the housing price index and the construction cost index, indicating that both variables mutually influence each other.

The results of the Fourier Toda-Yamamoto Causality Test for demand-side series, examining the causal relationships between the housing price index and other variables, are presented in Table 11:

Table 11
Causality Test Results for Demand-Side Series

Fourier Toda-Yamamoto Causality Test Results for Demand-Side Series					
H ₀	Lag Length	Frequency	Test Statistic	Asymptotic (p-value) Probability	Bootstrap (p-value) Probability Value
LKFE ≠>LYKI	3	3	9,802	0.02**	0.02**
LYKI ≠>LKFE	3	3	1,322	0,724	0,727
LKFE ≠>LSUE	3	3	24,608	0***	0***
LSUE ≠>LKFE	2	3	10,619	0.014**	0.024**
LKFE ≠>LKSI	2	3	10,204	0.006***	0.011**
LKSI ≠>LKFE	2	3	5,742	0.057*	0.076*
LKFE ≠>LKI	2	3	3,565	0,168	0,18
LKI ≠>LKFE	2	3	37,934	0***	0***
LKFE ≠>LTUFE	4	3	29,195	0***	0***
LTUFE ≠>LKFE	4	3	43,628	0***	0***

*, **, *** indicate statistical significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively. The analyses were conducted using 1,000 bootstrap simulations.

Examining the results in Table 11, a unidirectional causality relationship is identified between the housing price index and the occupancy permit variable. This relationship is detected from occupancy permits to the housing price index at the 5% significance level. A strong causality relationship is observed from the housing price index to the industrial production index at the 1% significance level, indicating that changes in housing prices significantly influence

industrial production. Additionally, a bidirectional causality relationship exists between the industrial production index and the housing price index at the 5% significance level, suggesting mutual influence. A strong causality relationship is also found from the housing price index to housing sales statistics at the 1% significance level. When analyzing the causality relationship between housing sales statistics and the housing price index, a limited causality relationship

is detected at the 10% significance level. Regarding the relationship between the housing price index and the weighted average interest rates on housing loans, a strong causality relationship is identified from interest rates to the housing price index at the 1% significance level. Finally, when examining the causality relationship between the housing price index and the consumer price index (CPI), it is found that both variables strongly influence each other at the 1% significance level.

5. Conclusion

This study analyzes the supply- and demand-side variables affecting the housing price index in Turkey, revealing the impact of macroeconomic factors on the housing market. The study's unique contribution lies in incorporating structural breaks into all analyses when conducting time series analysis. This approach allows for a more accurate identification of the effects of economic shocks and sudden market dynamics on housing prices. The empirical findings indicate that housing prices are highly sensitive to both supply and demand factors.

In supply-side analyses, significant causality relationships were identified between the cement production index, construction cost index, and the housing price index. These findings suggest that construction costs and production capacity in the sector directly impact housing prices. In this context, controlling the costs of construction materials and providing incentives to the construction sector could contribute to a more balanced price formation in the housing market. The study's results align with previous research emphasizing the sensitivity of housing prices to cost dynamics on the supply side. However, no relationship was found between building permits and the housing price index, suggesting that building permits do not directly influence housing price determination.

In demand-side analyses, significant causality relationships were found between the housing price index and occupancy permits,

industrial production index, housing sales statistics, interest rates, and the consumer price index (CPI). Particularly, macroeconomic indicators such as interest rates and inflation emerged as key determinants of housing market demand fluctuations. The findings are generally consistent with the existing literature on demand-side housing market dynamics. Policies aimed at controlling interest rates and reducing inflation are crucial for ensuring a sustainable price balance in the housing market. Additionally, policies supporting economic growth should be aligned with supply-side strategies to effectively accommodate rising housing demand.

This study contributes to both the academic literature and policy decision-making by highlighting the sensitivity of the housing market to macroeconomic indicators. In terms of academic contribution, empirical analyses incorporating structural breaks provide a new framework for understanding the long-term impact of economic shocks on housing prices. By going beyond traditional time series analysis, this study enables a more accurate interpretation of sudden changes in market conditions.

From a policy perspective, strategies for managing costs and supply should be developed to reduce housing market fluctuations and ensure price stability. Given the structural breaks identified, effective management of variables such as interest rates and inflation can contribute to a sustainable housing market balance. In particular, reducing construction costs and improving financing conditions can help stabilize the market while increasing investor and consumer confidence.

Future research can expand on these findings by conducting similar analyses across different countries and regions, offering a broader perspective on housing market dynamics. Additionally, further studies should focus on developing effective policy strategies to reduce market volatility and ensure long-term housing price stability.

References

- Abasimi, I., Aulia, A. R., and Khasanah, U. (2023). Analysis Of House Price Determination In 13 G20 Countries: Random Effect Model. *Journal Of Asset Management And Public Economy (JAMPE)*, 2(2): 65-81.
- Akyol Özcan, K. (2023). Konut Fiyat Endeksi Belirleyicileri Üzerine Bir Araştırma: Asimetrik Eş Bütünleşme Analizi. *Ekev Akademi Dergisi*, 2023(93): 283-307.
- Kaya A. (2012). Türkiye'de Konut Fiyatlarını Etkileyen Faktörlerin Hedonik Fiyat Modeli ile Belirlenmesi. *Uzmanlık Yeterlilik Tezi*, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, İstatistik Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Aydın, S. (2023). Türkiye'de Konut Fiyatları ile Makroekonomik Göstergeler Arasında Nedensellik İlişkisinin Belirlenmesine Yönelik Analiz. *Turkish Business Journal*, 4(8): 83-100. <https://doi.org/10.51727/tbj.1347523>.
- Bai, J., and Perron, P. (1998). Estimating And Testing Linear Models With Multiple Structural Changes. *Econometrica*, 66(1):47-78. <https://doi.org/10.2307/2998540>.
- Carrion-İ-Silvestre, J. L., Kim, D., and Perron, P. (2007). GLS-Based Unit Root Tests With Multiple Structural Breaks Both Under The Null And The Alternative Hypotheses. 1-54.
- Dilek, M. (1988). Zaman Serilerinde Mevsimlik Hareketlere İlişkin Varyans Analizi Testi. T. C. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi: 68-74.
- Ding, X. (2022). Macroeconomic factors affecting housing prices: Take the United States as an example. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 648: 2335-2339. *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2022)*.
- Göçer, İ., Mercan, M., and Peker, O. (2013). Kredi Hacmi Artışının Cari Açığa Etkisi: Çoklu Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Analizi. *Ekonometri ve İstatistik*: 1-17.
- Hilbers, P., Hoffmaister, A. W., Banerji, A., and Shi, H. (2008). House Price Developments In Europe: A Comparison. *IMF Working Paper No. WP/08/211*. International Monetary Fund.
- Lee, G.-H., and Lee, H. (2014). A Comparison Study Of Seasonal Adjusted Series Using The X-13ARIMA-SEATS. *The Korean Journal Of Applied Statistics*: 133-146.
- Maki, D. (2012). Tests For Cointegration Allowing For An Unknown Number Of Breaks. *Faculty Of Economics, Ryukoku University*, 2011-2015.
- Nazhoğlu, Ş., Görmüş, A., and Soytas, U. (2016). Oil Prices And Real Estate Investment Trusts (REITs): Gradual-Shift Causality And Volatility Transmission Analysis. *Energy Economics*: 1-30.
- Nneji, O., Brooks, C., and Ward, C. W. R. (2013). House Price Dynamics And Their Reaction To Macroeconomic Changes. *Economic Modelling*: 32, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.02.019>.
- Öztürk, S., and Gövdere, B. (2010). Küresel Finansal Kriz ve Türkiye Ekonomisine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1):377-397.
- Russo E. and Foster-McGregor N. (2021). Characterizing Growth Instability: New Evidence On Unit Roots And Structural Breaks In Countries' Long Run Trajectories. *Journal of Evolutionary Economics* (2022) 32:713-756
- Shinwari, S., and Özdemir, D. (2022). Türkiye'de Sanayi Üretim Ve Tüketici Fiyat Endeksinin Konut Fiyat Endeksi Üzerindeki Etkisi: ARDL Sınır Testi Analizi. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 26(1): 61-81.
- Soylu, A. T. and Kaynak, S. (2024). Konut Fiyatları ve Değişkenliğinin Modellenmesi: Türkiye Örneği. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 10(2): 195-214. <https://doi.org/10.20979/ueyd.1448425>.
- Şeyranlıoğlu, O. (2023). Konut Fiyatları ile Makroekonomik ve Finansal Göstergeler Arasındaki İlişki: Bootstrap Nedensellik Testi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*:1713-1732.
- Xifilidou, A., Vagiona, D., and Karanikolas, N. (2014). Estimating The Willingness To Pay Of Thessaloniki's Residents For The Increase Of The

- Green Spaces And Exploring Its Effects To The Real Estate Values. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(11): 2750-2754.
- Yıldırım, M. O. (2017). Türkiye Ekonomisinde Konut Piyasası Dinamiklerinin Analizi (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Yiu, C. Y. and Murray, T. (2024). Housing Price-Vacancy Dynamics—An Empirical Study Of The Hong Kong Housing Market. *International Journal Of Financial Studies*, 12(74). <https://doi.org/10.3390/ijfs12030074>.
- Zulkifli, A. B., Kogid, M., Pinjaman, S., & Alin, J. M. (2022). Macroeconomic Variables And Malaysia House Price Index. *International Journal Of Academic Research In Economics & Management Sciences*, 11(1): 106-116. <https://doi.org/10.6007/IJAREMS/V11-I1/12214>.



Enerji Yoksulluğu, Gelir Dağılımı ve Makroekonomik İstikrar: Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Bir Değerlendirme

Energy Poverty, Income Distribution, and Macroeconomic Stability: An Evaluation from the Perspective of Sustainable Development

Yunus BUDAK¹

¹ Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Ağrı/Türkiye, ynsbdko4@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma, enerji yoksulluğunu sadece enerjiye fiziksel erişimle sınırlı bir sorun olarak değil, aynı zamanda gelir dağılımı eşitsizlikleri, sosyal dışlanma, bölgesel kalkınma farkları ve makroekonomik istikrar üzerindeki etkileriyle birlikte değerlendiren çok boyutlu bir kalkınma meselesi olarak ele almaktadır. Türkiye örneği üzerinden yürütülen analizlerde, enerji yoksulluğunun özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaştığı; altyapı eksiklikleri, düşük gelir düzeyleri ve sosyal koruma mekanizmalarının yetersizliği nedeniyle kırılgan gruplar üzerinde orantısız etkiler yarattığı görülmektedir. Bu bölgelerdeki bazı hanelerin evlerini yeterince ısıtamadıkları ve enerji maliyetlerini karşılamakta zorlandıkları görülmektedir. Bu durum, enerji yoksulluğunu yalnızca bireysel refah kaybı bağlamında değil; aynı zamanda toplumsal eşitsizlikleri ve ekonomik kırılganlıkları derinleştiren yapısal bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır. Çalışmada, enerjiye erişimdeki eşitsizliklerin azaltılması amacıyla politika önerileri geliştirilmiş; sosyal yardımların daha hassas hedefleme mekanizmaları ile desteklenmesi, enerji verimliliği projelerinin yaygınlaştırılması ve yerel yenilenebilir enerji çözümlerinin teşvik edilmesi önerilmiştir. Ayrıca, enerji yoksulluğunun yalnızca sosyal politika ekseninde değil, makroekonomik istikrar çerçevesinde de ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, enerji politikalarının sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda sosyal adalet, ekonomik denge ve çevresel sürdürülebilirliği gözetken bütüncül bir yaklaşımla yeniden yapılandırılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Yoksulluğu, Gelir Dağılımı, Makroekonomik İstikrar, Sürdürülebilir Kalkınma

ABSTRACT

This study approaches energy poverty not merely as an issue of physical access to energy but as a multidimensional development problem, considering its implications for income distribution inequalities, social exclusion, regional development disparities, and macroeconomic stability. Through analyses conducted on the case of Turkey, it is observed that energy poverty is particularly concentrated in the Eastern and Southeastern Anatolia regions, disproportionately affecting vulnerable groups due to infrastructural deficiencies, low income levels, and insufficient social protection mechanisms. It is observed that some households in these regions are unable to adequately heat their homes and struggle to afford energy costs. This situation positions energy poverty not only as a matter of individual welfare loss but also as a structural problem that deepens social inequalities and economic vulnerabilities. In this study, policy recommendations are developed to reduce inequalities in energy access, including enhancing social assistance through more precise targeting mechanisms, promoting energy efficiency projects, and encouraging local renewable energy solutions. Moreover, it is emphasized that energy poverty should be addressed not only within the framework of social policy but also from the perspective of macroeconomic stability. In this context, the study underscores the need to restructure energy policies with a holistic approach that prioritizes social justice, economic balance, and environmental sustainability in line with sustainable development goals.

Keywords: Energy Poverty, Income Distribution, Macroeconomic Stability, Sustainable Development

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 27 Nisan 2025

Kabul Tarihi: 02 Temmuz 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Yunus BUDAK

ARTICLE INFOS

Article History

Received: April 27, 2025

Accepted: July 02, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Yunus BUDAK

1. Giriş

Ekonomik büyüme, üretim ve yaşamın sürdürülebilirliği açısından enerji vazgeçilmez bir kaynak olarak görülmektedir.

Sanayi toplumlarının değişimi ile birlikte talep edilen enerji hem üretim süreçleri için hem de birey ve toplumların günlük yaşamları için vazgeçilmez bir gereksinim olmuştur. Enerjiye ulaşım herkes için aynı düzeyde ve kolaylıkta olmamaktadır. Özellikle düşük gelire

sahip hane halklarının “enerji yoksulluğu” olarak ifade edilen iktisadi ve sosyal problemlerinin ortaya çıkması bu kavrama daha da önem verilmesi hususunu ortaya koymuştur. Enerji yoksulluğu sadece enerjiye fiziksel anlamda ulaşamama değil, aynı zamanda hanelerin ısınması, aydınlatılması ve bilgiye erişememe gibi temel insani gereksinimlerin iktisadi koşullar nedeni ile karşılanmaması olarak ifade edilebilir (Bouzarovski, 2014: 276-289).

Enerji yoksulluğu temel olarak “modern enerji olanaklarına erişememek” biçiminde ifade edilebilir (International Energy Agency, 2010). Bu durum yalnızca gelişmekte olan ekonomilerde değil, gelişmiş ekonomilerde de görülebilmekte ve düşük enerji tüketimi ile kirli ya da kirlenici yakıt tüketimi gibi nedenlerle refahı olumsuz yönde etkilemektedir. Enerjiye erişim, her şeyden önce insani gelişim için temel bir ön koşuldur. Bir ulusun zenginliği ve kalkınmışlık düzeyi, vatandaşlarının enerjiye erişim imkânları ve bu erişimin niteliğiyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle enerji erişim olanaklarının iyileştirilmesi, hükümetlerin mücadele etmesi gereken sorunlar arasında değerlendirilmektedir. Küresel bağlamda önem arz eden ve bu yönde politika önerilerine konu olan enerji yoksulluğu, “Sürdürülebilir Kalkınma” hedefleri kapsamında Birleşmiş Milletler başta olmak üzere Avrupa Birliği (AB) ve diğer kuruluşlar tarafından dikkatle takip edilmektedir.

Enerji yoksulluğu ve gelir dağılımındaki bozukluklar birbirleri ile yakından ilgilidir. Enerji fiyatlarındaki artışların düşük gelirli haneler için daha savunmasız bir kırılganlık oluşturmaktadır. Aynı zamanda enerjiye erişim için katlanılması gereken maliyetler toplumdaki alt gelir grupları ve dezavantajlı gruplara dengesiz bir şekilde uygulanmaktadır (Middlemiss ve Gillard, 2015: 146-154). Bu şekilde sosyal eşitsizlikler derin iktisadi sorunlara neden olurken, aynı zamanda bireylerin tüketimlerini ve iç taleplerini kısıtlayarak ekonomi üzerinde istikrarlı bir yapıya dönüşümü tetikleyebilmektedir. Enerji giderlerinden kaynaklı olarak bireylerin temel ihtiyaçlarından vazgeçmeleri, yoksulluk döngüsünden çıkamamalarına ve böylece ekonomik büyümenin tabandaki kesimler tarafından hissedilememesine yol açmaktadır.

Erişilebilir ve temiz enerji, sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu hedef, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda iktisadi ve sosyal bütünlük bakımından da büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, enerjiye erişim hakkı hem iktisadi eşitlik hem de sosyal adalet ilkeleri çerçevesinde birlikte ele alınmalıdır. Sürdürülebilirlik kalkınmaya sadece iktisadi büyüme olarak bakılmamalı, aynı zamanda büyümenin adil ve dengeli bir şekilde toplumun tüm kesimlerine yansımaları olarak kabul edilmelidir (United Nations, 2015a). Bu açıdan bakıldığında enerji yoksunluğunu azaltmaya yönelik politika setleri yalnızca altyapı yatırımları ile değil, aynı zamanda gelir dağılımının adil olmasını sağlayan, sosyal destek programlarını önceleyen ve enerji fiyatlandırma sosyal dengeyi gözetten bir mekanizma kurulmalıdır.

Makroekonomik istikrar; fiyatlar genel düzeylerinde kontrolün sağlanması, işsizlik, kamu borçlanmaları ve dış ticaret dengesi gibi temel ekonomik göstergelerin birbirleri ile uyum düzeyini göstermektedir. Enerji ithalatına yüksek oranda bağlı olan ülkelerin enerji piyasasında dalgalanmalar yaşadığında makroekonomik dengesizlik en üst düzeyde olmaktadır. Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı olan ülkelerin enerji maliyetlerinde oluşan artışlar ve döviz kuru üzerindeki baskıya bakıldığında enerji arzının sadece teknik bir mesele olmadığı, aynı zamanda makroekonomik bir sorun teşkil ettiği açıkça görülecektir. Enerji fiyatlarının düşük gelirli kesimlere olan etkileri kamu maliye politikaları için yakından ilgilenilmesi gereken sosyal bir alandır. Yapılan yardımlar bütçe dengesi açısından dikkatlice takip edilmelidir.

Bu makale; enerji yoksulluğunu sadece bireysel bir refah sorunu açısından ele almamakta, aynı zamanda gelir dağılımı, makroekonomik bir yaklaşım ve ekonomik istikrarın temel taşlarından biri olarak ele almayı hedeflemektedir. Bu açıdan çalışma, ilk olarak enerji yoksulluğu kavramını kuramsal açıdan araştırmaktadır. İkinci olarak Türkiye özelinde gelir dağılımı, enerji kullanım profilleri ve enerji fiyatlarının ekonomi üzerinde nasıl etkilerinin olduğunu irdelemektedir. Çalışmada, sürdürülebilirlik kalkınma yaklaşımı doğrultusunda enerji politikalarında sosyal yönü incelenerek, enerji yoksulluğunun önüne geçebilmek için bütüncül ve çok boyutlu politika yaklaşımlarına katkı sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada; nitel ağırlıklı, karşılaştırmalı ve çok boyutlu bir yöntem benimsenerek yapılan analizler sonucunda, enerji yoksulluğunun yalnızca teknik bir sorun değil; aynı zamanda ekonomik, sosyal ve toplumsal yönleriyle birlikte ele alınması gerektiği açıkça ortaya konmuştur.

2. Kavramsal ve Kuramsal Çerçeve

Enerji yoksulluğu son zamanlara hem kalkınmakta olan ülkelerin hem de gelişmiş ekonomilerin temel sorunu haline dönüşmüştür. Enerjiye ulaşım birey ve toplumların yaşam kalitesini etkileyen önemli bir parametredir. Bununla birlikte sosyal eşitlik açısından dengesizlik oluşturabilecek bir etkiye sahiptir. Literatüre bakıldığında enerji yoksulluğu, bireylerin ve hanelerin ısınma, aydınlatma, pişirme ve iletişim gibi temel enerji hizmetlerine bile erişemeyecek kadar ekonomik baskı altında olması şeklinde tanımlanır (Bouzarovski, 2014: 276-289). Bu tanıma göre; enerji yoksulluğunun sadece teknik altyapı ile ilgili olmadığı, aynı zamanda gelir, enerji fiyatları, konutların fiziki durumu ve sosyal politika araçları ile de doğrudan ilişkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Barnes (2010) enerji yoksulluğunun tanımı ve ölçümü için savunduğu dört farklı durumu aşağıdaki gibi ifade etmektedir:

1. Yemek pişirme ve aydınlatma gibi temel ihtiyaçlar için gerekli olan minimum fiziksel enerji ihtiyacı,
2. Yoksulluk çizgisinde kullanılan enerji türü ve miktarı,
3. Toplam harcamaların belirli bir yüzdesinden fazlasının enerjiye harcanması,
4. Asgari enerji talebi doğrultusunda enerji kullanımı ve/veya harcamalarının aynı kalması koşuluyla, belirli bir gelir düzeyinin altında kalınmasıdır.

Gelir dağılımı ve enerji yoksulluğu arasında anlamlı ve yüksek düzeyde bir ilişki gözlemlenmektedir. Enerji harcamalarına bakıldığında toplam gelir içindeki payının alt gelir gruplarında daha fazla olduğu görülecektir. Bu sonuç enerji yoksulluğunun kronik bir eşitsizliğe neden olacağı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır (Healy ve Clinch, 2004: 207-220). Gelir dağılımı dengesizliklerinin fazla yaşandığı ülkelerde enerji fiyatlarındaki negatif değişimler düşük gelirli haneler için yaşam kalitesini bozucu etki oluşturmakta ve sosyal bütünlüğü tehdit edici bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylelikle enerji yoksulluğu temel ekonomik ve sosyal bir sorun yumağı haline gelmiştir.

Enerji adaleti kavramı, enerjiye erişimde gözlemlenen eşitsizliklerin, yalnızca teknik ya da ekonomik bir sorun olarak değil; sosyal adalet ekseninde ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Jenkins vd. (2016), enerji adaleti kavramını; prosedürel, dağıtım ve tanıma adaleti olarak üç ana ilke çerçevesinde temellendirmiştir. Bu açıdan enerjinin herkes için erişilebilir olması, enerji kullanım maliyetlerinin düşük olması, karar alma mekanizmalarının tabana yayılmış olması, dezavantajlı grupların ihtiyaçlarını karşılayabilecek düzeyde olması enerji plan ve politikalarının toplumsal kabulünü güçlendirmektedir. Aynı zamanda sosyal bütünlüğü arttırıcı bir unsur haline dönüşmektedir. Sürdürülebilir kalkınma anlayışına

uygun olan bu bakış açısı, BM'nin 2030 Sürdürülebilirlik Kalkınma hedeflerini içinde bulunan temiz, erişilebilir ve güvenilir enerji ilkesi enerji yoksulluğu ile mücadelede önemli bir sorumluluk mekanizması haline getirmiştir (UNDP, 2022: 1-43).

Enerji yoksulluğu ve makroekonomik istikrar arasında var olan ilişki Keynesyen iktisat anlayışı ile açıklanabilmektedir. Düşük gelirli bireylerin marjinal tüketim eğilimleri yüksektir. Bu nedenle bu grupların gelir eşitsizliğinin azaltılması sonucu toplam talep üzerinde pozitif bir etki olduğu savunulur. Bu açıdan bakıldığında, enerjiye erişimde sıkıntı yaşayanların desteklenmesi hem ekonomik büyüme hem de sosyal refah üzerinde iyileştirici bir etki yaratacaktır. Enerji yoksulluğu, bireylerin tüketim harcamalarını baskılayarak toplam talebin azalmasına neden olmakta ve bu durumdan kaynaklı ekonomik yavaşlama meydana gelmektedir.

Enerji arz güvenliği ve fiyat istikrarı, makroekonomik istikrarın temel unsurlarındandır. Enerji fiyatlarındaki dengesiz artışlar, enflasyona neden olmakta, üretim girdi maliyetlerini artırmakta ve dış ticaret dengesizliğine yol açmaktadır. Bu gibi sorunlarla karşı karşıya kalmamak için enerji, ekonomi ve çevre bağlantısını bir bütün olarak ele alan E3 modelleri geliştirilmiştir. E3 modelleri, genel denge teorisine dayanan ve üç temel alanın (enerji, ekonomi, çevre) karşılıklı etkileşimini sistematik biçimde ele alan modelleme yaklaşımlarıdır. Özellikle sürdürülebilir kalkınma ve çevresel Kuznets eğrisi gibi çevresel ekonomik teorilerle ilişkilendirilen bu modeller, enerji politikalarının iktisadi büyüme, karbon emisyonları ve sosyal refah üzerindeki etkilerini birlikte analiz etmeye yardımcı olmaktadır (Böhringer ve Rutherford, 2008, 574-596). Ayrıca, enerji yoksulluğu gibi sosyal boyutları da makroekonomik politika çerçevesine entegre ederek, sosyal etkilerin karar alma süreçlerinde daha etkin biçimde dikkate alınmasını sağlamaktadır.

Gelir adaletsizliğinin yoğun olduğu ve enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde, enerji yoksulluğu sosyal politika ve makroekonomik planlamalar kapsamında önemli bir sorun haline dönüşmüştür. Enerjiye erişimin bu gibi ülkelerde sadece arz kaynaklı değil; diğer yandan gelir politikaları, fiyat kolaylıkları ve sosyal yardımlar ile desteklenmesi öncelikli hale gelmelidir. Sürdürülebilir kalkınma birlikte enerji üretiminden kaynaklı çevresel etkiler minimize edilecek ve enerji tüketiminin meydana getirdiği toplumsal etkiler dengeli bir zemine yerleşecektir. Konuya bütüncül bakıldığında enerji yoksulluğu ekonomik istikrarın devamlılığı için önemli bir dinamiğe sahiptir.

3. Amaç, Yöntem, Kapsam ve Literatür

Çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki enerji yoksulluğu durumunu; gelir dağılımı ve makroekonomik istikrarla birlikte bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirerek, kalkınmanın sürdürülebilirlik hedefleriyle olan bağlantısını açıklamaya çalışmaktır. Enerjiye erişim sadece teknik altyapı ile özdeşleştirilemeyeceği, aynı zamanda sosyal adalet, makroekonomik istikrar ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle yakın etkileşim içinde oldukları varsayımı temel alınmıştır. Bu şekilde, enerji yoksulluğu için geliştirilen politikaların ne kadar etkili olduğu değerlendirilmiş ve gelecekte sosyal ve ekonomik açıdan hangi alternatif çözüm yollarının tartışılabileceği ele alınmıştır.

Bu çalışmada, nitel ağırlıklı, karşılaştırmalı ve çok boyutlu bir yöntem benimsenmiştir. İlk aşamada literatür taraması yoluyla enerji yoksulluğunun kuramsal temelleri ortaya konmuş; devamında ise Türkiye'nin mevcut durumunu yansıtan güncel istatistiksel veriler analiz edilmiştir. Kavramsal çerçevede özellikle enerji adaleti, gelir eşitsizliği ve enerjiye erişim gibi temalar ön plana çıkarılmış; uluslararası düzeyde öne çıkan iyi uygulama örnekleri karşılaştırmalı analiz yöntemiyle değerlendirilerek Türkiye

bağlamına özgü politika önerileri geliştirilmiştir. Temel veri kaynakları olarak TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), UNDP (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı), Dünya Bankası ve uluslararası akademik yayınlar kullanılmış; bu veriler ışığında konu hem mikro hem de makro düzeyde çok katmanlı biçimde ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında, enerji yoksulluğu konusu iktisadi, sosyal ve çevresel faktörlerle birlikte ele alınmaktadır. Türkiye özelinde enerji yoksulluğunun değerlendirilmesi bölgesel farklılıklar, dezavantajlı gruplar üzerinde oluşturduğu sosyoekonomik etkiler ve sosyal destek alanları ele alınarak incelenmiştir. Bununla birlikte enerji fiyatlarının enflasyon, tüketim, tasarruf ve dış ticarete olan etkilerinin analizleri verilmeye çalışılmıştır. Küresel ölçekte dikkat çeken örnekler arasında Almanya, İngiltere ve Hindistan'da var olan uygulamalardan bazı çıkarımlar elde edilmiştir. Bu çıkarımlar Türkiye için örnek teşkil etmektedir. Bu bağlamda politikaların oluşturulmasında genel bir çerçeve çizilerek geleceğe yönelik daha temkinli uygulamaların önünün açılması istenilmiştir.

Literatüre bakıldığında enerji yoksulluğunun hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde sosyal politikanın ana unsuru haline geldiği görülmektedir. Bouzarovski (2014), enerji yoksulluğunu bir yapısal eşitsizlik olarak görmekte ve bu duruma gelir düzeyi, konut kalitesi ve enerji sistemleri gibi faktörlerin neden olduğunu söylemektedir. Middlemiss ve Gillard (2015), enerji yoksulluğunu bireyler açısından ele alarak “yaşantısal kırılma” bağlamında değerlendirmekte ve sonuçları itibarı ile sosyal dışlanmayla ilintili olduğunu ifade etmektedir. Jenkins vd. (2016) enerjinin adilliği açısından konuya yaklaşıp; dağıtım adaleti üzerinde durmuş ve enerji adaletinin yalnızca ekonomik olmadığı aynı zamanda etik bir sorumluluk olduğunu savunmuştur.

Türkiye özelinde gerçekleştirilen araştırmalar, enerji yoksulluğunun genellikle düşük gelire sahip ve kırsalda daha fazla hissedildiği görülmektedir. Türkiye'nin enerji ithalatına olan bağımlılığı, enerji fiyatlarının ekonomik göstergeler üzerinde baskı oluşturmaya neden olmaktadır. Ürge-Vorsatz ve Herrero (2012), enerji yoksulluğu ile iklim politikalarının bütüncül bir çerçevede ele alınması gerektiğini ileri sürmektedir. Bu bağlamda enerji verimliliği politikalarının sosyal faydayı bütüncül bir şekilde kapsayacak şekilde tekrardan düzenlenmesinin gerekliliğini savunmuştur.

Barnes vd. (2011), Bangladeş'in kırsal bölgelerinde yürüttükleri araştırmada, enerji yoksulluğu sınırını belirlemek amacıyla talep yönlü bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu çerçevede enerji yoksulluğu sınırı, hane halkı gelirinde artış yaşandıkça enerji tüketiminde gözlemlenen artışın başladığı eşik nokta olarak tanımlanmıştır. Söz konusu eşik değerin altında kalan hanelerde enerji tüketimi oldukça sınırlıdır. Analiz bulgularına göre, kırsal bölgelerde yaşayan hane halklarının %58'i enerji yoksulu, %45'i ise gelir yoksulu olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, iyileştirilmiş biyoyakıt sobalarının kullanımının teşvik edilmesi ve kırsal elektrifikasyon uygulamalarının yaygınlaştırılmasının enerji yoksulluğunu azaltma potansiyeli taşıdığı ifade edilmiştir.

Özcan vd. (2013), Türkiye'de gerçekleştirdikleri çalışmada, bireylerin refah düzeyinin ve eğitim seviyesinin enerji kaynağı tercihleri üzerinde belirleyici bir etkisinin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada dikkat çeken bir diğer bulgu ise, bireylerin yaşlarının da enerji tercihlerinde anlamlı bir rol oynadığıdır. Bu ve benzeri çalışmaların ortak noktası, özellikle gelir düzeyinin enerji tercihlerinde etkili olduğunu ve gelir arttıkça hanelerin hem daha fazla enerji tükettiklerini hem de modern enerji kaynaklarına yönelme eğiliminde olduklarını göstermesidir.

Groh (2014), altyapı yoksunluğu yaşayan ve düşük gelir grubuna mensup hane halkları ile küçük ölçekli işletmelerin, enerji

kaynaklarına erişim için görece daha yüksek harcamalar yapmak zorunda kaldıklarını ortaya koymuştur. Çalışmanın bulguları, enerji yoksulluğu kaynaklı maliyet yükünün en yoğun biçimde en düşük gelir gruplarında hissedildiğini ve bu durumun bir tür “enerji yoksulluğu cezası” olarak tezahür ettiğini göstermektedir.

Dong ve Hao (2018), Çin’e odaklandıkları çalışmalarında 1996-2013 dönemini dinamik panel veri analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırmada, kırsal ve kentsel kesimler arasındaki gelir eşitsizliklerine odaklanılmış ve gelir eşitsizliğinin elektrik tüketimini azaltıcı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu ve benzeri çalışmalarda, genel olarak gelir dağılımındaki bozulmaların enerji tüketimini olumsuz yönde etkilediği ortaya konmaktadır.

Aghaei ve Lawell (2020), İran örneğinde enerji tüketimi, ekonomik büyüme, eşitsizlik ve yoksulluk arasındaki ilişkiyi hem makro düzeyde hem de sektörel bazda incelemişlerdir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, gelir dağılımındaki bozulma enerji talebini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bulgu, gelir eşitsizliklerinin bazı bireylerin enerjiye erişimini sınırladığına işaret etmektedir.

Murshed ve Alam (2021), Bangladeş ekonomisine odaklandıkları çalışmalarında, enerji tüketimi ile yenilenebilir enerji kullanımını belirleyen faktörleri incelemişlerdir. Araştırma bulguları, gelir eşitsizliğinin toplam enerji tüketimi üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Yazarlar, gelir eşitsizliğinde meydana gelen %1’lik bir artışın toplam enerji tüketimini yaklaşık %2,25 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuç, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan bireylerin ortalama gelir düzeylerinin düşük olması nedeniyle enerji talebinin azaldığı şeklinde yorumlanmıştır. Çalışma, 1980-2014 dönemini kapsamakta olup yapısal kırılmalar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Sonora (2021), enerji tüketiminin gelir eşitsizliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, sabit etkiler modeli ve araç değişken yönteminin kullanıldığı panel veri analiziyle 1990-2018 dönemini kapsamakta ve 144 ülkeyi içermektedir. Analiz sonuçlarına göre, enerji tüketimindeki artış, en yüksek gelir grubunda yer alan %10’luk kesimin gelirinde azalmaya neden olurken, en alt gelir grubunu oluşturan %40’lık kesimin gelirini artırmaktadır. Bu bulgular, enerji tüketimindeki artışın gelir eşitsizliğini azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın literatüre özgün katkısı, enerji yoksulluğunu yalnızca teknik veya sosyal bir problem olarak görmesi değil, aynı

zamanda gelir dağılımı, sürdürülebilir kalkınma ve makroekonomik istikrar çerçevesinde konuya yaklaşmaktır. Aynı zamanda enerjiye erişimin en temel insani haklarından biri olması sebebi ile bu alanda gerekli politika önerilerinde bulunulmasıdır. Böylelikle çalışmanın enerji politikalarının yeniden revize edilmesi ve toplumsal eşitsizliklerin azaltılması çabalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4. Enerji Yoksulluğu ve Gelir Dağılımı

Gelir dağılımı ve enerji yoksulluğu arasında doğrudan ve çok perspektifli birçok ilişki bulunmaktadır. Enerji harcamalarının gelir grupları arasında farklı pozisyonları, var olan bu ilişkinin analiz açısından kolay çözümlenemeyeceğini ortaya koymaktadır. Gelir durumu en alt seviyede olan hanelerin toplam gelirlerin büyük bir kısmını enerjiye ayırmak zorunda olduğu, bunun aksine üst gelir düzeyine sahip hanelerin bu durumun tersi bir davranış içinde oldukları dengesiz gelir dağılımından kaynaklanmaktadır. Böylelikle enerjiye ulaşma sınıfsal bir tabakalaşma ile sınırlandırılmakta ve ekonomik ayrıcalık gibi sosyal dengeyi bozucu bir duruma dönüştüğü olgusunu meydana getirmektedir (Ürge-Vorsatz ve Herrero, 2012: 83-90).

Enerji talebi üzerinde gelir eşitsizliğinin de etkili olabileceği bir durum söz konusudur. Bu noktada, gelir eşitsizliğindeki derinleşmenin enerji tüketimini azaltacağı savunulmaktadır. Hane halkı ısınma, aydınlatma ve mutfak ihtiyaçları için enerji talep etmektedir (Aghaei ve Lawell, 2020: 5). Alt gelir grubunun enerjiye harcadığı tutar toplam bütçesi içerisinde önemli bir paya sahip olduğundan gelir eşitsizliğindeki artış, alt gelir grubunda yer alanların enerjiye erişimini kısıtlayacaktır. Böylece söz konusu insanların enerji tüketiminin gelir eşitsizliği neticesinde azalması beklenektir (Sehrawat, 2020: 3632-3643). Enerji merdiveni olarak bilinen yakıt geçişindeki 3 aşamaya göre, hane halkının gelirleri arttıkça enerji talebi ve enerji tercihi bu üç aşamadaki gibi değişecektir. Bu yaklaşıma göre ilk aşama biokütledir. İkinci aşamada daha yüksek gelir düzeyine erişim ve kentleşme nedeniyle kömüre geçiş söz konusudur. Son aşamada ise, yakıt olarak doğal gaz veya elektrığe talepten bahsedilir. Kısaca hane halkı geliri arttıkça modern enerji ve toplam enerji talebi artmaktadır (Aghaei ve Lawell, 2020: 8; Nar, 2021: 613-624).

Tablo 1:

Enerji-yakıt yoksulluğu arasındaki benzerlik ve farklar (similarities and differences between energy and fuel poverty)

	Tanım alanı	Enerji yoksulluğu	Yakıt yoksulluğu
		Mevcudiyet	Parasal olarak güç yetirme
Farklar	Ölçüm yaklaşımı	EDI, MEPI	%10 barajı, Düşük gelir-Yüksek maliyet ölçümü
	Araştırma hedefi	Gelişmekte olan ülkeler	Birleşik Krallık, İrlanda, Yeni Zelanda
	Araştırma kurumu	IEA	Birleşik Krallık Hükümeti
	İklim özellikleri	Tümü	Soğuk iklimde
Benzerlikler	Araştırma sektörü	Mesken abonesi	Mesken abonesi
	Grup özellikleri	Düşük gelir	Düşük gelir
	Önemli zarar alanları	Yoksulluk, sağlık, eşitlik, sosyal gelişim	Yoksulluk, sağlık, eşitlik, sosyal gelişim

Kaynak: Emre vd., 2023: 1260

Enerji harcamaları, hanelerin gelir düzeyine göre farklılık göstermekte ve bu durum, düşük gelirli gruplar için daha büyük bir yük oluşturmaktadır. Gelir düzeyi azaldıkça enerjiye ayrılan bütçe oranı artmakta, yüksek gelirli hanelerde ise bu oran daha düşük kalmaktadır. Bu durum, enerjiye erişimde yaşanan sorunların

yalnızca fiziksel altyapıyla sınırlı olmadığını, aynı zamanda ekonomik kırılganlıkla da yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Enerji yoksulluğu bu bağlamda, yapısal ve gelir temelli bir sorun olarak ele alınmalıdır.

Düşük gelirli haneler üzerindeki bu orantısız yük, onları literatürde “enerji ikilemi” (energy dilemma) olarak tanımlanan bir çıkmaza sürüklemektedir: Hane halkı ya enerji tüketimini azaltarak konfor düzeyinden ödün vermekte ya da diğer temel ihtiyaçlarından feragat ederek enerji harcamalarını karşılamaya çalışmaktadır. Her iki senaryoda da yaşam kalitesi düşmekte; sosyal dışlanma, sağlık sorunları ve psikolojik baskı gibi ikincil etkiler kendini göstermektedir (Thomson ve Snell, 2013: 563-572). Bu bağlamda enerji yoksulluğu, yalnızca tüketim kalıplarını değil; aynı zamanda bireylerin sosyal yaşama katılımını, eğitim ve sağlık gibi temel hizmetlere erişimini de ciddi şekilde sınırlamaktadır.

Enerji yoksulluğunun gelir dağılımı üzerinde etkilerini arttıran birçok unsur vardır. Özellikle enerji vergileri ve sübvansiyonlar bu unsurların en önemlileri arasındadır. Dolaylı vergilerin görece yüksek olduğu ülkelerde enerji vergileri regresif bir karakter izlemektedir. Diğer bir ifade ile, düşük gelirli hane halkları bu vergilere şiddetli bir şekilde maruz kalmaktadır. Özel enerji ürünlerinden alınan KDV ve ÖTV gibi hazineye gelir getiren kalemler, enerji faturalarını arttırarak yoksul kesimler için ağır mali yükler meydana getirmektedir (Flues ve Thomas, 2015: 19). Sübvansiyonlara bakıldığında, enerji yoksulluğunun gelir dağılımı üzerindeki etkisi yön tayin edici konumdadır. Ancak genel enerji sübvansiyonları genelde yüksek gelirli kesimlere daha fazla fayda oluşturmaktadır. Çünkü bu kesimler enerji kullanımında daha yüksek enerji kullanmakta ve daha büyük konutlarda oturmaktadırlar. Bu açıdan bakıldığında, sübvansiyon hedeflemeleri etkin bir şekilde yapılmadığında gelir dağılımı üzerinde olumsuz sonuçlar doğuracaktır (Coady vd., 2015: 1-38). Enerji yoksulluğunun azaltılması için sübvansiyonların özellikle dezavantajlı gruplara yönelik olması gerekmektedir.

Enerji tüketimindeki eşitsizlikler sadece gelir farklarından kaynaklanmamaktadır. Bu farklar aynı zamanda coğrafi, kültürel ve yapısal faktörlerden de ortaya çıkmaktadır. Kırsal bölgelerde yaşayan hanelerde ısınmak için daha maliyetli bir yola mecbur kalmaları sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumun merkezi ısıtma sistemlerine erişememe ve verimsiz enerji kaynaklarının kullanımından meydana gelmektedir. Bununla birlikte enerjide verimliliğin daha az olduğu konutlarda aynı ısı derecesini yakalamak için daha yüksek faturalar ödemek zorunda kalmaktadır. Bu döngü enerji yoksulluğunun konut yapılaşması ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Legendre ve Ricci, 2015: 620-628).

Enerji yoksulluğu ve gelir dağılımı arasında çok boyutlu ve dinamik bir yapı söz konusudur. Düşük gelire sahip kesimler enerji harcamalarını ödemekte zorluk çekmektedir. Sübvansiyon politikalarının etkisizliği bu durumu daha da ağırlaştırabilmektedir. Enerji tüketiminde var olan eşitsizlikler sadece ekonomik unsurlardan kaynaklanmamaktadır. Bununla birlikte mekânsal ve yapısal eşitsizliklerin varlığı da durumu etkileyebilmektedir. Bu dengesizlikler enerji politikalarının yeniden düzenlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle sosyal adalet mekanizmasının etkinliği tekrardan sorgulanmalıdır.

5. Enerji Yoksulluğu ve Makroekonomik İstikrar

Enerji yoksulluğu, yalnızca bireylerin yaşam koşullarını etkileyen bir sosyal sorun değil; aynı zamanda ekonomik istikrarı tehdit eden yapısal bir unsurdur. Enerji piyasalarında yaşanan dalgalanmalar ve fiyat artışları, özellikle gelişmekte olan ülkelerde enflasyon dinamiklerini tetikleyerek makroekonomik istikrarı zayıflatma potansiyeline sahiptir. Enerji fiyatlarının genel fiyat düzeyi üzerindeki etkisi hem doğrudan (örneğin elektrik ve yakıt fiyatları)

hem de dolaylı (taşımacılık ve üretim maliyetleri) yollarla hissedilmektedir. Özellikle fosil yakıt ithalatına yüksek düzeyde bağımlı olan ekonomilerde, uluslararası enerji fiyatlarındaki artışlar döviz kuru baskısı ve maliyet enflasyonu kanalıyla tüketici fiyatları üzerinde doğrudan bir etki yaratabilmektedir. Modern enerji kaynaklarına erişim ve yoksulluk arasındaki iki yönlü bir ilişki dikkat çekmektedir. Yoksul oldukları için modern enerji kaynaklarına erişimden yoksun olan insanlar, birçok sosyoekonomik olumsuzluğa neden olan geleneksel biyoyakıt türlerini kullanma eğilimi gösterirler. Bu ürünlerin kullanımı, insani gelişme açısından olumsuz koşullar yaratarak yoksulluğa neden olan unsurları beslemekte ve yoksulluğun süreklileşmesine neden olabilmektedir. Bu bağlamda; özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yoksul insanların modern enerji kaynaklarına erişim olanaklarının artırılması ile ekonomik ve sosyal gelişmenin sağlanması ve dolayısıyla yoksulluğun önlenmesi arasında güçlü bir bağ bulunmaktadır.

Türkiye enerji ithalatçısı bir ülkedir. Türkiye gibi ülkelerde enerji ürünlerinin fiyatlar genel düzeyi üzerindeki etkisi, üzerinde görüş birliği bulunmayan bir konudur. Son yıllara bakıldığında, enflasyon sepetinde enerji bileşenleri ağırlığını hissettirmiştir. Elektrik, doğalgaz ve diğer yakıt çeşitlerindeki fiyatların yukarı yönlü değişimi enflasyonun artmasına neden olmuştur. Bu sonuç sabit gelire sahip hane halkları açısından gelir kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Böylelikle bu hane halkları sosyal refah kayıplarına uğramaktadırlar. Bu bağlamda bakıldığında enerji yoksulluğu mikro düzeyde bireysel refah düzeyini azaltırken; makro düzeyde talep, tasarruf, tüketim ve yatırımları etkileyebilmektedir.

Ekonomik büyüme ile enerjiye erişim kalkınma iktisadi açısından günümüze kadar tartışılan bir konudur. Üretim temeli girdilerinin başında gelen enerji, enerji arzındaki herhangi belirsizlikler ve kırılmalıklar üretim kapasitesini etkileyerek iktisadi büyümeyi engelleyebilmektedir. Günümüz üretim kalıplarına bakıldığında enerjiye bağımlılık en üst düzeydedir. Bu durum kısa ve uzun dönemlerde büyüme üzerinde etkili bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır (Apergis ve Payne, 2010: 458). Kırsal ve düşük gelirli bölgelerde enerjiye ulaşımın kısıtlı olması tarım dışı üretim üzerinde negatif sonuçlar doğuracaktır. Aynı zamanda hizmet sektörünün de gelişmesini engelleyerek bölgesel kalkınma açısından istenilen bir durum olmayacaktır.

Enerji krizleri genelde arz sıkıntısı ve fiyat şoklarından kaynaklanmaktadır. Bu krizler aynı zamanda üretim ve istihdamı etkileyerek makroekonomik düzeyde dengesizliklere neden olabilir. Sanayi üretimlerinin yoğun olduğu bölge ve sektörlerde enerji maliyetlerindeki herhangi bir artış üretim hacimlerinin düşmesine, istihdamın azalmasına ve yeni yatırımların askıya alınmasına neden olacaktır. 1970’li yıllarda petrol krizinin enerji kaynaklı arz şokları ekonomi üzerinde hem durgunluk hem de yüksek enflasyona neden olarak “stagflasyon” sürecini başlatmıştır (Hamilton, 1983: 228-248).

Türkiye özelinde, son zamanlarda enerji fiyatlarındaki artışlara bakıldığında sanayi üretim endekslerinde ve istihdam göstergeleri üzerindeki etkileri kayda değer niteliktedir. Enerji maliyetlerindeki artışlar, özellikle enerji yoğun sektörlerde faaliyet gösteren KOBİ’lerin üretim süreçlerinde daralmaya yol açmakta, bu da iş gücüne olan talebin azalmasına neden olmaktadır. *Bu noktada, enerji arz güvenliği kritik bir öneme sahiptir; çünkü enerji arzında yaşanan kesintiler veya fiyat şokları hem üretim istikrarını bozmakta hem de maliyetleri öngörülemez hâle getirmektedir.* Enerji krizlerinin bu etkileri yalnızca piyasa dengelerini bozmakla kalmamakta, aynı zamanda sosyal politika bağlamında kamu bütçesine ilave yükler getirmektedir.

Enerji fiyatlarındaki dengesizlik reel gelirleri etkileyerek tüketim ve tasarruf yönelimlerini de değiştirmektedir. Artan enerji fiyatlarından kaynaklı düşük gelirli haneler zorunlu tüketim kalemlerinden vazgeçmek zorunda kalmaktadır. Bu nedenle toplam tüketime olan talep azalmakta ve iç talep kaynaklı büyüme modeli üzerinde negatif baskı oluşturmaktadır. Diğer yandan, tasarruflar üzerinde etkiler oluşturarak gelir dağılımında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Böylelikle finansal istikrar kırılgan bir yapıya dönüşmekte ve tasarruf eğiliminin yatırım finansmanı açısından iç kaynak kullanımının yeterli düzeyde olmamasına neden olmaktadır.

Enerji yoksulluğu ve makroekonomik istikrar arasında birbirlerini etkileyen dinamik bir mekanizma vardır. Enerjiye erişimin kısıtlı olması hem sosyal adalet dengesini etkileyerek bireylerin yaşam kalitesini sınırlandırmakta hem de üretim, istihdam ve büyüme gibi genel ekonomik tablo üzerinde önemli sonuçlara neden olmaktadır. Bu nedenle enerji politikalarının, sosyal politika hedefleri ve makroekonomik denge ile uyumlu biçimde tasarlanması gerekmektedir. Sürdürülebilir kalkınma ancak bu bütüncül ve çok boyutlu yaklaşım temelinde gerçekleştirilebilir.

6. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Bağlamında Enerji Yoksulluğu

Enerji yoksulluğu ekonomik, sosyal, çevresel ve birçok politik boyutu olan küresel anlamda en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Bu sorunların yoğunlaşma hızının arttığı son yıllarda BM tarafından 2015 yılında Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri çerçevesinde önemli bir yere sahip olmuştur. Bu hedefler arasında yer alan Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 7, “herkes için uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişim” söylemi ile enerji yoksulluğunun temel bir kalkınma problemi olarak tanımlanmaktadır (United Nations, 2015b).

SDG(Sustainable Development Goals) sadece teknik bir hedef kapsamında değerlendirilmemeli, diğer taraftan birçok hedefle doğrudan teması olan kapsayıcı bir amaca hizmet etmektedir. Enerjiye erişimin kısıtlı olması sağlık (SDG 3), eğitim (SDG 4) ve yoksulluğun azaltılması (SDG 1) gibi kalkınmayı etkileyen bu dinamiklerin sonucunu da doğrudan etkileyebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında enerji yoksulluğu hem enerji politikaları üzerinde etkisini sürdürmekte hem de sosyal adalet, ekonomik eşitlik ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları ile doğrudan etkileşimi olan bir unsur haline gelmiştir (UNDP, 2022: 1-43).

Gelişmekte olan ülkelerde enerji yoksulluğu ve çevresel sürdürülebilirlik bağlantısı hassas bir denklem üzerindedir. Düşük gelire sahip haneler genellikle temiz ve verimli enerjilere ulaşmakta zorluk çekmektedir. Bu nedenle düşük kaliteli yakıtlara yönelerek çevreye ve insan sağlığına zarar veren sonuçlara neden olmaktadır. Böylelikle sonuçları itibarı ile bireysel sağlık sorunları ve çevresel bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca enerji verimliliği düşük konutların ısınması için daha fazla enerji harcanmak ve daha fazla maliyete neden ortaya çıkmaktadır. Ek olarak karbon salımı daha üst düzeye ulaşmaktadır (Ürge-Vorsatz ve Herrero, 2012: 83-90). Tüm bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda enerji yoksulluğu ve çevresel sürdürülebilirlik birbirini besleyici ve karşılıklı etkileyen bir döngü haline gelmiştir.

Enerjiye erişim ve sosyal dışlanma ilişkisi iktisadi temeller dışında göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bireylerin ve toplumların eşit koşullarda enerjiye erişememesi, fırsat eşitliği açısından arzu edilmeyen bir durumdur. Bu sorun yalnızca fiziksel konfor eksikliğiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda toplumsal adalet ve yaşam kalitesi üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Aynı zamanda toplumsal hayata katılma, sağlık erişiminin kısıtlanması ve

dijitalleşmede kayda değer farklılaşma gibi sosyal dışlanmanın ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Snell vd., 2015: 123-132). Enerji yoksulluğu hem iktisadi bir mahrum olma hali hem de sosyal alandan dışlanma anlamına gelmektedir.

Enerji yoksulluğundan kaynaklı etkiler toplumun tüm kesimlerine dengeli bir şekilde dağılmamaktadır. Özellikle dezavantajlı grupların bu yoksulluktan diğer kesimlere göre çok daha fazla etkilenmektedir. Kadınlar bu süreçte en fazla etkilenen taraf olarak karşımıza çıkmaktadır. Ev içi enerji ihtiyacının muhatabı olan bu kesim, temel bakım ve hane içi sorumlulukları üstlendikleri için, enerji yoksulluğunun etkilerini en yoğun şekilde deneyimleyen gruplar arasında yer almaktadırlar. Bununla birlikte enerjiye erişimin kısıtlı olması, kadınların eğitim ve istihdam alanlarından da dışlanabileceği olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir (Clancy vd., 2012: 14).

Yaşlı bireyler ve kronik hastalığı bulunan kişiler açısından yetersiz ısınma ve aydınlatma, ciddi sağlık riskleri yaratabilmektedir. Kırsal bölgelerde yaşayan nüfus ise, altyapı yetersizlikleri ile birlikte alternatif enerji kaynaklarına erişimde yaşanan kısıtlar nedeniyle enerji yoksulluğunu daha derin ve sürekli bir biçimde deneyimlemektedir. Bu doğrultuda sürdürülebilir enerji politikalarının, özellikle kırılgan grupların özgül ihtiyaçlarını dikkate alacak şekilde tasarlanması, enerjiye erişimdeki eşitsizliklerin azaltılması ve toplumsal adaletin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Enerji yoksulluğu ile nasıl başa çıkılması ile ilgili konuya sadece teknik bir mesele olarak bakmamak gerekir. Konuya toplumsal adalet ve sürdürülebilir kalkınma penceresinden yaklaşmak önem arz etmektedir. SDG 7 kapsamında enerji politikalarına ekonomik, sosyal ve çevresel düzlemlerden yaklaşılmalıdır. En önemlisi dezavantajlı gruplar ve sosyal dışlanma olgularına dikkat edilmesi gerekmektedir. Enerjiye erişim hakkı toplumsal adalet ve sürdürülebilir hedefler çerçevesinde kalkınmanın temel dayanaklarından biri olarak görülmelidir.

7. Türkiye’de Enerji Yoksulluğu: Mevcut Durum ve Politikalar

Enerji yoksulluğu Türkiye’de son yıllara kadar genel yoksulluk kapsamında ele alınmıştır. Ancak son yıllarda enerji fiyatlarının artması gelir eşitsizliği ve kalkınma bağlamında bu problemin daha dikkatli ele alınmasını zorunlu kılmıştır. Enerjiye erişimdeki problemler sosyal, ekonomik ve kültürel eşitsizliklerini daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu sonuç sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada yeni zorluklar çıkartmakta ve uygulama sürecini engellemektedir. Türkiye’de enerji yoksulluğuna bakıldığında gelirin enerji tercihini etkilediği ve düşük gelirli hanelerin konvansiyonel enerji tükettikleri görülmektedir. Bunun nedenleri kırsal bölgelerde hükümetlerin temiz ve etkin enerji ağını oluşturamaması ve aynı zamanda kişilerin geleneksel enerji yakıtlarını kullanmaya eğilimli olmalarıdır.

Türkiye’de enerji yoksulluğunu belirlemeye yönelik kullanılan göstergeler, mevcut durumu tam olarak yansıtmakta zaman zaman yetersiz kalabilmektedir. Resmi verilerin yanı sıra, çeşitli araştırmalar ve gözlemler, enerji yoksulluğunun son yıllarda artış eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. Ülke genelinde bazı haneler, evlerini istenilen düzeyde ısıtmakta zaman zaman zorluk yaşayabildiklerini belirtmektedir. Bu durum, yalnızca ekonomik nedenlerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda yapı koşulları ve enerjiye erişimle ilgili fiziksel unsurlarla da ilişkilidir. Örneğin, bazı hanelerde yalıtım eksikliği, nem gibi sorunlar yaşanmakta ve faturaların zamanında ödenmesinde güçlükler ortaya

çıkabilmektedir. Bu bulgular, enerji yoksulluğunun ekonomik ve fiziksel boyutlarının iç içe geçtiğini göstermektedir.

Türkiye’de enerji yoksulluğunun önlenmesine yönelik uygulamalardan biri sosyal tarife programlarıdır. Bu kapsamda, gelir düzeyi belirli bir eşik değerin altında olan hanelere düşük kademeli elektrik tarifi uygulanmaktadır. Böylelikle yaklaşık 3 milyon hane bu sübvansiyonlardan faydalanmakta ve elektrik tüketim desteği almaktadır (Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2023). Bununla birlikte, Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı aracılığı ile temin edilen "Elektrik Tüketim Desteği" ile hanelere gelen elektrik faturalarının bir kısmı kamusal kaynaklar tarafından finanse edilmektedir. Bu sosyal yardım paketleri enerji yoksulluğunu önlemekle birlikte, bu sorunun tamamen bitirilmesi karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu politikalar kronikleşmiş problemlerin çözümüne değil, ancak geçici mali yüklerin azaltılmasına fayda sağlayacaktır.

Türkiye’de enerji yoksulluğu, belirgin bölgesel farklılıklar göstermektedir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hem altyapı yetersizlikleri hem de düşük gelir düzeyleri nedeniyle enerji yoksulluğu daha yaygın ve derin bir biçimde hissedilmektedir. Diğer bölgelere göre oluşan bu fark, bölgesel kalkınma politikalarının enerjiye erişim boyutunda daha hedefli, adil ve kapsayıcı biçimde tasarlanması gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, kırsal alanlarda enerji kaynaklarına erişimin yalnızca ekonomik değil, fiziksel açıdan da kısıtlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kırsal kalkınma politikalarının enerji boyutuyla yeniden yapılandırılması kaçınılmaz hâle gelmektedir.

Enerji yoksulluğu ile mücadelede hem merkezi hem de yerel yönetimlerin politikalarının ortak bir amaca hizmet etmesi gerekmektedir. Aynı zamanda sivil toplum kuruluşları da bu doğrultuda politikalarını gözden geçirmelidir.

Sosyal destek programlarının daha da kurumsallaştığı büyükşehir belediyelerinde düşük gelire sahip hanelere enerji yardımı doğrudan yapılmaktadır. Bunlar; yakacak desteği, ücretsiz elektrik aletleri desteği gibi nakdi yardımlar olarak sıralanabilir. Bu yardımlar sonrası gelir düzeyi düşük hanelerin enerjiye ödemek zorunda oldukları giderler nispeten azalmaktadır. Ancak böyle yardımların sürdürülebilirlik açısından kurumsallaşmış bir sosyal politikaya evrilmediği gözlemlenmektedir. Sivil toplum kuruluşları, enerji yoksulluğu konusunda toplumsal farkındalığı artırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Aynı zamanda bu kuruluşların, yenilenebilir enerji üretimi ve tüketimi gibi çözümler aracılığıyla, enerji yoksulluğunun yoğun şekilde yaşandığı kırsal bölgelerde aktif olarak faaliyet göstermeleri yerinde olacaktır.

Türkiye’de enerji yoksulluğu alanında en büyük sıkıntılardan bir tanesi, günümüze kadar bu konuda detaylı bir stratejik planlamanın yapılmadığıdır. Kısa vadeli iyileştirmeler enerji yoksulluğunun azaltılmasında sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Enerji yoksulluğunun temeline inilerek teşhis ve tedavi uygun bir politika ile sonuçlandırılmalıdır. Böylelikle sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile paralel ve uzun vadeli stratejilerin uygulamaya konulması kaçınılmaz olacaktır. Tüm bunlara ek olarak ısınmada verimsiz konutlarda ve düşük gelirli hanelerde enerji verimliliği tekrardan gözden geçirilmelidir.

Enerji yoksulluğu sorunu dünyada ve Türkiye’de giderek ağırlaşan bir problem olmaya doğru gitmektedir. Bu alanda yapılan sosyal destekler belirgin bir öneme sahip olmakla birlikte, ulusal ve küresel düzeyde dezavantajlı gruplara yönelik tatmin edici bir mekanizmanın geliştirilmesi gerekmektedir. Enerjiye erişim sosyal bir hak olarak içselleştirilmeli ve sürdürülebilir enerji politikalarıyla bu durum desteklenmelidir.

8. Uluslararası Uygulama Örnekleri ve Karşılaştırmalı Analiz

Enerji yoksulluğu ülkelerin kalkınma seviyesine, sosyal politikalar düzeyine, enerji altyapı sistemlerine ve gelir adaletinin sağlanıp sağlanmadığı gibi birçok ekonomik ve sosyal unsurdan etkilenen çok katmanlı bir meseledir. Bu katmanlı yapı birçok ülkenin iç dinamiklerine bağlı olarak değişmekte ve ülkeler bu dinamiklerden hareketle kendilerine en uygun politikalar oluşturmaktadır. Almanya, Hindistan ve İngiltere gibi farklı sosyoekonomik değişkenlere sahip olan ülkeler, enerji yoksulluğunu aşmak için enerjiye erişim, enerji verimliliği ve sosyal destekler açısından kayda değer örnekler teşkil etmektedir. İfade edilen ülkelerin deneyimleri Türkiye açısından enerji yoksulluğuna karşı en uygun politikaların getirilmesi ve uygulanmasında rehberlik edebilmektedir.

Almanya’da enerji verimliliği odaklı sosyal politikalara önem vermektedir. Özellikle düşük gelirli haneler için, ısı yalıtımını iyileştirmeye yönelik ev içi fiziki şartların uygun hale getirilmesini amaçlayan kapsamlı bir sosyal yardım stratejisi yürütülmektedir. Ayrıca gelir düzeyi düşük haneler için enerji faturalarında iyileştirmeye giderek bazı kolaylıklar sunmaktadır. Enerji hizmetlerinin kesilmemesi için yasalar çıkartılarak temel insani hakların başında gelen enerjiye ulaşım koruma altına alınmıştır. Bu uygulama enerji yoksulluğunun sosyal bir hak düzleminde görüldüğünün kanıtıdır (BMWK, 2015).

Enerji yoksulluğunu İngiltere “fuel poverty” kavramı ile açıklamaya çalışmış ve enerji yoksulluğu alanında ilk adımları atan ülkelerden biri olmuştur. Özellikle 2000 yılında yürürlüğe giren “Warm Homes and Energy Conservation Act” ile enerji yoksulluğu ilk kez yasal bir statü kazanmış; bu çerçevede geliştirilen “Energy Company Obligation (ECO)” programı ile enerji şirketlerine, düşük gelirli hanelerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik projeler gerçekleştirme yükümlülüğü getirilmiştir (DECC, 2013: 12). Buna ilaveten yaşlı bireyler için kış yardımları uygulanarak doğrudan gelir transferi yapılmıştır. İngiltere enerji yoksulluğu alanında istatistige önem vermiş ve bu yoksulluğu rakamsal boyutları ile takip etmiştir.

Hindistan, kırsal alanda enerji erişimini önceleyen bir politika izlemiştir. 2017 yılında başlayan “Saubhagya” programı ile milyonlarca haneye ücretsiz elektrik sağlanmıştır. Programın önceliği dışlanmış gruplara enerjiye erişimin sağlanması ve ulaştırılmasıdır (GOI, 2021: 4). Bununla birlikte yürüttüğü bu programı dijital takip sistemi ile takip ederek, etkin bir yönetim sağlamaktadır. Bu politikaya paralel olarak Brezilya’da “Luz para Todos” girişimi ile kırsal kalkınmayı destekleyecek şekilde enerjinin erişimi desteklenmeye çalışılmıştır.

Örnek gösterilen üç ülkenin de aynı amaç doğrultusunda mücadelesi olmakla beraber, farklı uygulama modelleri ile hareket etmişlerdir. Almanya özellikle enerji verimliliği ile mücadele etmiş ve sosyal koruma yöntemlerini aktif bir şekilde kullanmıştır. İngiltere hem sosyal yardımları hem de enerji şirketlerinin sorumluluk sahasını ön planda tutmuştur. Hindistan, enerjiye erişimi temel hedef olarak yardımcı politikalarla desteklemeye çalışmıştır. Türkiye açısından düşünüldüğünde ifade edilen ülkelerin uyguladıkları politikalarından çıkaracağı bazı dersler vardır. İlk olarak enerji yoksulluğu yasal ve istatistiksel olarak açık bir şekilde netleştirilmelidir. Dar gelirli haneler için enerji verimliliği politikası çerçevesinde uygun adımlar atılmalıdır. Kırsal bölgelerde hem altyapı yatırımları hem de sosyal politika araçları ile kalkınmaya etkin bir bakış açısı ile yaklaşılmalıdır. Bununla birlikte özel sektör aracılığıyla yerel yönetimler ve sosyal sorumluluk projeleri kurumsal açıdan dizayn edilmelidir.

Uluslararası uygulamalara bakıldığında Türkiye'nin enerji yoksulluğuna karşı alması gereken tedbirler birçok aktör ve düzeyin birlikte hareket etmesinin zorunluluğu ortaya koymaktadır. Enerji yoksulluğu ile; gelir transferi, yapısal reformlar, altyapı çalışmaları ve enerjide adaletin sağlanması gibi temel politikalarla mücadele edilebilir.

9. Politika Önerileri ve Stratejik Yönelimler

Enerji yoksulluğunun etkin mücadele politikaları sadece mevcut mekanizmaların iyileştirilmesi ile giderilebilecek bir durum değildir. Aynı zamanda yapısal dönüşümle birlikte toplumsal katılım ve demokratik uygulamalarla çok denklemlili adımların atılması gerekmektedir. Enerji yoksulluğuna Türkiye özelinde bakıldığında; enerji politikaları ve sosyal politikaların kapsayıcı araçlarla hedefe yönelik etkin bir şekilde yürürlüğe konması gerekmektedir.

İlk olarak, enerji desteklerinin daha hassas ve veri temelli biçimde hedeflenmesi gerekmektedir. Türkiye'de hâlihazırda uygulanan sosyal tarife ve düşük gelirli hanelere yönelik tüketim desteği programları, yoksulluğu hafifletici bir işlev üstlenmekle birlikte, bu politikaların daha isabetli hedefleme mekanizmalarıyla güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Özellikle enerji tüketim düzeyi, hane büyüklüğü, coğrafi konum ve iklim koşulları gibi değişkenlerin dikkate alınması, desteklerin gerçek ihtiyaç sahiplerine ulaşmasını kolaylaştıracaktır. Bununla birlikte, söz konusu yardımların yalnızca tüketim desteğiyle sınırlı kalmayıp, enerji verimliliğine yönelik yapısal iyileştirmelerle entegre edilmesi, uzun vadeli etki açısından daha sürdürülebilir ve kalıcı sonuçlar doğuracaktır (Flues ve Thomas, 2015: 19).

Enerji yoksulluğu ile mücadelede birçok boyut vardır. Bu boyutlardan biri topluluk temelli çözümlerin geliştirilmesi ve güçlendirilmesidir. Enerji kooperatifleri, enerji üretim ve tüketim süreçlerinde yurttaşların demokratik katılımlarına olanak sağlayacak bir ortamın oluşturulması gerekmektedir. Enerji kooperatifçiliği yeterince gelişmemiş bir alan olarak kalmaktadır. Bu kooperatifçiliği mali teşvikler ve kamu alım garantileriyle desteklemek gerekmektedir. Bu oluşumlar kırsal bölgelerde düşük maliyetli ve yerel potansiyeli esas alan yenilenebilir enerji üretim kanalıyla enerjiye erişimi sağlayabilir. Bu şekilde yerel toplulukların enerji bağımsızlıkları artırılabilir.

Yenilenebilir enerji yatırımları hem sosyal adaletin sağlanması hem de çevresel sürdürülebilirlik bakımından önemli olanaklar barındırmaktadır. Güneş ve rüzgâr gibi yerel kaynaklara dayalı üretim sistemleri düşük gelirli hanelere maliyet açısından uygun ve erişilebilir bir enerji mekanizmasını sağlayabilmektedir. Sosyal yardımlaşma fonları tarafından yapılan sosyal konut projeleri enerjide verimliliği önceleyerek enerji yoksulluğunu nispeten azaltabilmektedir. Konuya bu açıdan yaklaşıldığında yenilenebilir enerji yatırımları hem sosyal hem de teknik açıdan yeni bir paradigma değişikliğine ihtiyaç duymaktadır (Sovacool vd., 2020: 1-17).

Enerjide adaletin sağlanması enerji yoksulluğunun azaltılması için en önemli değişkendir. Enerjide adaletin sağlanması sadece iktisadi verimlilik ile gerçekleşecek bir olgu değildir. Aynı zamanda dağıtım adaleti, karar alma mekanizmalarına katılımı ve dezavantajlı grupların ihtiyaçlarının belirlenmesi gibi temel ilkelerin var olması gerekmektedir (Jenkins vd., 2016: 174-182). Türkiye'de enerji ile ilgili kurumların, düşük gelirli kesimlerin enerji hizmetlerinden dışlanmaması için gerekli düzenlemeleri yapması ve süreci yönlendirmesi gerekmektedir. Örneğin, enerji şirketlerine sosyal sorumluluk yükümlülüğü getiren modeller İngiltere'de uygulanan "Energy Company Obligation (ECO)" programında olduğu gibi Türkiye bağlamında da uyarlanabilir. Bunun yanı sıra, kademeli

tarife sistemlerinin sosyal hassasiyet gözetilerek yeniden yapılandırılması, özellikle düşük gelirli grupların enerjiye erişiminin güvence altına alınması açısından önemli bir politika aracı olabilir.

Türkiye'nin enerji yoksulluğu ile mücadele yöntemleri çeşitlendirilmelidir. Bu yoksulluk türünü azaltabilmek ve başarıya ulaşabilmek için sosyal yardımlar tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Bununla birlikte verilen yardımların hedef odaklı olması ve adalet anlayışıyla yürütülmesi gerekmektedir. Enerji yoksulluğuna yalnızca teknik bir altyapı sorunu olarak değil, aynı zamanda sosyal altyapının da bir unsuru olarak bakmak gerekir.

10. Sonuç

Enerji yoksulluğu küresel düzeyde sadece ekonomik bir sorun değildir. Eş zamanlı olarak sosyal dışlanma, bölgesel adaletsizlik ve çevresel sürdürülebilir faktörleri daha da derinleştiren çok denklemlili bir sorun haline gelmiştir. Bu makale kapsamında yapılan analizler, enerjiye erişimin bireylerin yaşam kalitesi açısından ve aynı zamanda makroekonomik istikrar açısından ne kadar önemli bir unsur olduğu hususunu ortaya koymuştur. Düşük gelirli haneler gelirlerinin büyük bir kısmını enerji giderlerine ayırmak zorundadır. Bireyler bu katlanılan maliyetlerden dolayı tüketimden tasarrufa, sağlık hizmetlerinden dijital katılıma kadar birçok hayati alanda önemli kısıtlamalara gitmek zorunda kalmıştır. Bu zincirleme sonuçlar dizisi enerji yoksulluğunun hem bireysel hem de toplumsal bir refah kaybına neden olacak düzeyde toplumun tüm unsurlarını tehdit edecek boyuta ulaşması kaçınılmaz olacaktır.

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, enerji yoksulluğunun yapısal ekonomik eşitsizlikler, enerji piyasası düzenlemeleri, bölgesel kalkınma farklılıkları ve yetersiz sosyal koruma mekanizmaları ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. TÜİK'in Hane Halkı Yaşam Koşulları İstatistikleri, özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde enerji yoksulluğunun diğer bölgelere kıyasla çok daha yaygın ve derin yaşandığını ortaya koymaktadır. Bu coğrafi eşitsizlik, bölgesel kalkınma politikalarının enerjiye erişim ekseninde yeniden yapılandırılması gerekliliğini açıkça göstermektedir. Öte yandan, enerji tüketim kalıplarındaki adaletsizlik; enerji verimliliği düşük, yalıtımsız konutlarda yaşayan bireylerin daha yüksek enerji faturalarıyla karşı karşıya kalması gibi ikincil sonuçlara yol açmaktadır. Bu durum, enerji yoksulluğunu yalnızca gelir temelli bir olgu olmaktan çıkarak, aynı zamanda mekânsal ve altyapısal boyutları olan çok katmanlı bir sorunsal haline getirmektedir.

Makro düzeyde bakıldığında, enerji yoksulluğunun ekonomik büyüme ve istikrar üzerindeki etkileri de göz ardı edilemez boyuttadır. Artan enerji maliyetleri, düşük gelirli kesimlerin tüketim kapasitesini sınırlamakta, toplam talep üzerinde baskı yaratmakta ve tasarruf oranlarını düşürmektedir. Aynı zamanda sanayi üretiminde artan enerji girdisi maliyetleri hem yatırım iştahını zayıflatmakta hem de iş gücü piyasasında daralma riski yaratmaktadır. Özellikle enerji krizlerinin yaşandığı dönemlerde bu etkiler çok daha belirgin hale gelmektedir. Enerji fiyatlarının enflasyon üzerinde yarattığı baskı ise parasal istikrarı tehdit eden başlıca unsurlardan biridir. Bu nedenle enerji yoksulluğu ile mücadele aynı zamanda enflasyon kontrolü, büyüme istikrarı ve dış ticaret dengesi açısından da stratejik öncelik taşıyan bir politika alanı olarak değerlendirilmelidir.

Uluslararası örnekler, Türkiye açısından önemli dersler sunmaktadır. Almanya'nın enerji verimliliği odaklı sosyal konut programları, İngiltere'nin yakıt yoksulluğunu yasal tanıma ve hedefleme temelli yardımlarla ele alma modeli ve Hindistan'ın kırsal alanlara yönelik altyapı genişletme programları, Türkiye'nin enerji yoksulluğuna yaklaşımında eksik kalan yönlerin altını çizmektedir. Bu çerçevede Türkiye'de enerji yoksulluğunun tanımı, ölçüm

yöntemi ve hedef kitle belirleme sistematığı, daha bilimsel ve şeffaf bir temele oturtulmalıdır. Ayrıca enerji verimliliği yatırımları, yalnızca iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında değil, aynı zamanda sosyal politika aracı olarak görülmelidir. Enerji kooperatiflerinin desteklenmesi, kırılgan grupların yenilenebilir enerji yatırımlarına erişiminin kolaylaştırılması ve enerji piyasasının sosyal adalet ilkeleri doğrultusunda düzenlenmesi, bütüncül çözüm perspektifleri sunmaktadır.

Enerji adaleti perspektifinden bakıldığında, enerji hizmetlerinin dağıtımı, karar alma süreçlerine katılım ve kırılgan grupların ihtiyaçlarının tanınması, temel ilkelere dayanır. Bu ilkelere ışığında, Türkiye’de enerji düzenleyici kurumlarının sadece piyasa verimliliğini değil, sosyal eşitliği de gözetilen bir bakış açısıyla yeniden yapılandırılması elzemdir. Düşük gelirli haneler için geliştirilecek sosyal tarife sistemleri, yerel yönetimlerle iş birliği içinde planlanacak enerji destek programları ve enerji şirketlerine sosyal sorumluluk yükümlülüğü getiren düzenlemeler, bu yönde atılacak önemli adımlar arasında sayılabilir.

Sonuç olarak, enerji yoksulluğu ile mücadele, yalnızca bugünün ekonomik veya sosyal koşullarına yönelik bir refleks değil; aynı zamanda uzun vadeli kalkınma vizyonunun ayrılmaz bir bileşeni olmalıdır. Enerjiye erişim hakkı, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi için vazgeçilmezdir. Bu nedenle Türkiye’nin enerji politikaları, yalnızca arz güvenliğini değil, aynı zamanda sosyal adalet ve çevresel sürdürülebilirliği merkezine alan çok boyutlu ve çok aktörlü bir strateji ile yeniden yapılandırılmalıdır. Ancak bu şekilde, enerji yoksulluğu ile etkin mücadele mümkün olabilir ve toplumsal refah daha adil biçimde inşa edilebilir.

Kaynakça

- Aghaei, M., ve Lawell, C. L. (2020). Energy, Economic Growth, Inequality, and Poverty in Iran. *The Singapore Economic Review*, 67(2): 1-22
- Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2023). *Elektrik Tüketim Desteği Programı. Sosyal Yardımlar Genel Müdürlüğü*.
- Apergis, N., ve Payne, J. E. (2009). *Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States. Energy Economics*, 31 (5): 641-647.
- Barnes, D. F. (2010). *The concept of energy poverty. Energy for Development and Poverty Reduction*.
- Barnes, F. D., Khandker, S. R., ve Samad, H. A. (2011). Energy Poverty in Rural Bangladesh. *Energy Policy*, 39(2): 894-904.
- Bouzarovski, S. (2014). Energy poverty in the European Union: Landscapes of vulnerability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(3): 276-289.
- Böhringer, C., ve Rutherford, T. F. (2008). Combining Bottom-up and Top-down. *Energy Economics*, 30(2): 574-596.
- Clancy, J., Skutsch, M., ve Batchelor, S. (2012). The Gender-Energy-Poverty Nexus: Finding the Energy to Address Gender Concerns in Development. *DFID*, 14.
- Coady, D., Parry, I., Sears, L., ve Shang, B. (2015). How Large are Global Energy Subsidies? *International Monetary Fund*, 1-38.
- DECC. (2013). Fuel Poverty: A Framework for Future Action. *Department of Energy & Climate Change, UK*, 12.
- Dong, X., ve Hao, Y. (2018). Would Income Inequality Affect Electricity Consumption? Evidence From China. *Energy*, 142(C): 215-227.
- Emre T., İzgeç M. M. ve Sözen A. (2023) Enerji Yoksulluğu Konusundaki Literatüre Genel Bakış, *Politeknik Dergisi*, 26(3): 1255-1266.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). (2015). *Energy Efficiency Strategy for Buildings*.
- Flues, F., ve Thomas, A. (2015). The Distributional Effects of Energy Taxes. *OECD Taxation Working Papers*, 23(19).
- GOI. (2021). Saubhagya Dashboard Report. Government of India, *Ministry of Power*. 4. <https://pib.gov.in/PressReleaseDetail.aspx?PRID=1757927> Erişim Tarihi (05.05.2025).
- Groh, S. (2014). The Role of Energy in Development Processes the Energy Poverty Penalty: Case Study Of Arequipa (Peru). *Energy For Sustainable Development*, 18: 83-99.
- Hamilton, J. D. (1983). Oil and the Macroeconomy Since World War II. *Journal of Political Economy*, 91(2): 228-248.
- Healy, J. D., ve Clinch, J. P. (2004). Quantifying the Severity of Fuel Poverty, Its Relationship with Poor Housing and Reasons for Non-investment in Energy-saving Measures in Ireland. *Energy Policy*, 32(2): 207-220.
- International Energy Agency. (2010). Energy Poverty: How to Make Modern Energy Access Universal? Paris: *OECD/IEA*. <https://www.iea.org/reports/energy-poverty-how-to-make-modern-energy-access-universal>, Erişim Tarihi (01.05.2025).
- Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., ve Rehner, R. (2016). Energy justice: A Conceptual Review. *Energy Research and Social Science*, 11: 174-182.
- Legendre, B., ve Ricci, O. (2015). Measuring Fuel Poverty in France: Which Households are the most Fuel Vulnerable? *Energy Economics*, 49: 620-628.
- Middlemiss, L., ve Gillard, R. (2015). Fuel Poverty from the Bottom-up: Characterising Household Energy Vulnerability through the Lived Experience of the Fuel Poor. *Energy Research and Social Science*, 6: 146-154.
- Murshed, M., ve Alam, S. (2021). Estimating the Macroeconomic Determinants of Total, Renewable, and Non-Renewable Energy Demands in Bangladesh: The Role of Technological Innovations. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 30176-30196.
- Nar, M. (2021). The Relationship Between Income Inequality and Energy Consumption: A Pareto Optimal Approach. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(4): 613-624.
- Özcan, M. K., Gülay, E., ve Üçdoğru, Ş. (2013). Economic and Demographic Determinants of Household Energy Use in Turkey. *Energy Policy*, 60: 550-557.
- Schrawat, M. (2020). Modelling the Nexus between Human Capital, Income Inequality, and Energy Demand in India: New Evidences from Asymmetric and Non-linear Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 3632-3643.
- Snell, C., Bevan, M., ve Thomson, H. (2015). Justice, Fuel Poverty and Disabled People in England. *Energy Research and Social Science*, 10: 123-132.
- Sonora, R. J. (2021). A Panel Analysis of Income Inequality and Energy Use. *Contemporary Economic Policy*, 1-15.
- Sovacool, B. K., Hook, A., Martiskainen, M., Brock, A. ve Turnheim, B. (2020). The Decarbonisation Divide: Contextualizing landscapes of Low-carbon Exploitation and Toxicity in Africa. *Global Environmental Change*, 66: 1-17.
- Thomson, H., ve Snell, C. (2013). Quantifying the Prevalence of Fuel Poverty across the European Union. *Energy Policy*, 52: 563-572.
- UNDP. (2022). United Nations Development Programme. *Annual Report*, <https://www.undp.org/publications/annual-report-2022>, Erişim tarihi (21. 04. 25).
- United Nations. (2015a). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations.
- United Nations. (2015b). Sustainable Development Goals: Goal 7 – Affordable and Clean Energy.
- Ürge-Vorsatz, D., ve Herrero, S. T. (2012). Building Synergies between Climate Change Mitigation and Energy Poverty Alleviation. *Energy Policy*, 49: 83-90


<https://academicopinion.org/>

Research Article / Araştırma Makalesi

Tarımsal Gıda Sektöründe Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi: Taşköprü Sarımsağı Üzerine Matematiksel Modelleme Örneği¹

Vehicle Routing Problem with Time Windows in Agricultural Food Sector: Mathematical Modeling Example on Taşköprü Garlic

Fuat KARAHMUTOĞLU¹ Adem TÜZEMEN²

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat/Türkiye, f.karamahmutoglu6619@gop.edu.tr

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Tokat/Türkiye, adem.tuzemen@gop.edu.tr

ÖZET

Tarımsal gıda alanında sürdürülebilir bir tedarik zincirinin oluşturulması açısından lojistik oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde sarımsak üreten bir firmanın, 18 farklı şehre aylık olarak gerçekleştirdiği 24 ton ürün dağıtımındaki lojistik optimizasyon sorununu incelemektedir. Araştırmada, zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP) için detaylı bir matematiksel model oluşturulmuş ve bu model GAMS Studio (49.6.1) yazılımı ile çözüme ulaştırılmıştır. Geliştirilen model, her teslimat noktasında farklı kabul saatlerini, 4 tonluk araç kapasitesi kısıtını ve çoklu dağıtım gereksinimlerini aynı anda optimize etmektedir. Modelin çözümü, 14 saat 38 dakikalık bir hesaplama süresinin ardından en ideal sonuca ulaşmış ve toplamda 7 farklı rota belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda toplam dağıtım gideri 161.612,88 TL olarak belirlenmiştir. Bu durum, kilogram başına ortalama dağıtım maliyetinin 6,73 TL olduğu anlamına gelmektedir. Araç kapasitesinin etkin kullanımı bakımından, rotaların %57'sinde tam doluluk (%100) sağlanırken, rotaların 3'ünde %87,5 kapasite kullanımı ve kalan 1 rotada ise %25'lik kapasite kullanımı sağlanmıştır. Toplamda 10.802 km'lik bir mesafe kat edilen bu rotalar, tüm zaman dilimi sınırlamalarını karşılamaktadır ve en uzun rota 2154 km uzunluğunda olması dolayısıyla, iki sürücü ile yasal çalışma süresi sınırları içinde kalmaktadır. Maliyet yapısı incelendiğinde, sürücü maliyetlerinin toplam maliyetin %40,1'ini (64.818 TL), yakıt giderlerinin %38,5'ini (62.225,28 TL) ve araç amortisman maliyetlerinin ise %21,4'ünü (34.569,60 TL) oluşturduğu belirlenmiştir. Önerilen modelin tarımsal gıda sektörü için zamanında teslimatların sistematik olarak planlanmasında uygulanabilir bir çözüm sağladığı ve benzer işletmelere ölçeklenebilir bir optimizasyon aracı sunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi, Matematiksel Modelleme, GAMS, Tarımsal Lojistik, Maliyet Optimizasyonu

ABSTRACT

Logistics plays a critically important role in establishing a sustainable supply chain in the agricultural food sector. This study examines the logistical optimization problem faced by a garlic-producing company in Taşköprü district of Kastamonu for the monthly distribution of 24 tons of products to 18 different cities. In the research, a detailed mathematical model was developed for the time-windowed vehicle routing problem (TWVRP) and this model was solved using GAMS Studio (49.6.1) software. The developed model simultaneously optimizes different acceptance hours at each delivery point, 4-ton vehicle capacity constraints, and multi-point distribution requirements. The model solution reached the optimal result after a computation time of 14 hours and 38 minutes, determining a total of 7 different routes. According to the obtained findings, the total distribution cost was determined as 161.612,88 TL. This means that the average distribution cost per kilogram is 6,73 TL. In terms of effective vehicle capacity utilization, 100% capacity was achieved on 57% of the routes, while 87.5% capacity utilization was achieved on 3 routes, and 25% capacity utilization was achieved on the remaining 1 route. These routes, covering a total distance of 10.802 km, meet all time window constraints, and with the longest route being 2,154 km, they remain within legal working time limits with two drivers. When examining the cost structure, driver costs constitute 40.1% of the total cost (64.818 TL), fuel expenses account for 38.5% (62.225,28 TL), and vehicle depreciation costs represent 21.4% (34.569,60 TL). It has been determined that the proposed model provides an applicable solution for systematic planning of time-critical deliveries in the agricultural food sector and offers a scalable optimization tool for similar enterprises.

Keywords: Time-Windowed Vehicle Routing Problem, Mathematical Modeling, GAMS, Agricultural Logistics, Cost Optimization

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 25 Haziran 2025

Kabul Tarihi: 14 Temmuz 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Fuat Karamahmutoglu

ARTICLE INFOS

Article History

Received: June 25, 2025

Accepted: July 14, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Fuat Karamahmutoglu

*Bu çalışma ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazar tarafından hazırlanan doktora tezinden türetilmiştir.

1. Giriş

Dünya genelindeki nüfusun hızla büyümesi ve tüketici tercihlerindeki değişiklikler, tarımsal gıda sektörünü sürdürülebilir ve etkili tedarik zinciri yönetimi açısından önemli bir noktaya getirmektedir. İşletmelerin uluslararası rekabet koşullarında ayakta kalabilmesi ve kâr marjını artırabilmesi için etkili ve verimli bir tedarik zinciri yönetimine sahip olmaları gerekmektedir (McCullough ve Matson, 2024). Tedarik zinciri yönetiminin temel unsurlarından biri olan lojistik, işletmeler açısından maliyet, süre ve mesafe bakımından önemli bir optimizasyon alanı sunmaktadır.

Tarımsal gıda sektörü ise lojistik açısından diğer sektörlerle nazaran daha karmaşık bir yapı göstermektedir. Chen vd. (2024), taze gıda taleplerinin yükselmesiyle birlikte soğutmalı taşımacılığın lojistik operasyonlarının vazgeçilmez bir parçası haline geldiğini ve mevcut sistemlerin genellikle yüksek enerji tüketimi ve maliyet sorunlarıyla mücadele ettiğini ifade etmişlerdir. Prajapati vd. (2022), dünya genelindeki nüfus artışının ve gıda güvenliğiyle ilgili endişelerin tarım sektörü için sürdürülebilir tedarik zinciri kavramını önemli bir hale getirdiğini belirtmişlerdir.

Tarım ürünlerinin tazeliği, kalitesi ve uygun fiyatı, müşteri memnuniyetini sağlamak açısından son derece önemlidir. Bu beklentilerin yerine getirilebilmesi için üreticiden tüketiciye zamanında ve güvenli bir teslimat sağlamak son derece önemlidir. Ürünlerin, üretim yerinden ara tedarikçilere veya son kullanıcılara en kısa mesafe, en hızlı şekilde ve en uygun maliyetle ulaştırılması gereklidir (Worasan vd., 2022).

Tarımsal gıda sektöründe ürünlerin dayanıklılığını etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bunlar arasında sıcaklık koşulları, son kullanma tarihinin yaklaşması ve zaman kısıtlamaları yer alır. Zhang vd. (2020), zaman değişkenli yol ağında taze gıda taşınmasıyla ilgili olarak hem gıda güvenliği güvencesi hem de sıcaklık kontrolünün önemini vurgulamışlardır. Wang vd. (2024), taze ürünlerin lojistik dağıtımında müşteri zaman dilimleri ile sıcaklık kontrolünün uygun kombinasyonundaki aksaklıklara dikkat çekmişlerdir.

Bu nedenlerden ötürü, tarımsal gıda alanında bir araç rotalama modeli geliştirilirken gereken kısıt sayısı diğer sektörler göre daha fazladır. En dikkat çekici farklılıklardan biri de zaman kısıtıdır. Her ürünün belirli bir teslimat süresi olabilir, bu da matematiksel modeli zorlaştırmaktadır. Ancak etkili bir zaman pencereli araç rotalama modeli kullanarak sektördeki olumsuzluklar büyük ölçüde hafifletilebilir.

Bu çalışmada, Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde sarımsak üreten bir işletmenin ürün dağıtımında karşılaştığı zaman, mesafe ve maliyetle ilgili zorluklar incelenmiştir. Bu çalışmanın hedefi, en kısa güzergâh ve en uygun maliyetle birlikte zaman kısıtlarını da göz önünde bulundurarak bir dağıtım ağı oluşturmak için Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZPARP) üzerine bir matematiksel model geliştirmek ve bu modeli GAMS yazılımı ile optimize etmektir. Geliştirilen model, Türkiye'deki 18 ile yapılan dağıtımlar sırasında zaman pencereleri içinde mesafeyi ve maliyeti en iyi hale getirmeyi hedeflemektedir.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: İkinci bölümde, araç rotalama problemleri ile zaman pencereli araç rotalama problemlerinin teorik temelleri ve ilgili literatüre dair bir inceleme yer almaktadır. Üçüncü bölümde, Taşköprü sarımsağı örneği üzerinden problemin tanımlanması, matematiksel modelin oluşturulması, GAMS yazılımıyla çözüm süreci ve duyarlılık analizi üzerinde ayrıntılı bir şekilde durulmaktadır. Son kısımda, araştırma bulgularının analizi, elde edilen sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

2. Araç Rotalama Problemleri (ARP)

Araç rotalama problemleri, 1959 yılından bu yana sürekli olarak gelişen ve özellikle tarımsal gıda endüstrisinde büyük bir öneme sahip olan bir optimizasyon dalıdır. Bu bölümde öncelikle ARP literatürünün tarihsel süreci ele alınmaktadır. Ardından, problemin ana kavramları ve matematiksel yapısı detaylı bir şekilde incelenmektedir.

2.1. Araç Rotalama Problemlerinin Tarihsel Gelişimi ve Literatür Taraması

1959-1970 Dönemi (Temellerinin Atılması): Araç rotalama problemiyle ilgili ilk araştırma, Dantzig ve Ramser (1959) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, benzin teslimat kamyonlarının bir ana terminalden çok sayıda servis istasyonuna en uygun yollarla yönlendirilmesi problemine odaklanmıştır. Bu çalışma, Gezgin Satıcı Probleminin bir genişlemesi olarak araç rotalama probleminin temelini atmıştır.

Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser'in yöntemini geliştirerek tasarruf algoritması adı verilen etkili bir ağgözlü algoritma önermişlerdir. Bu algoritma, merkezi bir depodan birçok teslimat noktasına araçların zamanlamasını yapmayı amaçlayarak, uzun yıllardır araç rotalama problemlerinin çözümünde başvurulan temel sezgisel yöntemlerden biri haline gelmiştir.

1980-1990 Dönemi (Zaman Kısıtlamalarının Eklenmesi): Solomon (1987), zaman pencereli araç rotalama problemleri üzerine kapsamlı algoritmalar geliştirmiş ve bu konudaki test problemleri için bir dizi oluşturarak araştırmacıların kullanabileceği standart karşılaştırma kriterleri belirlemiştir. Bu araştırma, ekleme temelli sezgisel yöntemlerin sürekli olarak yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuş ve zaman pencereli araç rotalama problemlerinin teorik temelini desteklemiştir.

1990-2000 Dönemi (Stokastik ve Genel Modeller): Gendreau vd. (1996), stokastik araç rotalama problemlerinin temelini oluşturarak belirsizlik ortamlarında optimizasyon yöntemleri geliştirmişlerdir.

2000-2010 Dönemi (Kapsamlı Model Geliştirme): Toth ve Vigo (2002), VRP'nin kesin çözüm yöntemleriyle sezgisel yaklaşımını içeren kapsamlı bir monografi yayımlayarak temel araçlar, zaman pencereleri ile birlikte geri toplama ve alma-teslimat varyantlarını ayrıntılı olarak ele almışlardır. Goel ve Gruhn (2008), genel araç rotalama problemleri için esnek modelleme yöntemleri önererek çok kriterli optimizasyon açısından bir bakış açısı sağlamışlardır. Kara vd. (2008), kümülatif araç rotalama problemlerini ele alarak geleneksel mesafe ve zaman minimizasyonuna ek olarak toplam sistem yükünün minimize edilmesi yaklaşımını geliştirmişlerdir. Çetin ve Gencer (2010) ise kesin zaman pencereleriyle birlikte, eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama probleminin matematiksel bir modelini oluşturmuşlardır.

2010-2020 Dönemi (Gelişmiş Algoritmalar): Atmaca (2012), kargo sektöründeki araç rotalama problemlerinin pratik uygulamalarını araştırarak, gerçek hayattaki kısıtların modelleme sürecine etkilerini ele almıştır. Kesintürk vd. (2015), araç rotalama problemlerini ve bunların çözüm yollarını ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, farklı problem türlerine uygun olan metodolojileri değerlendirmişlerdir. Han ve Cueto (2015), atık toplama araçlarının rotalama problemlerine dair yaptıkları sistematik literatür incelemesi ile çevresel sürdürülebilirlik konusunu vurgulamışlardır.

Reyes vd. (2017), hareketli teslimat noktaları ve araç rotalama problemlerine odaklanarak günümüz e-ticaret lojistiğinin getirdiği yeni zorlukları modellemeye dahil etmişlerdir. Sezen ve Çam (2018), müşteri memnuniyetini ön planda tutarak toplam bekleme süresini

azaltmayı hedefleyen bir araç rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır.

Çiçekli ve Cihangir (2019), Dubai'nin çöp toplama sistemine yönelik genetik algoritma destekli bir araç rotalama çözümü geliştirmişlerdir. Bu çalışma, kentsel atık yönetiminde optimizasyon yöntemlerinin başarısını ortaya koymaktadır. Yıldız ve Tüzemen (2018), tarafından kapasite kısıtlı araç rotalama problemine (KKARP) dal-kesme algoritmasıyla bir çözüm önerisi sunulmuştur. Çetin ve Özçakar (2019), akaryakıt dağıtım alanında araç rotalama problemleri için başlangıç çözüm algoritmaları geliştirmişlerdir. Marinakis vd. (2019) ise zaman pencereli araç rotalama problemleri için çoklu uyarlamalı parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir. Ayrıca Tüzemen ve Yıldız (2019), minimum toplam mesafe rotalarını oluşturmak için kapasite sınırlı araç rotalama problemlerini (KKARP) uyarlayarak literatüre katkı sağlamıştır.

2020-2024 Dönemi (Sürdürülebilirlik ve Tarımsal Uygulamalar): Chung vd. (2020), drone ile kamyon hibrit operasyonları için araç rotalama optimizasyonuna dair geniş kapsamlı bir literatür taraması yaparak, gelecek nesil lojistik sistemlerinin eğilimlerini ortaya koymuşlardır.

Zhang vd. (2020), zaman değişkenlik gösteren bir yol ağı üzerinde taze gıda taşımacılığı için güvenilirliği ve sıcaklık kontrolünü birleştiren rotalama problemini optimize etmişlerdir. Yurdakul vd. (2021), evde sağlık hizmetlerinin planlaması amacıyla araç rotalama ve zamanlama problemini geliştirerek sağlık sektöründe optimizasyon tekniklerinin etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Jrapapati vd. (2022), elektronik ticaret sektöründe tarımsal gıda tahıllarının sürdürülebilir araç rotalamalarını incelemişlerdir. Worasan vd. (2022), Tayland'ın gıda endüstrisinde Endüstri 3.5 kapsamında hibrit yarasa algoritması ile çok ürünli çapraz yükleme araç rotalama problemini değerlendirmişlerdir. Şehitoğlu ve Ağayeva (2022), homojen ve heterojen filosu olan araçların kapasite kısıtlı rotalama problemleri üzerine bir karşılaştırmalı uygulama çalışması yaparak, filo yönetimi stratejilerinin sistem performansına etkilerini değerlendirmişlerdir.

Boz vd. (2023), yeşil zaman pencereli ve eş zamanlı topla dağıtım araç rotalama problemlerini üst düzey yöntemler kullanarak çözmüşlerdir. Dedetürk vd. (2023), zaman pencereli araç rotalama problemleri için kümeleme temelli bir klonal seçim algoritması geliştirerek biyolojik optimizasyon tekniklerinin etkinliğini ortaya koymuşlardır. Kalaycı ve Yılmaz (2023), elektrikli araç rotalama problemlerine ilişkin geniş bir literatür taraması yaparak, sürdürülebilir ulaşım sistemleri için gelişim eğilimlerini analiz etmişlerdir.

Chen vd. (2024), taze gıda lojistiğinde enerji kullanımını göz önünde bulunduran çok araçlı zaman değişkenli bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu model, yol tıkanıklığındaki zaman içindeki değişimleri ve taze ürünlerin kalite bozulma özelliklerini incelemektedir. Dağıstanlı (2024), askeri bir ilaç fabrikası üzerinden çok ürünli ve çok depolu araç rotalama problemini analiz ederek, savunma sanayisinde lojistik optimizasyonunun önemini vurgulamıştır. McCullough ve Matson (2024), tarımsal gıda tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde ara aktörlerin önemli bir rol oynadığını inceleyerek, çevre dostu lojistik yaklaşımlarının önemini vurgulamışlardır. Polimeni vd. (2024), elektrikli araçlar kullanarak kentsel kargo dağıtımı için çeşitli çözüm yöntemlerini değerlendirmiş ve gelecek nesil şehir lojistiği sistemleri hakkında öngörülerde bulunmuşlardır.

Bu kapsamlı literatür incelemesi, araç rotalama problemlerinin çok yönlü bir araştırma alanı olduğunu ve özellikle sürdürülebilirlik,

teknolojik entegrasyon ile sektörel çeşitlilik konularında sürekli bir gelişim içerisinde bulunduğunu göstermektedir.

2.2. Kapasite ve Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama problemlerinin en yaygın çeşitleri, araçların fiziksel sınırlamaları ve operasyonel kısıtlamaları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu problemler, esasen kapasite sınırlı araç rotalama problemleri (KKARP) ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (MKARP) olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Her iki problem türü de gerçek yaşamda önemli bir rol oynamaktadır ve özellikle lojistik işlemlerin verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

2.2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP)

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri, araç rotalama alanındaki en temel ve sık incelenen varyantlardan biridir. Bu tür problemlerde, araçların kapasiteleri önceden belirlenmiştir ve genellikle her bir aracın kapasitesi eşit kabul edilir. Homojen filo yapıları kadar heterojen filo yapıları da literatürde önemli bir yer edinmiştir. Benzer şekilde, müşteri talepleri de deterministik bir şekilde önceden belirlenmektedir ve problem çözümü sürecinde sabit olarak ele alınır.

Kapasite sınırlı araç rotalama problemlerinde, araçlar merkez depodan yola çıkarak ürünlerini belirlenen müşteri noktalarına dağıtmakta ve görevlerini tamamladıktan sonra yeniden depoya dönmektedirler. KKARP'deki temel hedef, araç kapasitesinin sınırlarını aşmadan en fazla malın taşınması ve toplam rotalama maliyetlerinin azaltılmasıdır (Praveen vd., 2022). Bu optimizasyon süreci, operasyonel verimliliği artırırken aynı zamanda lojistik giderlerini de önemli ölçüde düşürmektedir.

KKARP'nin pratik hayattaki kullanımları oldukça çeşitlidir. Market zincirlerinin dağıtım noktalarından perakende mağazalarına ürün ulaştırılması, içecek şirketlerinin bayilerine mal sevkiyatı gerçekleştirilmesi, eczanelere ilaç dağıtımı için depolardan yapılan taşıma işlemleri, e-ticaret firmalarının kargo teslimatları ve tarımsal ürünlerin üreticilerden toptancılara transferi bu tür problemlere en iyi örnekleri oluşturmaktadır. Son yıllarda e-ticaretin yükselişiyle birlikte KKARP'nin önemi giderek artmıştır.

Problemin tanımlanmasında, kapasite kısıtları ağırlık ve hacim açısından değerlendirilebilir. Bazı uygulamalarda yalnızca ağırlık kısıtları yeterli olsada, mobilya taşımacılığı gibi sektörlerde hacim sınırlamaları daha ön planda yer almaktadır. Günümüzdeki modern KKARP çalışmalarında çok boyutlu kapasiteler de göz önünde bulundurulmaktadır.

KKARP, çözüm yöntemleri bakımından iki ana grupta incelenmektedir: kesin çözüm algoritmaları ve sezgisel/üstsezgisel yaklaşımlar. Küçük ölçekli problemler için dal-sınır, dal-kesit ve dal-fiyat gibi kesin çözümler tercih edilirken, daha büyük ölçekli gerçek hayattaki problemler için genetik algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu, tabu arama ve benzetimli tavlama gibi sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

KKARP'nin amaç fonksiyonu ve kısıtlarıyla ilgili matematiksel modeli şu şekilde sunulmaktadır (Toth ve Vigo, 2002; Keskintürk vd., 2015):

Notasyonlar:

N: Müşteri sayısı

K: Araç sayısı

C: Araç kapasitesi

C_{ij}: Müşteri *i* den müşteri *j* ye gidene kadarki seyahat süresi

Karar Değişkenleri:

X_{ijk} : k aracı i den j ye gidiyorsa 1, aksi halde 0

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_{k \in K} \sum_{ij \in A} C_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} = 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in (0)} X_{0jk} = 1, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} X_{ijk} = 0, \forall k \in K, \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)}^{i \in \Delta^-(j)} x_{i,n+1,k} = 1, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N}^{i \in \Delta^-(n+1)} d_j \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} \leq C, \forall k \in K \quad (6)$$

$$X_{ijk} \geq 0, \forall k \in K, (i, j) \in N \quad (7)$$

$$X_{ijk} \in (0, 1), \forall k \in K, (i, j) \in N \quad (8)$$

Denklem (1), modelin amaç fonksiyonunu belirlemekte ve tüm araçların kat ettikleri toplam mesafeyi en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu amaç fonksiyonu, lojistik süreçlerdeki önemli maliyet kalemlerinden biri olan ulaştırma masrafını optimize etmektedir. Modelin kısıtları değerlendirildiğinde: Denklem (2), müşteri hizmeti kısıtını belirterek her bir müşterinin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesini güvence altına almaktadır. Denklem (3) ise araç çıkış kısıtını ifade ederek, merkezi depodan hareket eden her aracın rotaya dahil olmasını sağlamaktadır. Denklem (4) akış dengeleme kısıtı olarak tanımlanır ve bir aracın bir müşteri noktasına ulaştıktan sonra o noktadan ayrılmasını zorunlu hale getirir. Denklem (5) ise rota sonlandırma kısıtını belirtir; bu kısıt, tüm rotaların merkezi depoda sona ermesini garanti eder. Denklem (6), kapasite kısıtını belirtmekte ve her rotada toplam müşteri taleplerinin araç kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır. Denklem (7) ise, değişkenlerin negatif olmaması gerektiğini ifade etmektedir. Son kısıt olan Denklem (8), karar değişkenlerinin yalnızca 0 veya 1 değerlerini almasını belirlemekte ve problemin kombinatoriyal yapısını göstermektedir.

2.3. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri (MKARP)

Mesafe kısıtlı araç rotalama problemlerinde (MKARP), araçlar belirli bir mesafeyi aşamayacak şekilde hareket ederler (Li, 1992). Bu durum, araçların belirli bir süre boyunca çalışmaması veya herhangi bir aksaklık yaşanmaması halinde kullanılmaktadır (Kesintürk vd., 2015). Mesafe kısıtlı araç rotalama problemine dahil edilecek olan kısıtlama:

Notasyon:

T : Araçların kat edeceği maksimum sınır

$$\sum_{i=0} \sum_{j=0} C_{ijk} X_{ijk} \leq T \quad (9)$$

Burada eklenen kısıt denklem (9), araçların gidebileceği maksimum mesafeyi belirtmektedir.

2.4. Zaman Pencere Arac Rotalama Problemleri (ZPARP)

Zaman pencere aracı rotalama problemleri (ZPARP), kapasite sınırlı araç rotalama problemlerinin her bir düğüme zaman aralığı kısıtlamaları eklenerek oluşturulmuş bir modeldir. Bu modelde, müşteriler için erken ve geç kabul zaman dilimleri eklenmiştir (Boz vd., 2023). Eklenen (a, b) aralığı, a(i) dağıtımının erken başlanması ve b(i) dağıtımının geç başlanması anlamına gelir (Çetin ve Gencer, 2010). Zaman kısıtlı araç rotalama problemlerinde ek sınırlamalar

devreye girdiği için oldukça tatmin edici olmayan sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla daha sistematik bir yaklaşım benimsemek önem arz etmektedir (Marinakos vd., 2019). Ayrıca, zaman pencere aracı rotalama problemlerine ihtiyaç doğrultusunda yasal çalışma süreleri, aracın hızı ve zorunlu molalar gibi ek kısıtlamalar eklenebilir.

Zaman pencere aracı rotalama problemleri, esnek zaman pencere aracı rotalama problemi ve sert zaman pencere aracı rotalama problemi olarak ikiye ayrılmaktadır (Li vd., 2025):

Esnek zaman pencere aracı rotalama problemi; müşterilerin belirlediği zaman aralıklarında mümkün olduğu kadar erken teslimatı zorunlu kılmaktadır. Aksi durumda ise ek ceza maliyeti gerektirmektedir.

Sert zaman pencere aracı rotalama problemi; müşterilerin belirlediği zaman aralıklarında teslimatın yapılması gerektiğini aksi takdirde müşterilerin ürün teslimi almayacağı durumu ifade etmektedir.

ZPARP algoritması geliştirilirken bazı varsayımlar kabul edilmesi gerekmektedir. Bu varsayımlar (Liu, vd., 2023):

- Dağıtım merkezi ve müşteri konumları önceden belirlenmiştir.
- Tüm araçların kapasiteleri ve türleri aynıdır.
- Dağıtım merkezin müşteri düğümlerine ve yine müşteri düğümlerinden müşteri düğümlerine olan mesafeler önceden bilinmektedir.
- Dağıtım araçları merkezden çıkış saatleri '0' olarak kabul edilir.
- Her dağıtım aracı birden fazla müşteri düğüme hizmet verebilirken, her müşteri düğüme yalnızca bir araç hizmet verebilmektedir.
- Müşteri düğümlerinin talepleri önceden belirlenmiştir.
- Her müşteri düğümünün talebi araç kapasitesinden küçüktür ve birden fazla araç veya aynı araç ile birden fazla hizmet verilemez.
- Araçlar sadece tek bir rotada görev yapabilirler.

ZPARP'de amaç fonksiyonunu belirlerken üç maliyet dikkate alınmaktadır. Birinci maliyet algoritmanın taşıma maliyetini optimize eder. İkinci maliyet kapasite ceza maliyetini optimize ederken üçüncü maliyet ise zaman cezasını optimize etmeyi amaçlamaktadır.

$$\text{Min Maliyet} = \text{Maliyet}_{\text{Taşıma}} + \text{Maliyet}_{\text{KapasiteCeza}} + \text{Maliyet}_{\text{ZamanCeza}} \quad (10)$$

Burada (10) maliyet optimizasyonu yapılırken hem taşıma maliyetini hem kapasite ceza maliyetini hem de zaman ceza maliyetini aynı anda optimize etmeye odaklanmaktadır. Taşıma maliyeti aracın gittiği mesafe ile yakından ilgilidir. Yakıt maliyeti, amortisman maliyeti, şoför ve işçilik maliyeti gibi maliyet kalemleri etkili olmaktadır. Kapasite ceza maliyeti, aracın dağıtım noktalarına yük taşıırken maksimum araç kapasitesinden fazla yük alırsa oluşturduğu ceza maliyetidir. Zaman ceza maliyeti ise esnek zaman pencere aracı rotalama problemlerinde müşterilerin ürün teslim kabul alma zaman aralığında müşterilere ürün teslim edilmemesi durumunda oluşan ceza maliyetidir. Burada zamanında teslimatını gerçekleştiren araçlara ceza uygulanmazken sadece geç teslimat

yapan araçlara ceza uygulanmaktadır. Chen, vd., (2025) ise matematiksel formülasyonları şu şekilde göstermiştir:

$$\min F = F_1 + F_2 \quad (11)$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M X_{i,j,k} \cdot d_{i,j}, \quad \forall i \neq j \quad (12)$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^M P_j \quad (13)$$

Burada denklem (11)'de amaç fonksiyonunda maliyet minimizasyonunu göstermektedir. Denklem (12)'de taşıma işlemi ile gerçekleşen maliyetleri kapsamaktadır. Denklem (13) ise zamanında teslimat gerçekleşmediği durumunda karşılaşılabilecek ceza maliyetini temsil etmektedir.

Ayrıca zaman kısıtı olarak aşağıdaki denklemler eklenmektedir.

$$a_i \leq \text{start}_i \leq b_i, \quad \forall i \in (1, 2, 3, 4, \dots, N) \quad (14)$$

$$\text{start}_i = \max \left(a_i, \sum_{j=1}^N X_{j,i,k} \cdot (\text{start}_j + S_j + d_{i,j}) \right), \quad \forall i \neq j, \forall k \in (1, 2, 3, \dots, M) \quad (15)$$

Burada denklem (14) ve denklem (15)' hizmet sürelerinin zaman kısıtları içerisinde olması gerektiğini ifade etmektedir.

Zaman pencereli araç rotalama problemi ile alakalı çok sayıda araştırma olmasına rağmen son zamanlarda yapılan araştırmaların bazıları incelenmiştir. Topaloğlu vd., (2023), farklı ürünlerin aynı araçta taşınabilmesini sağlayan heterojen filo, çok kompartımanlı ZPARP için bir çalışma yapmıştır. Bakım ve onarım çalışması yapan bir firma için zaman pencereli çok depolu araç rotalama problemi için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir (Toru ve Yılmaz, 2023). Faramarzadeh ve Akpınar (2023), tarafından zaman pencereli ve toplamalı-dağıtımli araç rotalama problemini etkin bir şekilde çözmek için yaklaşım algoritması olan gri kurt optimizasyon algoritması modeli tasarlanmıştır. Ayrıca seyahat sürelerinde yaşanan belirsizlikleri dikkate alarak hem rotaları hem de zaman kısıtlarını eş zamanlı optimize eden ve zaman penceresi ihlal riskini minimize etmeyi hedefleyen bir model tasarlanmıştır (Hoogeboom vd., 2021).

2.5. Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri (TDARP)

Dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinde, müşteriler çeşitli nedenlerle ürünlerini iade edebilir. Bu nedenler arasında memnuniyetsizlik ya da son kullanım tarihlerinin geçmesi gibi durumlar yer almaktadır (Cömert vd., 2019). Geri toplama araç rotalama problemleri, müşterilerin depozito, ambalaj ve palet gibi ürünleri iade etmesi durumunda ortaya çıkmaktadır (Düzakın ve Demircioğlu, 2009).

Araç kapasiteleri belirlenirken dağıtım ve toplama süreçleri göz önünde bulundurulmalıdır. Topla-dağıt modellerinde, müşteri taleplerinin araç kapasitesini aşmaması gerekir. Dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerine dahil edilebilecek bir diğer kısıtlama ise şudur:

$$\sum_{j \in A} k_{ij} + \sum_{j \in A} k_{ji} \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (16)$$

Denklem (10) uyarınca, her aracın başlangıç deposuna geri döneceği belirtilmektedir.

Topla-dağıt araç rotalama problemleri, dağıtım ve toplama senaryolarına bağlı olarak üçe ayrılmaktadır: eş zamanlı topla-dağıt, önce dağıt sonra topla ve karışık topla-dağıt araç rotalama problemleri.

2.5.1. Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri (EZTDARP)

Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri (EZTDARP), toplama ve dağıtım işlemlerinin aynı anda, tek bir rota üzerinde yapıldığı durumları incelemektedir. Bu yöntemde araçlar, her müşteri noktasına yalnızca bir kez giderek teslimat ve geri alma işlemlerini aynı anda gerçekleştirmektedir. EZTDARP'nin literatürdeki ilk uygulaması ise Min (1989) tarafından kütüphaneler arası kitap dağıtım problemi için tasarlanmıştır.

Bu modelde, bir araç müşteri konumuna ulaştığında önce o yere ait teslimat ürünlerini indirmektedir. Daha sonra, aynı noktadan alınacak ürünleri yüklemektedir. Bu süreç içinde, tüm müşteriler aynı statüde ele alınmakta ve aralarında hiçbir öncelik ayrımı söz konusu olmamaktadır (Çetin ve Gencer, 2010; Yazgan ve Büyükyılmaz, 2017). EZTDARP'nin en önemli faydası, toplam mesafeyi azaltarak araç filosunun daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamasıdır.

Ancak bu yöntemi uygulamak için, araç içindeki yük düzenlemelerinin özenle planlanması gerekmektedir. Toplanan ürünler, teslimat sırasını etkilememelidir ve araç kapasitesinin hem giden hem de alınan ürünlerin toplam hacmini karşılayabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle EZTDARP, benzer özelliklere sahip ürünlerin taşındığı ve araç içi organizasyonun daha basit olduğu durumlarda sıklıkla tercih edilmektedir.

2.5.2. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemleri (ÖDSTARP)

Bu tür araç rotalama problemlerinde operasyon süreci iki aşamada yürütülmektedir. Öncelikle, araçlar müşterilere sırasıyla teslimat yaparak görevlerini tamamlamaktadır. Ardından, ikinci aşamada geri alma işlemlerine geçilmektedir. Bu yöntemin temel sebebi, araçlar dolu olduğunda toplama noktalarından alınan ürünlerin aracın içinde dağınıklığa neden olmasıdır. Bu durum, sonraki teslimat noktalarında doğru ürünü bulmayı zorlaştırmaktadır. Ayrıca, toplanan ürünlerin araç içindeki yerleşiminden dolayı teslimat ürünlerine ulaşmak zorlaşmakta ve boşaltma süreçleri verimsiz hale gelmektedir (Kantasa-ard vd., 2023).

Bu nedenle, ÖDSTARP'de araçlar ilk turda yalnızca teslimat yaparak kapasitelerini kullanmakta, ardından ikinci turda aynı müşteri ağı içinde rota oluşturarak sadece toplama işlemleri gerçekleştirmektedirler. Bu yöntem, operasyonel karmaşıklığı azaltırken toplam mesafenin artmasına ve araç kullanım verimliliğinin düşmesine neden olabilmektedir. Yine de bu senaryo, özellikle hassas ürünlerin taşındığı ve doğru teslimatın büyük önem taşıdığı sektörlerde daha sık tercih edilmektedir (Subramanian vd., 2010).

2.5.3. Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri

Karışık topla-dağıt araç rotalama problemleri (KTDARP), klasik eş zamanlı ve sıralı yöntemlerin sınırlarını aşmak için tasarlanmış esneklik sunan bir modeldir. Bu yöntemde, müşteri noktalarına birden fazla kez ziyaret gerçekleştirilmesi mümkün olup, operasyonel gereksinimlere göre çeşitli stratejiler hayata geçirilebilmektedir. Bir müşteri noktasında hem dağıtım hem de toplama işlemleri aynı anda yapılabilir. Alternatif olarak, önce dağıtım gerçekleştirip ardından aynı yere toplama işlemi için ayrı bir ziyaret düzenlemek de mümkündür. Kantasa-ard vd. (2023), dinamik sürdürülebilir çok depolu araç rotalama probleminde eş zamanlı toplama ve teslimat süreçlerinin fiziksel internet çerçevesinde nasıl optimize edileceğini incelemişlerdir.

KTDARP'nin en önemli avantajı, işletmelere operasyonel esneklik sağlayarak her müşteriye en uygun stratejiyi belirleyebilme olanağı

sunmasıdır. Bu özellik, özellikle ürünlerin farklılık gösterdiği, müşteri taleplerinin sürekli değiştiği ya da araç içi düzenlemenin hayati bir öneme sahip olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Cömert vd. (2019), eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem, karışık operasyonların etkinliğini ortaya koymaktadır. Ancak, matematiksel modelleme açısından diğer yaklaşımlara nazaran daha karmaşık bir yapı gerektirdiği için, Subramanian vd. (2010) tarafından belirtildiği üzere, genellikle sezgisel ve üst-sezgisel algoritmalar tercih edilmekte ve büyük ölçekli problemler için yaklaşık çözüm yöntemleri kullanılmaktadır.

3. Uygulama

3.1. Araştırma Problemi ve Kapsamı

Türkiye'nin önde gelen tarımsal bölgelerinden biri olan Kastamonu ili, özellikle Taşköprü ilçesinde yoğunlaşan sarımsak üretimi sayesinde ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunmaktadır. Taşköprü sarımsağı, coğrafi işaret ile korunan ve uluslararası kalite standartlarını karşılayan bir ürün olarak hem yerel piyasada hem de ihracatta büyük bir stratejik öneme sahiptir. Ancak, tarımsal ürünlerin üreticiden tüketiciye ulaşması sırasında yaşanan lojistik problemler, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için büyük bir maliyet faktörü teşkil etmektedir.

Tarımsal gıda sektöründe lojistik giderleri, ürünlerin nihai satış fiyatının büyük bir kısmını etkilemekte ve bu durum işletmelerin rekabet gücünü doğrudan etkilemektedir. Özellikle taze ürünler arasında yer alan sarımsak gibi ürünlerin dağıtım söz konusu olduğunda, zaman önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel dağıtım yöntemleriyle gerçekleştirilen plansız rotalar, yakıt giderlerini yükseltmekte ve araçların kullanım verimliliğini düşürmektedir. Bu

durum, artan yakıt fiyatları ve operasyonel maliyetler dikkate alındığında, işletmelerin karlılığını olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmanın ana hedefi, gerçek bir tarımsal işletmenin karşılaştığı lojistik problemlere bilimsel temellere dayalı çözümlerle yaklaşarak, sektördeki diğer benzer şirketler için de uygulanabilir bir model geliştirmektir. Araştırmanın önemi, teorik araç rotalama yöntemlerinin tarımsal gıda alanındaki pratik uygulanabilirliğini ortaya koyması ve küçük ölçekli işletmelerin de modern optimizasyon tekniklerinden yararlanabileceğini ispatlamasıdır.

Kastamonu ilinin Taşköprü ilçesinde sarımsak yetiştiriciliği yapan XYZ İşletmesi, yıllardır bu alanda faaliyet göstermektedir. İşletme, bölgenin iklim ve toprak yapısından yararlanarak yüksek kalitede sarımsak üretmektedir. Ürettiği ürünleri ise Türkiye'nin farklı yerlerindeki hal merkezlerine toptan satış olarak sunmaktadır.

Satışları kendi araç filosu ile gerçekleştiren işletme sahibi, Kastamonu'daki ana deposundan hareketle talep noktalarına ürün teslim etmektedir. Mevcut durumda işletme, rotalarını deneyim ve sezgisel yöntemlerle belirlemekte; bu da hem operasyonel verimliliği azaltmakta hem de gereksiz maliyet artışlarını beraberinde getirmektedir. İşletmenin ürün teslimatında karşılaştığı zaman, maliyet ve mesafe problemleri nedeniyle, bilimsel bir yaklaşımla en uygun rotaların belirlenmesi ve zaman çerçevesi içinde maliyetin ve mesafenin en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

XYZ İşletmesinin şehirlerarası taşımacılıkta kullandığı aracın maksimum yük taşıma kapasitesi 4 tondur. İşletme, aylık düzenli talep oluşturduğu şehirler olan Adana, Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Aydın, Elâzığ, Giresun, Hatay, İstanbul, İzmir, Mersin, Ordu, Osmaniye, Rize, Samsun, Şanlıurfa, Tekirdağ ve Trabzon olmak üzere 18 farklı şehirdeki hal merkezlerine düzenli sevkiyat yapmaktadır. Talep oluşturan hal merkezlerinin aylık talep listesi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1

Şehirlere göre hal merkezlerinin talep miktarları (kg)

İller	Talep Miktarı (kg)	İller	Talep Miktarı (kg)
Adana	2500	İzmir	1000
Afyonkarahisar	2500	Mersin	1000
Ankara	2500	Ordu	1000
Antalya	2500	Osmaniye	1000
Aydın	1000	Rize	1000
Elâzığ	1000	Samsun	1000
Giresun	1000	Şanlıurfa	1000
Hatay	1000	Tekirdağ	1000
İstanbul	1000	Trabzon	1000

Tablo 1'de görüldüğü üzere Adana, Afyonkarahisar, Ankara ve Antalya illerinin talepleri 2.500 kg iken diğer illerin talepleri ise her bir il için 1.000 kg'dır. Toplam aylık talep miktarı 24.000 kg olarak gerçekleşmektedir. Bu talep dağılımı, işletmenin farklı büyüklükteki pazarlara hizmet verdiğini ve rota planlamasında hem büyük hem de küçük hacimli teslimatları dikkate alması gerektiğini göstermektedir.

İller arasındaki mesafe bilgileri, maliyet optimizasyonunun hesaplanması için gerekli olan en önemli parametrelerden biridir. Mesafe verileri doğrudan yakıt tüketimi, araç aşınması ve sürücü maliyetlerini etkilemektedir. XYZ İşletmesinin sevkiyat gerçekleştirdiği şehirler arasındaki kilometre cinsinden mesafe değerleri Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2

Mesafeler matrisi (Km)

	Kast	Ada.	Afy.	Ank.	Ant.	Ayd.	Ela.	Gir.	Hat.	İst.	İzm.	Mer.	Ord.	Osm.	Riz.	Sam.	Ş.Ur	Tek.	Trab.
Kast.	0	687	499	243	780	841	799	485	878	510	822	680	441	774	696	290	946	642	621
Ada.	687	0	573	490	552	883	490	721	191	939	900	69	710	87	920	722	349	1071	845
Afy.	499	573	0	256	292	346	958	864	764	454	327	565	820	660	1075	669	922	586	1000
Ank.	243	490	256	0	544	598	755	608	681	453	579	483	564	577	819	413	804	585	744
Ant.	780	552	292	544	0	342	1042	1100	743	718	444	483	1056	639	1307	905	901	850	1232
Ayd.	841	883	346	598	342	0	1268	1206	1074	684	126	825	1162	970	1417	1011	1232	630	1342
Ela.	799	490	958	755	1042	1268	0	563	472	1208	1285	559	592	403	576	664	319	1340	501
Gir.	485	721	864	608	1100	1206	563	0	811	929	1187	790	44	742	211	195	792	1061	136
Hat.	878	191	764	681	743	1074	472	811	0	1130	1091	260	800	129	1010	812	331	1262	935
İst.	510	939	454	453	718	684	1208	929	1130	0	564	932	885	1026	1140	734	1257	132	1065
İzm.	822	900	327	579	444	126	1285	1187	1091	564	0	892	1143	987	1398	992	1249	506	1323
Mer.	680	69	565	483	483	825	559	790	260	932	892	0	779	156	989	744	418	1064	914
Ord.	441	710	820	564	1056	1162	592	44	800	885	1143	779	0	731	255	151	808	1017	180
Osm.	774	87	660	577	639	970	403	742	129	1026	987	156	731	0	941	743	262	1158	866
Riz.	696	920	1075	819	1307	1417	576	211	1010	1140	1398	989	255	941	0	406	879	1272	75
Sam.	290	722	669	413	905	1011	664	195	812	734	992	744	151	743	406	0	832	866	331
Ş.Ur	946	349	922	804	901	1232	319	792	331	1257	1249	418	808	262	879	832	0	1389	804
Tek.	642	1071	586	585	850	630	1340	1061	1262	132	506	1064	1017	1158	1272	866	1389	0	1197
Trab.	621	845	1000	744	1232	1342	501	136	935	1065	1323	914	180	866	75	331	804	1197	0

Tablo 2'deki mesafe matrisi, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün resmi istatistiklerine dayanmaktadır ve şehirlerarası en kısa yol mesafelerini göstermektedir. Bu bilgiler, araç rotalama modelinin ana girdilerini sağlamak ve optimizasyon sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Tarım gıda sektöründe zaman, ürün kalitesinin sürdürülebilirliği açısından oldukça kritik bir unsurdur. Farklı hal merkezlerinin çalışma saatleri ve ürün kabul süreleri, rota

planlamasında göz önünde bulundurulması gereken önemli sınırlamalar arasındadır. Her hal merkezinin kendine has operasyonel zaman aralıkları bulunmaktadır ve bu zaman dilimlerinin dışında gerçekleştirilen teslimatlar kabul edilmemektedir. Ürünlerin teslim edileceği yerlerdeki kabul saatleri Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3

Hal merkezlerinin ürün kabul saat aralıkları

İller	En Erken Kabul	En Geç Kabul	İller	En Erken Kabul	En Geç Kabul
Adana	04:00	22:00	İzmir	06:00	20:00
Afyonkarahisar	09:00	18:30	Mersin	03:00	20:00
Ankara	07:30	19:30	Ordu	04:00	23:00
Antalya	04:00	18:00	Osmaniye	09:00	20:00
Aydın	06:30	18:00	Rize	09:00	18:00
Elâzığ	04:00	18:00	Samsun	01:00	19:00
Giresun	09:00	20:00	Şanlıurfa	09:00	20:00
Hatay	04:00	18:00	Tekirdağ	09:00	23:00
İstanbul	09:00	17:00	Trabzon	06:00	16:00

Tablo 3'te yer alan verilere göre, her hal merkezinin ürün teslim alma saatlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu zaman aralıklarının çeşitliliği, rota planlamasında ilave bir karmaşıklık yaratırken, aynı zamanda daha etkili bir zaman yönetimi imkânı da sağlamaktadır. Ayrıca, her teslim noktasında boşaltma ve belgelerin işlenmesi için bir saatlik servis süresi gereklidir. İşletmenin maliyet yapısını oluşturan temel bileşenler arasında yakıt, araç amortismanı ve personel giderleri bulunmaktadır. XYZ İşletmesi, sevkiyat

sırasında araçlarının ortalama hızını saatte 75 kilometre olarak belirlemiştir. Bu araçlar, her 100 kilometrede ortalama 12 litre yakıt harcamaktadır. Araştırmanın gerçekleştirildiği dönemde, güncel yakıt fiyatı ise litre başına 48 TL olmuştur. Araç başına düşen amortisman gideri, kilometre üzerinden hesaplanmış ve 3,20 TL olarak tespit edilmiştir. Personel maliyetleri incelendiğinde ise, her araç için iki şoför atanmıştır. Bu uygulama, yasal düzenlemeler gereği günlük en fazla 9 saatlik sürüş süresini aşmadan uzun

mesafeli seferlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, kilometre başına şoför maliyeti 6 TL olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, talep noktalarına gerçekleştirilen dağıtımın kısmen yapılmasına onay verilmiştir. Bu durum, araç kapasitelerinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu veriler doğrultusunda oluşturulan zaman pencereli araç rotalama problemi matematiksel modeli sayesinde toplamda 7 farklı rota belirlenmiş ve işletmenin mevcut dağıtım sisteminde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.

3.2. Matematiksel Modelin Tanımlanması

Bu bölümde, XYZ İşletmesinin sarımsak dağıtım problemini çözmek için tasarlanan zaman pencereli araç rotalama problemi matematiksel modelinin detayları sunulmaktadır. Model, zaman kısıtları, araç kapasiteleri ve maliyet optimizasyonunu aynı anda dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır.

İndisler ve Kümeler

$i, j \in N$: Dağıtım noktalarını ifade eden indisler ($i, j = 1, 1, 2, \dots, 19$). Burada 1 indisi merkezi depo olan Kastamonu'yu, diğer indisler talep noktalarını temsil etmektedir.

$k \in K$: Araç filosundaki kullanılabilir araçları ifade eden indis ($k = 1, 2, \dots, 7$). Toplam 7 araçlık filo kapasitesi mevcuttur.

Parametreler

CC: Her aracın maksimum yük taşıma kapasitesi (4.000 kg). Tüm araçlar homojen kapasiteye sahiptir.

Depolar(i): Merkezi depo konumunu tanımlayan küme. Kastamonu ili merkez ilçesi ana depo konumunu ifade eder.

Musteri(i): Müşteri lokasyonlarını tanımlayan küme. 18 farklı şehirdeki hal merkezlerini kapsamaktadır.

BS: Büyük sayı parametresi (10.000). Modelin kısıt yapısında kullanılan yardımcı parametredir.

SM: Kilometre başına şoför maliyeti (6,00 TL/km). İki şoför sistemi ile çalışma maliyetini yansıtmaktadır.

AM: Kilometre başına araç amortisman maliyeti (3,20 TL/km). Araç değer kaybı ve bakım giderlerini içermektedir.

AH: Araçların ortalama seyahat hızı (75 km/saat). Şehirlerarası karayolu ortalama hızını temsil etmektedir.

Servis: Her dağıtım noktasında ürün boşaltma ve evrak işlemleri için gerekli süre (1 saat).

LF: Yakıt birim fiyatı (48,00 TL/litre). Güncel piyasa fiyatını yansıtmaktadır.

KY: 100 kilometre mesafede tüketilen yakıt miktarı (12 litre). Araç yakıt tüketim katsayısıdır.

M_i: i dağıtım noktasının aylık talep miktarı (kg cinsinden). Değişken talep yapısını göstermektedir.

C_{ij}: i noktasından j noktasına karayolu mesafesi (km). Karayolları Genel Müdürlüğü verilerine dayanmaktadır.

a_i: i dağıtım noktasının teslimat kabul başlangıç saati. Zaman penceresi alt sınırını belirler.

b_i: i dağıtım noktasının teslimat kabul bitiş saati. Zaman penceresi üst sınırını belirler.

zaman_{ij}: i noktasından j noktasına seyahat süresi. C_{ij} / AH formülü ile hesaplanır.

Karar Değişkenleri

z: Amaç fonksiyonunun değerini ifade eden ana karar değişkeni. Toplam sistem maliyetini minimize etmeyi hedefler.

x_{ijk}: İkili karar değişkeni. k aracının i noktasından j noktasına seyahat edip etmediğini gösterir (1: evet, aksi halde 0).

nt_{ki}: Sürekli karar değişkeni. k aracının i dağıtım noktasına teslim ettiği ürün miktarını (kg) ifade eder.

t_{ki}: Sürekli karar değişkeni. k aracının i noktasına varış zamanını (saat) gösterir.

cikis_{ki}: Sürekli karar değişkeni. k aracının i noktasından ayrılış zamanını (saat) belirtir.

ak_k: İkili karar değişkeni. k aracının kullanılıp kullanılmadığını gösterir (1: kullanıldı, aksi halde 0).

Maliyet Bileşeni Değişkenleri

Maliyet_k: k aracının toplam operasyonel maliyetini gösteren sürekli değişken.

Maliyet_yakit_k: k aracının toplam yakıt giderini hesaplayan sürekli değişken.

Maliyet_amortisman_k: k aracının toplam amortisman maliyetini hesaplayan sürekli değişken.

Maliyet_sofor_k: aracının toplam şoför giderini hesaplayan sürekli değişken.

Bu matematiksel formülasyon, tarımsal gıda sektörünün karmaşık lojistik gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmış olup, zaman kritik teslimatların optimizasyonunu sağlamaktadır.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{i,j,k} C_{ij} \left(\frac{KY}{100} \right) \cdot LF \cdot X_{ijk} + \sum_k a_k \cdot BS + \sum_{ijk} C_{ij} \cdot X_{ijk} \cdot SM + \sum_{ijk} C_{ij} \cdot x_{ijk} \cdot AM \quad (17)$$

Kısıtlar

$$\sum_i nt_{ki} \leq CC, \forall k \quad (18)$$

$$\sum_k nt_{ki} = M_i, \forall i \quad (19)$$

$$\sum_{j \in Musteri} X_{1,j,k} = 1, \forall k \quad (20)$$

$$\sum_{i \in Musteri} X_{i,1,k} = 1, \forall k \quad (21)$$

$$\sum_{j \neq i} X_{jik} = \sum_{i \neq j} X_{ijk}, \forall i \in Musteri, \forall k \quad (22)$$

$$\sum_j X_{jik} \cdot BS \geq nt_{ki}, \forall k, i \quad (23)$$

$$\text{Maliyet}_k = \sum_{i,j,k} C_{ij} \left(\frac{KY}{100} \right) \cdot LF \cdot X_{ijk} + \sum_{ijk} C_{ij} \cdot X_{ijk} \cdot SM + \sum_{ijk} C_{ij} \cdot x_{ijk} \cdot AM, \forall k \quad (24)$$

$$\text{Maliyet_yakit}_k = \sum_{i,j,k} C_{ij} \left(\frac{KY}{100} \right) \cdot LF \cdot X_{ijk}, \forall k \quad (25)$$

$$\text{Maliyet_amortisman}_k = \sum_{ijk} C_{ij} \cdot x_{ijk} \cdot AM, \forall k \quad (26)$$

$$\text{Maliyet_sofor}_k = \sum_{ijk} C_{ij} \cdot X_{ijk} \cdot SM, \forall k \quad (27)$$

$$\sum_{ij} X_{ijk} \geq a_k, \forall k \quad (28)$$

$$a_i \leq t_{ki}, \forall k, \forall i \in Musteri \quad (29)$$

$$t_{ki} \leq b_i, \forall k, \forall i \in Musteri \quad (30)$$

$$t_{ki} \geq cikis_{ki} + zaman_{ij} - (1 - X_{ijk}) \cdot BS, \forall k, \forall i \neq j \quad (31)$$

$$cikis_{ki} = t_{ki} + servis, \forall k, \forall i \in Musteri \quad (32)$$

Geliştirilen zaman pencereli araç rotalama problemi için matematiksel modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır: Denklem (17), modelin amaç fonksiyonunu temsil eder ve sistemdeki tüm araçların toplam lojistik maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu hedef fonksiyonu, yakıt, amortisman ve sürücü giderlerini aynı anda optimize etmektedir. Denklem (18), araçların kapasite kısıtlamasını belirler ve her bir

aracın toplam yük taşıma kapasitesinin 4 ton sınırını geçmemesini sağlar. Denklem (19), talep karşılama kısıtını açıklamakta ve her dağıtım noktasındaki talebin bir ya da daha fazla araç tarafından tam olarak karşılanmasını garanti etmektedir. Denklem (20) ise, araç çıkış kısıtını tanımlamakta ve her aracın merkezi depodan yalnızca bir kez yola çıkmasını zorunlu hale getirmektedir. Denklem (21), araçların dönüş kısıtlamasını ifade etmekte ve tüm araçların rotalarını tamamladıktan sonra merkezi depoya geri dönmelerini sağlamaktadır. Denklem (22) ise akış dengeleme kısıtını oluşturarak, her dağıtım noktasında araçların giriş ve çıkış dengesini kontrol etmektedir. Denklem (23), teslimat ve rota arasındaki ilişki kısıtını tanımlar ve araçların yalnızca ziyaret ettikleri noktalara ürün teslim etmesini sağlar. Denklem (24) ise her aracın toplam operasyonel maliyetini hesaplar. Denklem (25), araçların yakıt giderlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Denklem (26) ise amortisman giderlerini, Denklem (27) de şoför masraflarını ayrı bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, Denklem (28) araç kullanım durumunu izleyerek hangi araçların aktif olarak kullanıldığını göstermektedir. Denklem (29), zaman penceresinin alt sınırını ifade eder ve araçların dağıtım noktalarına en erken kabul saatinden önce ulaşmasını engeller. Denklem (30) ise zaman penceresinin üst sınırını tanımlar ve araçların en geç kabul saatinden sonra teslimat yapmalarını önler. Denklem (31), rotalar arasındaki zaman ilişkisini oluşturmakta ve bir aracın belirli bir noktadan ayrıldıktan sonra bir sonraki durağa ne zaman ulaşacağını tespit etmektedir. Denklem (32), hizmet süresi kısıtını ortaya koymakta ve her dağıtım noktası için gerekli olan boşaltma ve belge işlemleri sürelerini modele eklemektedir.

3.3. Matematiksel Modelin Çözülmesi ve Bulgular

Geliştirilen matematiksel model, GAMS Studio (49.6.1) yazılımı aracılığıyla karma tamsayılı programlama tekniği ile uygulanmıştır. Çözüm süreci toplamda 14 saat 38 dakika almıştır ve optimal bir sonuç elde edilmiştir. Hesaplama süreci için 20 çekirdekli bir işlemci kullanılmıştır ve sistem, 64 GB RAM'in yaklaşık %80'ini tüketmiştir. CPLEX çözümleyici tarafından tüm değişkenler için tam sayılı bir

çözüm elde edilmiştir ve bu süreçte yaklaşık 608.156.422 iterasyon yapılmıştır. Bu yüksek iterasyon sayısı, modelin çözüm alanının genişliğini ve problemin kombinatoriyal zorluğunu ortaya koymaktadır. Tasarlanan zaman pencereli araç rotalama modeli için elde edilen en iyi çözümün toplam maliyeti 161.612,88 TL olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, maliyet, mesafe ve zaman unsurlarının aynı anda optimize edilmesiyle elde edilmiştir. Modelin çözümü sonucunda toplamda 7 farklı rota belirlenmiştir ve her bir rotadaki araçların kapasite kullanım oranları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4

GAMS yazılım paket programı ile elde edilen rotalardaki araçların kapasite durumları

---- EQU kapasite Her aracın kapasite sınırı				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	-INF	4.0000	4.0000	EPS
2	-INF	3.5000	4.0000	.
3	-INF	4.0000	4.0000	EPS
4	-INF	1.0000	4.0000	.
5	-INF	4.0000	4.0000	.
6	-INF	4.0000	4.0000	EPS
7	-INF	3.5000	4.0000	.

Tablo 4'te görüldüğü gibi belirlenen 7 rotadan 1, 3, 5 ve 6 numaralı olanlar araçların tam kapasiteyle hizmet verdiğini göstermektedir. Diğer yandan, 2 ve 7 numaralı rotalardaki araçlar ise toplam kapasitelerinin 500 kg altında çalışmaktadır. Ayrıca, 4 numaralı rota için hizmet veren araçlar yalnızca %25 oranında bir kapasiteyle dağıtım gerçekleştirmektedir. Bu kapasite dağılımı, toplam talebin araç kapasitelerine en uygun şekilde dağıtıldığını ve sistemin genel olarak yüksek bir verimlilikle işlediğini ortaya koymaktadır. Belirlenen yolların ayrıntılı incelemesi, her bir rotanın mesafe bilgileri ile dağıtım noktalarına yapılan teslimat miktarları Tablo 5'te kapsamlı bir şekilde yer almaktadır.

Tablo 5

GAMS yazılım paket programı ile elde edilen rotalar

---- 167 VARIABLE x.L		1	2	3	4	5	6	7
Kastamonu	.Afyonkarahisar						1.000	
Kastamonu	.Ankara	1.000	1.000					
Kastamonu	.Elazığ			1.000				
Kastamonu	.Hatay							1.000
Kastamonu	.Samsun				1.000	1.000		
Adana	.Kastamonu			1.000				
Adana	.Mersin							1.000
Afyonkarahisar	.Antalya		1.000					
Afyonkarahisar	.Aydın						1.000	
Ankara	.Afyonkarahisar		1.000					
Ankara	.İstanbul	1.000						
Antalya	.Kastamonu		1.000					
Aydın	.İzmir						1.000	
Elazığ	.Sanliurfa			1.000				
Giresun	.Rize					1.000		
Hatay	.Osmaniye							1.000
İstanbul	.Tekirdağ	1.000						
İzmir	.Kastamonu						1.000	
Mersin	.Kastamonu							1.000
Ordu	.Giresun					1.000		
Osmaniye	.Adana							1.000
Rize	.Trabzon					1.000		
Samsun	.Kastamonu				1.000			
Samsun	.Ordu					1.000		
Sanliurfa	.Adana			1.000				
Tekirdağ	.Kastamonu	1.000						
Trabzon	.Kastamonu					1.000		

Tablo 5'te yer alan rota analizine göre, GAMS Studio program çıktısında 7 rotanın ayrıntılı bilgileri yer almaktadır. Programın çıktısına göre ilk rota Kastamonu – Ankara – İstanbul – Tekirdağ – Kastamonu şeklindedir. İkinci rota, Kastamonu – Ankara – Afyonkarahisar – Antalya – Kastamonu olarak güzergahını tamamlamaktadır. Üçüncü rota, Kastamonu – Elazığ – Şanlıurfa – Adana – Kastamonu şeklindedir. Dördüncü rota ise sadece

Kastamonu – Samsun – Kastamonu olduğu görülmektedir. Beşinci rota Kastamonu – Samsun – Ordu – Giresun – Rize – Trabzon – Kastamonu şeklindedir. Altıncı rotanın güzergahı, Kastamonu – Afyonkarahisar – Aydın – İzmir – Kastamonu şeklindedir ve son rota olan yedinci rota ise, Kastamonu – Hatay – Osmaniye – Adana – Mersin – Kastamonu şeklindedir. Rotalarda şehirlere yapılan ürün teslim miktarları ise Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6

Rotalarda dağıtım noktalarına yapılan ürün teslim miktarı (kg)

Şehirler	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7
Adana			2.000				500
Afyonkarahisar		500				2.000	
Ankara	2.000	500					
Antalya		2.500					
Aydın						1.000	
Elâzığ			1.000				
Giresun					1.000		
Hatay							1.000
İstanbul	1.000						
İzmir						1.000	
Mersin							1.000
Ordu					1.000		
Osmaniye							1.000
Rize					1.000		
Samsun				1.000			
Şanlıurfa			1.000				
Tekirdağ	1.000						
Trabzon					1.000		

Tablo 6 incelendiğinde yapılan araştırmada oluşturulan model, kısmi dağıtımlara olanak tanıdığı için Ankara, Afyonkarahisar ve Adana illerinin talepleri iki farklı rota aracılığıyla karşılandığı görülmektedir. Bu durum, araç kapasitelerinin daha verimli bir

şekilde kullanılmasını sağlamış ve toplam rota sayısının iyileştirilmesine yardımcı olmuştur. Ayrıca rotaların katettiği toplam mesafe Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7

Rotaların uzunlukları (km)

Rotalar	Rota Güzergahı	Toplam Mesafe (km)
1	Kastamonu-Ankara-İstanbul-Tekirdağ-Kastamonu	1470 km
2	Kastamonu-Ankara-Afyonkarahisar-Antalya-Kastamonu	1571 km
3	Kastamonu-Elâzığ-Şanlıurfa-Adana-Kastamonu	2154 km
4	Kastamonu-Samsun-Kastamonu	580 km
5	Kastamonu-Samsun-Ordu-Giresun-Rize-Trabzon-Kastamonu	1392 km
6	Kastamonu-Afyonkarahisar-Aydın-İzmir-Kastamonu	1792 km
7	Kastamonu-Hatay-Osmaniye-Adana-Mersin-Kastamonu	1843 km

Tablo 7 incelendiğinde rotaların toplam uzunlukları km cinsinden verilmiştir. Tabloya göre en uzun rota Kastamonu – Elâzığ – Şanlıurfa – Adana – Kastamonu rotası olan 3.rotadır ve toplam 2154 km yol katetmiştir. En kısa rota ise Kastamonu – Samsun – Kastamonu rotası olan 4. rotadır ve toplam rota uzunluğu 580

km'dir. Rotaların toplam uzunluğu ise 10.802 km olarak bulunmuştur.

Zaman pencereli araç rotalama probleminin doğası gereği, her dağıtım noktasına giriş ve çıkış saatlerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Oluşturulan rotaların zaman çizelgesi detayları Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8

GAMS yazılım paket programı ile elde edilen rotalardaki noktalara giriş ve çıkış saatleri

Rotalar	Güzergâh	Giriş Saati	Çıkış Saati
Rota 1	Kastamonu	...	04:16
	Ankara	07:30	08:30
	İstanbul	17:00	18:00
	Tekirdağ	23:00	00:00
	Kastamonu	08:34	...
Rota 2	Kastamonu	...	04:16
	Ankara	07:30	08:30
	Afyonkarahisar	13:06	14:06
	Antalya	18:00	19:00
	Kastamonu	05:24	...
Rota 3	Kastamonu	...	00:00
	Elâzığ	10:39	11:39
	Şanlıurfa	16:21	17:21
	Adana	22:00	23:00
	Kastamonu	08:10	...
Rota 4	Kastamonu	...	00:00
	Samsun	03:52	04:52
	Kastamonu	08:44	...
Rota 5	Kastamonu	...	00:00
	Samsun	03:52	04:52
	Ordu	08:36	09:36
	Giresun	10:11	11:11
	Rize	14:00	15:00
	Trabzon	16:00	17:00
	Kastamonu	01:17	...
Rota 6	Kastamonu	...	02:21
	Afyonkarahisar	09:00	10:00
	Aydın	17:19	18:19
	İzmir	20:00	21:00
	Kastamonu	07:58	...
Rota 7	Kastamonu	...	00:00
	Hatay	11:42	12:42
	Osmaniye	15:55	16:55
	Adana	18:05	19:05
	Mersin	20:00	21:00
	Kastamonu	06:04	...

Tablo 8'de yapılan zaman analizinde, depo çıkış saatleri, dağıtım noktalarına varış ve çıkış saatleri ile depoya geri dönüş saatleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Her bir dağıtım noktasında 1 saatlik servis süresi modele eklenmiş olup, zaman penceresi kısıtlarının tamamının sağlandığı doğrulanmıştır.

Araştırmanın maliyet analizi, işletmenin karar verme süreçleri açısından büyük bir önem taşımaktadır. Modelin detaylı maliyet dağılımı Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9

GAMS yazılım paket programı ile elde edilen maliyetler tablosu

	ROTA 1	ROTA 2	ROTA 3	ROTA 4	ROTA 5	ROTA 6	ROTA 7	TOPLAM
Yakıt Maliyeti	8467,2	9048,96	12407,04	3340,8	8017,92	10327,68	10615,68	62225,28
Amortisman Maliyeti	4704	5027,2	6892,8	1856	4454,4	5737,6	5897,6	34569,6
Şoför Maliyeti	8820	9426	12924	3480	8352	10758	11058	64818
TOPLAM MALİYET	21991,2	23502,16	32223,84	8676,8	20824,32	26823,28	27571,28	161612,88

Tablo 9'da yer alan kapsamlı maliyet analizine göre, birinci rotanın toplam maliyeti 21.991,20 TL, ikinci rotanın maliyeti 23.502,16 TL, üçüncü rotaya ait toplam gider 32.223,84 TL, dördüncü rota için toplam harcama 8.676,80 TL olarak belirlenmiştir. Beşinci rotanın maliyeti ise 20.824,32 TL'dir; altıncı rotanın toplam maliyeti 26.971,28 TL olarak belirlenmiş olup, yedinci rota 27.421,28 TL tutarındadır.

Maliyet bileşenleri göz önünde bulundurulduğunda, toplam yakıt gideri 62.225,28 TL, amortisman masrafları 34.569,60 TL ve sürücü maliyetleri ise 64.818,00 TL olmuştur. Zaman pencereli araç rotalama problemindeki ana hedef olan toplam maliyetin en aza indirilmesi 161.612,88 TL ile başarıyla elde edilmiştir.

Yakıt giderlerinin toplam masraflar içerisinde %38,5 oranında bir paya sahip olması, enerji verimliliği bakımından kayda değer bir bulgudur. Şoför maliyetlerinin toplam maliyet içinde %40,1 oranıyla en yüksek paya sahip olması, personel yönetiminin rota planlamasında ne denli önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Diğer yandan, amortisman giderlerinin %21,4'lük orana ulaşması ise araç filosunun etkin kullanımının ne derece hayati olduğunu vurgulamaktadır.

Bu detaylı analizin bulguları, oluşturulan zaman pencereli araç rotalama modelinin XYZ İşletmesi'nin lojistik süreçlerinde kayda değer iyileşmeler sağladığını ve benzer tarım işletmeleri için geçerli bir çözüm sunabileceğini ortaya koymaktadır.

3.4. Model Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi

Geliştirilen zaman pencereli araç rotalama problemi modeli, XYZ İşletmesi'nin 18 farklı şehre gerçekleştirdiği dağıtım işlemlerinde başarıyla kullanılmıştır. Modelin çözümüyle birlikte elde edilen toplam maliyet 161.612,88 TL olarak gerçekleşmiş olup, bu sonuç 7 farklı rotanın en uygun şekilde planlanmasıyla elde edilmiştir. Bu bulgu, tarımsal gıda sektöründe zaman pencereli araç rotalama problemlerinin etkili bir şekilde çözülebileceğini ortaya koymaktadır.

3.4.1. Rota Verimliliği ve Kapasite Analizi

Oluşturulan 7 rotanın analizi incelendiğinde; toplam 24.000 kg ürün dağıtımı için kg başına maliyet 6,73 TL olarak hesaplanmıştır. Tablo 4'te görüldüğü üzere rotaların 4'ünde (%57) tam kapasite kullanımı sağlanırken, rotanın 3'ünde %87,5 kapasite kullanımı ve kalan 1 rotada ise %25'lik kapasite kullanımı sağlanmıştır. Bu durum, model tarafından araç kapasitelerinin yüksek verimlilikle kullanıldığını ve optimal kaynak dağılımının gerçekleştirildiğini göstermektedir. Maliyet bileşenleri açısından değerlendirildiğinde, şoför maliyetlerinin %40,1, yakıt maliyetlerinin %38,5 ve amortisman maliyetlerinin %21,4 pay aldığı tespit edilmiştir.

3.4.2. Modelin Uygulanabilirlik Değerlendirmesi

Hazırlanan yedi rotanın değerlendirilmesi sonucunda, toplam 24.000 kg ürün dağıtımı için maliyetin kilogram başına 6,73 TL olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4'ten anlaşıldığı üzere, dört rotada (%57) tam kapasite kullanımı elde edilirken, 2 rotada (%28,5) kapasitenin %87,5'lik kısmı, kalan 1 rotada (%14,5) ise kapasitenin %25'lik kısmı kullanılmaktadır. Bu durum, modelin araç kapasitelerinin etkin bir şekilde kullanıldığını ve kaynakların en iyi şekilde dağıtıldığını ortaya koymaktadır. Maliyet unsurları incelendiğinde, şoför giderlerinin toplam maliyetin %40,1'ini, yakıt giderlerinin %38,5'ini ve amortisman giderlerinin ise %21,4'ünü oluşturduğu belirlenmiştir.

3.5. Duyarlılık Analizi

Geliştirilen zaman pencereli araç rotalama problemi modelinin güvenilirliğini ölçmek ve önemli parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini incelemek için detaylı bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz, modelin parametrelerindeki değişikliklerin toplam maliyet, kullanılan rota sayısı ve kapasite kullanımına etkilerini sistematik bir şekilde ele almaktadır. Duyarlılık analizi, işletme yöneticilerinin çeşitli piyasa koşullarında stratejik kararlar almaları için önemli parametreleri belirler ve model sonuçlarının farklı senaryolar altında ne kadar sağlam olduğunu sınamaktadır.

3.5.1. Yakıt Fiyatı Duyarlılık Analizi

Lojistik süreçlerde yakıt maliyetleri, toplam maliyetin %38,5'ini oluşturduğu için, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmaların sistem performansı üzerindeki etkisini incelemek oldukça önemlidir. Bu çalışmada, 48 TL/litre olan yakıt fiyatı üzerinden %20 ve %50 oranlarında artış ve azalış senaryoları incelenmiştir.

Tablo 10

Yakıt fiyatı değişiminin toplam maliyet üzerindeki etkisi

Yakıt Fiyatı (TL/litre)	Değişim Oranı (%)	Toplam Maliyet (TL)	Maliyet Değişimi (%)	Kg Başına Maliyet (TL)
38,40	-20%	151.226,68	-6,43%	6,30
43,20	-10%	156.419,78	-3,21%	6,52
48,00	0%(Baz)	161.612,88	0%	6,73
52,80	+10%	166.806,98	+3,21%	6,95
57,60	+20%	171.999,08	+6,43%	7,17
72,00	+50%	187.576,48	+16,07%	7,82

Tablo 10'a göre, yakıt fiyatlarının %20 artışı toplam maliyette %6,43'lük (10.386,20 TL) bir artışa yol açmaktadır. Yakıt fiyatlarının %50 oranında yükselmesi halinde, toplam maliyet %16,07 artarak 187.576,48 TL'ye ulaşacaktır. Bu durum, kilogram başına dağıtım maliyetinin 6,73 TL'den 7,82 TL'ye çıkması demektir. Hassasiyet katsayısı 0,32 olarak belirlenmiştir; bu da yakıt

fiyatlarında meydana gelen %1'lik bir artışın toplam maliyeti %0,32 oranında artıracığını göstermektedir.

3.5.2. Talep Miktarı Değişimi Duyarlılık Analizi

Tarım ürünleri pazarında mevsimsel dalgalanmalar ve piyasa koşulları nedeniyle talep miktarlarında belirgin farklılıklar gözlemlenebilir. Bu sebeple, toplam 24.000 kg olarak belirlenen mevcut talep miktarının %30 oranında artması veya azalması durumunda sistemin performansı incelenmiştir.

Tablo 11

Talep miktarı değişiminin sistem performansı üzerindeki etkisi

Toplam Talep (kg)	Değişim Oranı (%)	Gerekli Rota Sayısı	Toplam Maliyet (TL)	Ortalama Kapasite Kullanımı (%)	Kg Başına Maliyet (TL)
16.800	-30%	5	118.447,52	84,0%	7,05
19.200	-20%	6	138.926,44	80,0%	7,24
21.600	-10%	6	151.184,32	90,0%	7,00
24.000	0%(Baz)	7	161.612,88	85,7%	6,73
26.400	+10%	7	173.892,64	94,3%	6,59
28.800	+20%	8	187.248,96	90,0%	6,50
31.200	+30%	8	201.847,68	97,5%	6,47

Tablo 11'deki analizde dikkat çeken önemli bulgular ortaya çıkmıştır. Talep miktarındaki %30'luk düşüş, toplam maliyette %26,7 oranında bir azalma ile sonuçlanırken, kilogram başına maliyet ise 6,73 TL'den 7,05 TL'ye yükselmektedir. Bu durum, sabit maliyetlerin daha düşük bir talep miktarına yayılmasından dolayı ölçek ekonomisinin kaybolması ile ilgilidir. Buna karşın, talepteki %30'luk artış toplam maliyeti %24,9 oranında yükseltirken, kilogram başına maliyeti 6,47 TL'ye indirmektedir. En dikkat çekici sonuç, talebin %30'u aştığı durumlarda 8 rotaya gereksinim

duyulması ve ortalama kapasite kullanımının %97,5 seviyesine çıkmasıdır.

3.5.3. Araç Kapasitesi Etkisi Duyarlılık Analizi

Araç kapasitesinin sistem verimliliği üzerindeki etkilerini incelemek için mevcut 4.000 kg kapasiteli araçlar yerine farklı kapasitelerdeki araçların kullanılması durumu incelenmiştir. Bu analiz, işletmelerin araç yatırımıyla ilgili kararlarına yol göstermektedir.

Tablo 12

Araç kapasitesi değişiminin sistem verimliliği üzerindeki etkisi

Araç Kapasitesi (kg)	Değişim Oranı (%)	Gerekli Rota Sayısı	Toplam Mesafe (km)	Toplam Maliyet (TL)	Maliyet Değişimi (%)	Kg Başına Maliyet (TL)
3.000	-25%	9	13.284	198.754,32	+22,98%	8,28
3.500	-12,5%	8	12.168	182.396,16	+12,87%	7,60
4.000	0%(Baz)	7	10.802	161.612,88	0%	6,73
4.500	+12,5%	6	9.876	147.892,48	-8,49%	6,16
5.000	+25%	5	9.254	138.447,20	-14,32%	5,77
6.000	+50%	4	8.632	129.284,16	-20,01%	5,39

Tablo 12'de yer alan bulgular, araç kapasitesinin sistemin performansı üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Araç kapasitesi 3.000 kg'a düşürüldüğünde, toplamda 9 rotaya ihtiyaç duyulmakta ve bunun sonucunda toplam maliyet %22,98 artarak 198.754,32 TL'ye yükselmektedir. Bu durum, kilogram başına maliyetin 6,73 TL'den 8,28 TL'ye çıktığını göstermektedir. Öte yandan, eğer araç kapasitesi 6.000 kg'a arttırılırsa sadece 4 rota ile dağıtım gerçekleştirilebilmekte ve toplam maliyet %20,01 oranında azalarak 129.284,16 TL olmaktadır. En dikkat çeken bulgu, araç kapasitesindeki %50 oranındaki artışın

toplam mesafeyi 10.802 km'den 8.632 km'ye düşürmesidir. Aynı zamanda kilogram başına maliyet de 5,39 TL'ye gerilemiştir. Bu veriler, daha büyük kapasiteli araçların lojistik verimliliği konusunda önemli faydalar sunduğunu göstermektedir.

3.5.4. Filo Ölçekleme Analizi

Mevcut kullanılmakta olan araç filosunda araç sayısı 7 iken yeni araç yatırımı yapıldığında toplam maliyet değişimi ile araç sayısının azaltılması durumundaki toplam maliyet durumu incelenmiştir.

Tablo 13

Araç sayısı değişimi ile maliyet üzerindeki etkisi

Araç Sayısı	Kullanılan Araç	Toplam Maliyet (TL)	Rota Sayısı	Ortalama Kapasite Kullanımı	Kg Başı Maliyet (TL)	Toplam Maliyet Değişimi
5	5	175.874,20	5	96%	7,33	108,824371
6	6	168.192,64	6	91%	7,01	104,071309
7 (Baz)	7	161.612,88	7	85%	6,73	100
8	7	159.324,48	7	78%	6,64	98,5840237
9	7	158.811,20	7	73%	6,62	98,2664253

Tablo 13'e göre filo ölçekleme analizi yapılmış ve sistem üzerindeki araç sayısının değişim durumları incelenmiştir. Araç sayısı 7'den 6'ya düşürüldüğünde maliyet 168.192,64 TL olmaktadır. Kullanılan ortalama araç kapasite %91'e çıkmaktadır ve rota sayısı 6 olmaktadır. Maliyet değişimi ise yaklaşık %4 artış oluştururken ortalama km başı maliyet 7,01 TL'dir. Araç sayısı 5'e düşürüldüğünde ise maliyet 175.874,20 TL olmaktadır. Kullanılan ortalama araç kapasitesi %96'ya çıkarken rota sayısı 5 olmaktadır. Kg başı maliyet 7,33 TL olur iken toplam maliyet %8,8 artmaktadır. Yatırım yapılarak filoya yeni araç alınması durumunda ise rota sayısında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Maliyetler üzerinde de ciddi bir azalış yaratmaz iken 7 araç sayısı optimum düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

3.6. Karbon Salınım Analizi

ZPARP modeli için ayrıca karbon salınım analizi yapılmış ve tabloda gösterilmiştir.

Tablo 14

Karbon salınım analizi

Araç	Rota Uzunluğu	Yakıt Tüketimi (Lt)	CO2 Emisyonu (Kg)
1	1470	176,4	472,752
2	1571	188,52	505,2336
3	2154	258,48	692,7264
4	580	69,6	186,528
5	1392	167,04	447,6672
6	1792	215,04	576,3072
7	1843	221,16	592,7088
Toplam	10802	1296,24	3473,9232

Tablo 14'e göre ZPARP için karbon salınım analizi yapılmış araç bazında ölçülen emisyon değerleri gösterilmiştir. 3 nolu araç %19,94'lük pay ile 7 araç içinde en çok emisyon değerine sahiptir. 4 nolu araç ise %5,37'lik bir pay ile en düşük emisyon değerine sahiptir. Toplamda 7 araç 10.800 km yol yapmış ve yaklaşık 1.296,24 litre yakıt tüketmiştir. 7 aracın toplam emisyon değeri ise 3.473,92 kg'dır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada literatürdeki zaman pencereli araç rotalama için belirlenen varsayımlar kabul edilmiş iki maddesi değiştirilerek bu çalışma için özel uyarlanmıştır. Dağıtım kanalından çıkış zamanı 'o' olarak belirlenen varsayım değiştirilerek dağıtım noktalarının ilk açılış saatine denk gelecek şekilde esnek bir başlangıç zamanı benimsenmiştir. Ayrıca oluşturulan modelde parçalı ürün dağıtımına izin verilmiş ver her dağıtım noktasına yalnız bir araç

gider ve birden fazla araç hizmet veremez varsayımları esnetilmiştir. Böylelikle hem araç kapasitesi etkin kullanılmış hem de maliyet, zaman ve mesafe optimizasyonuna olumlu yansımaları olmuştur. Yine literatürdeki sert zaman pencereli araç rotalama problemi yerine esnek zaman pencereli araç rotalama problemi yöntemi modelde uygulanmıştır.

Yapılan bu çalışma kapsamında tarım ve gıda sektöründe zaman pencereli araç rotalama problemine ilişkin detaylı bir matematiksel model geliştirilmiş ve Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde sarımsak üreten bir işletmenin verilerine dayanarak uygulanmıştır. Araştırma başarıyla 18 ayrı il arasında aylık 24 ton sarımsak dağıtımı için zaman, maliyet ve mesafenin en verimli biçimde optimize edilmesini sağlamıştır.

ZPARP modelinin tasarımı için GAMS Studio (49.6.1) yazılım paketi kullanılarak optimal sonuca 14 saat 38 dakika içinde ulaşılmıştır. Modelin çözümü sonucunda elde edilen toplam maliyet 161.612,88 TL'dir ve toplamda yedi ayrı rota belirlenmiştir. Oluşturulan rotaların toplam uzunluğu 10.802 km olup, araç kapasitelerinin %75-100 arasında etkin kullanım sağlanmıştır. Rotaların %57'sinde tam kapasite kullanılırken, zaman penceresi kısıtları dağıtım noktalarında başarılı bir şekilde karşılanmıştır.

Maliyet yapısının detaylı incelenmesi lojistik operasyonlarında maliyet dağılımını ortaya koymaktadır: Şoför maliyetlerinin toplam maliyetin %40,1'ini oluşturan 64.818 TL olması personel yönetiminin ne kadar kritik olduğunu göstermektedir; yakıt giderlerinin %38,5'ini oluşturan 62.225 TL enerji verimliliği konusunda ne kadar önemli olduğunu vurgularken; amortisman maliyetlerinin %21,4'ünü oluşturan 34.569 TL araç filosu yönetiminin etkisini belirtmektedir. Kilogram başına ortalama dağıtım maliyeti ise 6,73 TL olarak hesaplanarak tarımsal ürün lojistiği için rekabetçi bir seviyede olduğu görülmüştür.

Tarımsal gıda sektöründe ürünlerin zamanında teslim edilmesi büyük önem taşımaktadır çünkü her müşterinin teslim alma saatleri değişiklik gösterebilir ve bu duruma esneklik gösterilerek en iyi çözüm sağlanmaktadır. Modelde kısmi dağıtımına izin verilmiştir ve Ankara, Afyonkarahisar ve Adana illerinin talepleri için iki ayrı güzergâh belirlenmiştir. Bu uygulama karmaşıklığı artırabilir ancak araç kapasitesinin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Uygulanabilirlik analizi sonucuna göre en uzun rota 2.154 km'dir ve yaklaşık 11,5 saat sürüş gerektirirken iki şoför sistemi kullanarak yasal sınırlar içinde kalındığı görülmektedir. Tüm rotaların zaman penceresine uygun şekilde tamamlanması uygulamanın pratikte uygulanabilir olduğunu desteklemektedir.

Duyarlılık analizi sonucunda modelin farklı piyasa koşulları altında güvenilirliğinin doğrulandığı görülmüştür. Yakıt

fiyatlarındaki %20 artışın toplam maliyetlerde %6,43 artışı tetiklemesi (duyarlılık katsayısı 0,32), sistemin enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı dengeli bir tepki verdiğini göstermektedir. Talep miktarındaki %30'luk değişimlerin ölçek ekonomisi etkisine sahip olması ve araç kapasitesinin 6.000 kg'a yükseltilmesinin sonucunda %20 maliyet tasarrufu sağlanmasıyla modelin çeşitli işletme senaryolarında etkin performans sergilediği kanıtlanmıştır. Filo ölçekleme analizi araç sayısının düşürülmesi ile maliyetlerde ortalama %4 artış yarattığı görülmektedir. Ayrıca model için karbon salınım analizi yapılmış ve gıda sektörü için ideal değer olduğu tespit edilmiştir. Avrupa ortalama 0,3-0,6 arası kabul edildiğinde modelin ortalama 0,0134 kg'dır. Ancak araç yakıt türü elektrik gibi alternatiflere yöneltildiği zaman bu oranların çok daha aşağıya düşeceği bilinmektedir.

Bu çalışmanın belirli sınırlılıkları bulunmakta olup model deterministik talep yapısını varsaymakta ve stokastik talep değişkenliği dikkate almamaktadır. Ayrıca sarımsağın özel muhafaza koşulları ve soğuk zincir gereksinimleri modele dahil edilmemiştir.

Gelecek araştırmalar için öneriler arasında soğuk zincir kısıtlarının modele entegrasyonu, stokastik talep yapısının dikkate alınması ve gerçek zamanlı rota optimizasyonunun sağlanması bulunmaktadır. Ayrıca yeşil lojistik modellerinin sürdürülebilirlik kriterlerini içermesi ve makine öğrenmesine dayalı tahmin algoritmalarının entegrasyonunu içeren çok boyutlu optimizasyon yaklaşımlarının geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Bu çalışmadan elde edilen modelin benzer çalışmalarda kullanılması için araştırmacılara ve tarımsal gıda sektöründeki firmalara pratik bir rehberlik sağlama potansiyeli bulunmaktadır.

Kaynakça

- Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi. *Tübbav Bilim Dergisi*, 5(2): 12-27.
- Boz, E., Çalık, A. ve Şahin, Y. (2023). Yeşil Zaman Pencereli ve Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemlerinin Metasezgisel Yöntemlerle Çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(2): 757-770. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1180965>
- Chen, H., Wang, W., Jia, L. and Wang, H. (2024). Research on Time-Varying Path Optimization for Multi-Vehicle Type Fresh Food Logistics Distribution Considering Energy Consumption. *Scientific Reports*, 14: 26639. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78639-1>
- Chen, G., Gao, J. and Chen, D. (2025). Research on Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Improved Genetic Algorithm and Ant Colony Algorithm. *Electronics*, 14(4): 647. <https://doi.org/10.3390/electronics14040647>
- Chung, S. H., Sah, B. and Lee, J. (2020). Optimization for Drone and Drone-Truck Combined Operations: A Review of The State of The Art and Future Directions. *Computers and Operations Research*, 123: 105004. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105004>
- Clarke, G. ve Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4): 568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Cömert, S. E., Yazgan, H. R. ve Görgülü, N. (2019). Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin İki Aşamalı Bir Çözüm Yöntemi Önerisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(2): 107-117.
- Çetin, O. ve Özçakar, N. (2019). Akaryakıt Dağıtımında Araç Rotalama Problemi İçin Bir Başlangıç Çözümü. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2): 625-640.
- Çetin, S. ve Gencer, C. (2010). Kesin Zaman Pencereli-Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3): 465-474.
- Çiçekli, G. U. ve Cihangir, E. (2019). Dubai Çöp Toplama Araç Rotalama Problemi İçin Genetik Algoritma. *Business and Organization Research*, 8, 156-167.
- Dağıstanlı, A. H. (2024). Çok Ürünli Çok Depolu Araç Rotalama Problemi: Askeri İlaç Fabrikası Örneği. *Politeknik Dergisi*, 27(1): 89-102.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1): 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Dedetürk, B. K., Kolukisa, B. ve Özmen, M. (2023). Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri İçin Kümeleme Temelli Klonal Seçim Algoritması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(21): 307-320.
- Düzakın, E. ve Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(2): 68-87.
- Faramarzadeh, M. and Akpınar, Ş. (2023). A Grey Wolf Optimizer Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Simultaneous Pick-Ups and Deliveries. *Endüstri Mühendisliği*, 34(2): 141-160.
- Gendreau, M., Laporte, G. and Séguin, R. (1996). Stochastic Vehicle Routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1): 3-12. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00050-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00050-X)
- Goel, A. and Gruhn, V. (2008). A General Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 191(3): 650-660. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.047>
- Han, H. and Cueto, P. E. (2015). Waste Collection Vehicle Routing Problem: Literature Review. *Promet-Traffic and Transportation*, 27(4): 345-358. <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i4.1616>
- Hoogeboom, M., Adulyasak, Y., Dullaert, W. and Jaillet, P. (2021). The Robust Vehicle Routing Problem with Time Window Assignments. *Transportation Science*, 55(2): 395-413. <https://doi.org/10.1287/trsc.2020.1013>
- Kalaycı, B. C. ve Yılmaz, Y. (2023). Elektrikli Araç Rotalama Problemleri Üzerine Bir Literatür İncelemesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(4): 412-425. <https://doi.org/10.5505/pajes.2023.49769>
- Kantasa-ard, A., Chargui, T., Bekrar, A., AitElCadi, A. and Sallez, Y. (2023). Dynamic Sustainable Multiple-Depot Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery in the Context of the Physical Internet. *Journal of International Logistics and Trade*, 21(3): 110-134.
- Kara, İ., Kara, B. Y. and Yetis, M. K. (2008). Cumulative Vehicle Routing Problems. *Vehicle Routing Problem*, 6: 85-98.
- Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2): 77-107.
- Li, C.-L., Simchi-Levi, D. and Desrochers, M. (1992). On the Distance Constrained Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, 40(4): 790-799. <https://doi.org/10.1287/opre.40.4.790>
- Li, X., Liu, Z. and Zhang, Y. (2025). Research on Vehicle Routing Problem with Time Window Based on Improved Genetic Algorithm. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 26(1): 123-135.
- Marinakos, Y., Marinaki, M. and Migdalas, A. (2019). A Multi-Adaptive Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Information Sciences*, 481: 311-329. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.002>
- McCullough, E. B. and Matson, P. A. (2024). The Role of Midstream Actors in Advancing the Sustainability of Agri-Food Supply Chains. *Nature Sustainability*, 7, 245-256. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01291-2>
- Min, H. (1989). The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up Points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5): 377-386. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(89\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0191-2607(89)90085-X)
- Polimeni, A., Donato, A. and Belcore, O. M. (2024). Urban Freight Distribution with Electric Vehicles: Comparing Some Solution Procedures. *Frontiers in Future Transportation*, 5: 1491799. <https://doi.org/10.3389/ffutr.2024.1491799>
- Prajapati, D., Chan, F. T. S., Daultani, Y. and Pratap, S. (2022). Sustainable Vehicle Routing of Agro-Food Grains in the E-Commerce Industry. *International Journal of Production Research*, 60(22): 6910-6927. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2034192>
- Praveen, V., Keerthika, P., Sivapriya, G., Sarankumar, A. and Bhasker, B. (2022). Vehicle Routing Optimization Problem: A Study on Capacitated Vehicle Routing Problem. *Materials Today: Proceedings*, 64: 670-674. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.087>

- Reyes, D., Savelsbergh, M. and Toriello, A. (2017). Vehicle Routing with Roaming Delivery Locations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80: 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.003>
- Sezen, K. H. ve Çam, N. Ö. (2018). Toplam Bekleme Süresini Enküçükleme Amaçlı Bir Araç Rotalama Problemi. *International Journal of Social Inquiry*, 11(1): 63-82.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2): 254-265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- Subramanian, A., Uchoa, E. and Ochi, L. S. (2010). New Lower Bounds for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. *Experimental Algorithms: 9th International Symposium, SEA 2010* (ss. 276-287). Springer.
- Şehitoğlu, A. ve Ağayeva, Ç. (2022). Homojen ve Heterojen Filolu, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Uygulama. *Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1): 9-19.
- Topaloğlu, D., Polat, O. ve Kalaycı, C. B. (2023). Çok Kompartımanlı Heterojen Filolu Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Sezgisel Algoritmalar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(8): 870-884.
- Toru, E. ve Yılmaz, G. (2023). Günlük Planlanmış Bakım ve Onarım Servis Planlaması İçin Zaman Pencereli Birçok Depolu Araç Rotalama Problemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(8): 913-919.
- Toth, P. and Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Tüzemen, A. ve Yıldız, Ç. (2019). A Solution Proposal to Vehicle Routing Problem with Integer Linear Programming: a Distributor Company Sample. *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, 9(1): 46-78
- Wang, S., Tao, F., Shi, Y. and Wen, H. (2024). A Two-Echelon Multi-Trip Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows for Fresh E-Commerce Logistics Under Front Warehouse Mode. *Systems*, 12(6): 205. <https://doi.org/10.3390/systems12060205>.
- Worasan, K., Sethanan, K., Moonsri, K. and Golinska-Dawson, P. (2022). The Multi-Product Vehicle Routing Problem with Cross-Docking: A Novel Strategy Hybrid Bat Algorithm for Industry 3.5 in Thailand's food industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(2): 284-308. <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2074381>.
- Yazgan, H. R. ve Büyükyılmaz, R. G. (2017). Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 436-449.
- Yıldız, Ç. ve Tüzemen, A. (2018). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemine Dal-Kesme Algoritmasıyla Bir Çözüm Önerisi. 3. Lisansüstü İşletme Öğrencileri Sempozyumu- Tokat, 544 - 556
- Yurdakul, K., Alakaş, M. H. ve Eren, T. (2021). Evde Sağlık Hizmetlerinin Planlanması: Araç Rotalama ve Çizelgeleme. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2): 1456-1470.
- Zhang, Y., Li, X. and Zhou, X. (2020). Optimization of Transportation Routing Problem for Fresh Food in Time-Varying Road Network: Considering Both Food Safety Reliability and Temperature Control. *PLOS ONE*, 15(7): eo235950. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235950>.


<https://academicopinion.org/>

Research Article / Araştırma Makalesi

Digital Transformation and Economic Sustainability: A comparative analysis of Romania, Poland and Hungary

Dijital Dönüşüm ve Ekonomik Sürdürülebilirlik: Romanya, Polonya ve Macaristan'ın Karşılaştırmalı Analizi

^{ID} Marta STOIAN¹ ^{ID} Maxim CETULEAN² ^{ID} Razvan BUJOR³

¹ Bucharest University of Economic Studies, Bucharest/ROMANIA, stoian.marta15@stud.ase.ro

² Bucharest University of Economic Studies, Bucharest/ROMANIA, maxim.cetulean@economic.ase.ro

³ Bucharest University of Economic Studies, Bucharest/ROMANIA, razvanbujor94@gmail.com

ABSTRACT

This paper investigates the impact of fixed broadband penetration on labor productivity in three Central and Eastern European countries: Romania, Poland, and Hungary. The accelerated digitization of European economies has become an essential element in national and European development strategies, especially in the context of the transformations imposed by recent crises. This paper analyzes to what extent investments in digital infrastructure – particularly the expansion of high-speed internet networks – contribute to increasing economic efficiency, with a focus on labor productivity. The analysis is based on annual data collected from 2014 to 2023, using simple linear regression models for each country in order to capture national specificities. However, the intensity and consistency of this relationship vary among the three analyzed states, suggesting an important role of the institutional context, the level of digital literacy, and public policies in maximizing the economic benefits of digitalization. The work does not limit itself to highlighting a simple correlation, but also emphasizes the necessary conditions for digitization to generate sustainable long-term effects. In this regard, elements such as the quality of governance, support strategies for SMEs in the process of digital transformation, reducing regional disparities in digital infrastructure, and stimulating innovation through coherent policies are discussed. In conclusion, the study proposes a set of public policy recommendations, focusing on expanding infrastructure in rural areas, developing the digital skills of the workforce, supporting the digital transformation of small and medium-sized enterprises, as well as strengthening the institutional framework. These measures are essential to fully harness the potential of digitalization and to ensure sustainable economic development in the emerging economies of Europe.

Keywords: Digital transformation, Broadband Penetration, Central and Eastern Europe, ICT Infrastructure, Economic Efficiency

ÖZET

Bu makale, Romanya, Polonya ve Macaristan olmak üzere üç Orta ve Doğu Avrupa ülkesinde sabit genişbant penetrasyonunun işgücü verimliliği üzerindeki etkisini incelemektedir. Avrupa ekonomilerinin hızla dijitalleşmesi, özellikle son krizlerin dayattığı dönüşümler bağlamında, ulusal ve Avrupa kalkınma stratejilerinin temel bir unsuru hâline gelmiştir. Bu çalışma, dijital altyapıya yapılan yatırımların – özellikle yüksek hızlı internet ağlarının genişletilmesinin – ekonomik verimliliği ne ölçüde artırdığını, özellikle işgücü verimliliğine odaklanarak analiz etmektedir. Analiz, 2014–2023 dönemine ait yıllık verilere dayanmakta olup, her ülke için ulusal özgünlükleri yansıtmak amacıyla basit doğrusal regresyon modelleri kullanılmıştır. Ancak bu ilişkinin yoğunluğu ve tutarlılığı, analiz edilen üç ülke arasında farklılık göstermektedir; bu da kurumsal bağlamın, dijital okuryazarlık düzeyinin ve kamusal politikaların dijitalleşmenin ekonomik faydalarını maksimize etmedeki önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma yalnızca basit bir korelasyonu ortaya koymakla kalmamakta, aynı zamanda dijitalleşmenin uzun vadede sürdürülebilir etkiler yaratması için gerekli koşulları da vurgulamaktadır. Bu bağlamda yönetim kalitesi, KOBİ'lere yönelik destek stratejileri, dijital altyapıda bölgesel eşitsizliklerin azaltılması ve tutarlı politikalar yoluyla inovasyonun teşvik edilmesi gibi unsurlar ele alınmaktadır. Sonuç olarak, kırsal alanlarda altyapının genişletilmesi, işgücünün dijital becerilerinin geliştirilmesi, küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijital dönüşümünün desteklenmesi ve kurumsal çerçevenin güçlendirilmesine odaklanan bir dizi kamu politikası önerilmektedir. Bu önlemler, dijitalleşmenin potansiyelinden tam anlamıyla faydalanmak ve Avrupa'nın gelişmekte olan ekonomilerinde sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı sağlamak için hayati öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Dönüşüm, Genişbant Penetrasyonu, Orta ve Doğu Avrupa, BİT Altyapısı, Ekonomik Verimlilik

ARTICLE INFOS

Article History

Received: June 14, 2025

Accepted: July 06, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Marta STOIAN

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 14 Haziran 2025

Kabul Tarihi: 06 Temmuz 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Marta STOIAN

1. Introduction

In recent years, the discussion among management consultants (Deloitte, 2019; Gartner, 2019; PWC, 2018) and many governments (European Commission, 2020, United Nations, 2020, World Bank, 2020) has centered on how we can accelerate the process of the digital transformation and sustainability. The advancement of automation is increasing both in business and among governments that are planning to exploit them, as noted by Merrill et al. (2019). These new technologies offer huge potential in several areas such as information transparency, coordination, response speed, management, and evaluation (Di Vaio et al., 2021).

It has already been demonstrated that broadband access markedly influences economic efficiency particularly in terms of knowledge diffusion, firm competitiveness, and innovation (Kong and Li, 2022). A notably increasing amount of literature claims that digital transformation is one of the decisive factors in enhancing workforce productivity, particularly in emerging economies (Bocean and Vărzaru, 2023). It has also been proved that investments in broadband infrastructure spur labor market efficiency manifested in reduced unemployment and better job matching (Bhuller et al., 2019).

For emerging economies like Romania, Poland, and Hungary, digitalization is both an opportunity to speed up economic convergence and a strategic challenge. Increasing labor productivity – a key goal for sustainable development – can be boosted by integrating digital technologies.

The evidence suggests that broadband access can foster economic efficiency; however, it crucially depends on a complementary set of factors, including workforce digital skills, regulatory policies, and adoption across different industries (Leagrande et al., 2021). Digital transformation plays therefore an important role in diminishing regional economic imbalances in terms of promoting telework and increasing firm productivity (Škare et al., 2023).

In this context, empirical studies have indicated broadband infrastructure to have a positive and substantial effect on GDP per worker, with proof, from various economies, illustrating how digital connectivity boosts labor efficiency (Atasoy, 2013; Serban et al., 2022). The uptake of broadband services has likewise been associated with higher firm-level productivity, as the case applies to sectors that exploit digital technologies. Furthermore, it was found that the extension of broadband accelerate rural economic development through market access and further agriculture productivity (LoPiccolo, 2021).

However, there is a gap in the empirical literature regarding the direct relationship between broadband internet penetration and labor productivity in Central and Eastern European (CEE) countries. Most studies focus on advanced economies where the level of digitalization is already high. So, there's a need for an analysis that fits the regional context to see how much developing digital infrastructure contributes to economic efficiency in these emerging European economies. The impact of broadband penetration on labor productivity varies from country to country, depending on the economic structure, public policy framework, and the level of digital readiness. For instance, a study on European economies shows that access to high-speed internet boosts productivity, but the effect is significantly stronger in regions with a high level of digital adoption and innovation capacity (Verhoef et al., 2021). Also, the economic efficiency driven by the expansion of broadband internet depends on the regulatory environment and investments in complementary infrastructure (Benseny et al., 2019).

The goal of this paper is to empirically analyze the relationship between fixed broadband internet penetration and labor productivity in Romania, Poland, and Hungary, for the period 2014–2023. The study aims to answer the following research questions:

- Is there a statistically significant relationship between the development of broadband infrastructure and labor productivity growth in the economies analyzed?
- What differences can be observed between the three countries regarding the impact of digitalization on economic efficiency?
- What public policy recommendations can be made regarding investments in digital infrastructure?

To answer these questions, a simple linear regression model will be used, where labor productivity (measured by GDP per capita) will be the dependent variable, and the penetration of fixed broadband internet will represent the independent variable. The analysis will rely on data from sources like the World Bank and Eurostat and it will provide a comparative perspective on the three economies. This research aims not only to fill a gap in the literature but also to formulate evidence-based public policy recommendations in order to leverage the potential of digitalization to support sustainable economic development in Central and Eastern Europe.

Thus, the findings of this research could inform not only academic debates, but also concrete public strategies aimed at bridging the digital divide and fostering inclusive economic growth across Central and Eastern Europe.

2. Theoretical Framework and Literature Review

Sustainability and digitalization are emerging as modern trends that shape the economy and society, consequently having a major impact on different transitions, as mentioned by Del Río Castro et al. (2021). The changes are pragmatic from a social, economic, and even ecological point of view and they lead to a redefinition of the strategic objectives of both nation-states and supranational structures.

One of the most common and widely accepted definitions of “sustainability” was developed by the UN Brundtland Commission in 1987, and it states that “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (Gartner, 2019).

Even if the field of “sustainability” is difficult to define, as this term is complex, multidisciplinary, and influences socio-economic organizations at all levels, through actions, decisions, and behaviors, there are still other definitions, such as the one developed by the Chartered Institute of Procurement and Supply (CIPS) which states that it is the act of adopting social, economic, and environmental factors alongside typical price and quality considerations in managing the procurement processes and procedures of organizations.

Not only sustainability needs to be defined, but also “digitalization” and its derivatives, like “digital technology” or “digital transformation”. Although much of the academic literature uses “digitization”, “digitalization”, or “digital transformation” as interchangeable terms (Gong and Ribiere, 2021; Mergel et al., 2019), there are variations in how these terms are defined.

“Digitalization”, in the opinion of Gartner (2021), is the process of transitioning to a digital business as well as the use of digital technologies to create new opportunities for value production, while “digital transformation”, according to Hanelt et al. (2021) is an organizational change driven and influenced by the widespread dissemination of digital technologies. In any case, regardless of the accepted definition, the reality is that digitization is the most important engine of entrepreneurship and innovation.

One of the specific objectives is thus to develop and apply a single-factor linear regression model in order to quantify the relationship between fixed broadband penetration and labor productivity. Complementary to these mechanisms, the endogenous growth theory emphasizes the role of innovation, human capital, and technological

change as internal drivers of productivity (Aghion et al., 1990). The main effect of digital transformation is the structural change of the labor market; therefore, the demand for low-skilled employees decreases, but the demand for employees with IT skills increases. However, this also leads to a re-skilling of candidates applying for various jobs (Picatoste et al., 2021). Although it may initially seem like an imbalance, over time, this is regulated by the labor market. The only real limitation is access to the internet. In this view, broadband infrastructure serves as an enabler for continuous innovation, learning-by-doing, and dynamic firm-level improvements.

The foundation of digital transformation consists of an internet connection that offers high bandwidth and fast data transfer speeds, making data transfer rates faster than ever. Following the expansion of technologies, and also driven by the COVID-19 pandemic which necessitated forced digitalization among many segments of the population, we are talking about online education (Lytras et al., 2025), work from home for many private companies as well as state institutions, communication via Zoom, Teams, or Skype, as well as the evolution of e-commerce even for businesses that had not experienced this before. Essentially, a new commercial model based on digital technologies has emerged, and this model tends to extend even after the pandemic ends, thus becoming increasingly advanced across almost all economic and social areas (Serban et al., 2023).

There are several studies and approaches that have identified a positive relationship between economic performance and digital transformation, thus multiple indicators have been developed to measure the level of digitalization (Myovella et al., 2020; Deloitte, 2020), including composite indices, such as DESI—Digital Economy and Society Index (Olczyk and Kuc-Czarnecka, 2022; Stavtyskyi et al., 2019; European Commission, 2020).

Through new technologies that have improved labor productivity, reduced costs, enabled better allocation of personnel, and access to global markets, we can practically talk about digitization as the main vector of growth and economic development. Although other authors (Myovella et al., 2020; Habibi et al., 2020) have demonstrated that digitalization has a direct connection with economic growth, we cannot speak of its universalization at the national level.

This shows that economies with a high level of digitization usually experience significant and consistently positive economic growth. Furthermore, the effects of digital transformation on economic growth vary depending on a country's level of development: in developed countries, the impact is strong, while in low-income economies, it is limited or even negligible. Thus, digitization does not yield the same results everywhere, and its influence varies considerably depending on the economic context (Olczyk et al., 2022).

Numerous empirical studies in high-income countries confirm a strong and statistically significant correlation between broadband diffusion and productivity growth. For instance, Czernich et al. (2011) analyzed 25 OECD countries and found that a 10% increase in broadband penetration was associated with a 0.9–1.5% increase in GDP per capita. Similarly, Atasoy (2013) identified positive labor market outcomes—including lower unemployment and higher wages—in U.S. counties with better broadband access.

Verhoef et al. (2021) argue that the productivity effects of broadband are stronger in countries with higher levels of digital readiness, suggesting that infrastructure alone is insufficient without adequate digital skills, institutional capacity, and firm-level adoption. Detailed studies analyzing the influence of broadband networks on labor productivity in emerging economies remain relatively scarce. Although Bocean and Vărzaru (2023) provide a sustainability-focused perspective on digital transformation in EU member states, the empirical literature dedicated to Central and Eastern European (CEE) countries remains relatively limited. In contrast, other research (for

example, Benseny et al. (2019) emphasizes the essential importance of the regulatory framework for the effective implementation and proper use of broadband infrastructure. Leogrande et al. (2021) show that in Eastern Europe, digital disparities remain a challenge, with rural-urban divides and underinvestment in digital infrastructure still present. These disparities hinder the full realization of broadband's potential for economic development, especially in countries like Romania, where broadband infrastructure is unevenly distributed.

Furthermore, the digital transformation paradox may occur: firms invest in digital tools but do not observe immediate productivity gains due to managerial inertia, lack of skills, or resistance to organizational change. This underlines the importance of understanding not just access, but also the effective use of digital infrastructure.

3. Methodology

This paper aims to analyze the relationship between digital transformation and economic development in three Central and Eastern European countries: Romania, Hungary, and Poland. The main objective is to analyze the extent to which the values reflected by the DESI Index (Digital Economy and Society Index) contribute to the growth of GDP per capita. This analysis takes place over a period of ten years, from 2014 to 2023. The data was obtained from the following sources:

- GDP per capita (current USD) – World Bank Open Data (World Development Indicators)

- Digital Economy and Society Index (DESI) – European Commission, Digital Scoreboard

All variables were collected on an annual basis, for each of the three countries, over the period 2014–2023. The variables used in the regression are defined as follows:

- GDPPC: GDP per capita (dependent variable)
- DESI: Digital Economy and Society Index (independent variable)
- C: Constant (intercept term)

$$GDPPC_t = \alpha + \beta \cdot DESI_t + \varepsilon_t$$

Where:

- α is the intercept;
- β is the regression coefficient measuring the marginal impact of DESI on GDP per capita;
- ε_t is the error term;
- GDP_it is the Gross Domestic Product per capita in country i and year t (in current USD);
- DESI_it is the Digital Economy and Society Index score for country i in year t;

Each model is estimated separately for Romania, Poland, and Hungary using Ordinary Least Squares (OLS) with 10 annual observations (2014–2023).

- DESI is an index developed by the European Commission that reflects the dimensions of digital development (connectivity, human capital, internet usage, integration of digital technology, digital public services).
- GDP per capita is a commonly used indicator for economic performance and living standards.
- The simple linear form allows us to isolate the direct relationship between digitization and economic output, without introducing multicollinearity or overfitting risks (especially with only 10 data points per country).

In order to assess how well the model explains the variations in the data, we analyzed the value of the R-squared coefficient, and the significance of the estimated coefficients was tested through t statistics and p values. Before estimation, I reviewed the descriptive statistics and created graphs highlighting the evolution of the DESI indicator

and GDP per capita. The actual estimates were made with the help of EViews 12 software. To capture the particularities of each country, I applied simple linear regression using the ordinary least squares (OLS) method separately for each analyzed state.

4. Results and Discussion

This chapter presents the relationship between fixed broadband penetration and labor productivity, as analyzed using annual data from 2014 to 2023 for Romania, Poland, and Hungary.

Table 1

Evolution of the DESI Index in Romania, Hungary, and Poland (2014–2023)

Year	Romania_DESI	Hungary_DESI	Poland_DESI
2014	33.3	39.7	37.4
2015	35.9	41	39.6
2016	38	42.8	41.2
2017	40.5	44.2	43.3
2018	43.2	46.9	46.1
2019	45.6	48.7	48.5
2020	49.8	52.3	51.1
2021	52.6	55.4	54.8
2022	55.3	58.1	58.6
2023	57.9	60	60.7

Source: Eurostat and European Commission (DESI dataset), author's calculations.

Table 2

Evolution of GDP per capita in Romania, Hungary, and Poland (2014–2023)

Year	Romania_GDP	Hungary_GDP	Poland_GDP
2014	9482	13786	14411
2015	9607	13902	14560
2016	9545	13776	14689
2017	10392	15377	15732
2018	12609	16783	17202
2019	12500	16021	16900
2020	12896	16598	17412
2021	14677	18099	19399
2022	16391	19807	21630
2023	16832	20234	22105

Source: Eurostat and European Commission (DESI dataset), author's calculations.

Separate regression models were estimated for each country using the Ordinary Least Squares (OLS) method. Before presenting the regression results, Table 3 summarizes the descriptive statistics of the two key variables across the three countries.

Table 3

Summary of OLS Regression Results (2015–2022)

Country	Coefficient (β)	Intercept (α)	R ²	p-value	Significance
Romania	319.23	-1939.17	0.947	0	Yes
Poland	342.48	920.66	0.959	0	Yes
Hungary	316.75	946.01	0.938	0	Yes

Source: Compiled by the author based on EViews regressions.

The data show a steady upward trend in both broadband penetration and labor productivity over the period, though at different paces in each country.

Table 4

Regression Output for Romania (2014–2023)

Variable	Coeff.	Std. Err.	t-Stat.	Prob.
C	-1939.174	1228.530	-1.58	0.153
ROMANIA_DESI	319.228	26.755	11.93	0.000
Statistic	Value			
R-squared	0.947			
Adjusted R-squared	0.940			
S.E. of regression	679.701			
Sum squared resid	3695984			
Log likelihood	-78.289			
F-statistic	142.364			
Prob(F-statistic)	0.000			
Mean dependent var	12493.1			
S.D. dependent var	2778.231			
Akaike info criterion	16.058			
Schwarz criterion	16.119			
Hannan–Quinn criterion	15.992			
Durbin–Watson stat	1.676			

Source: Author's calculations based on EViews output.

Model: GDP per capita = $\alpha + \beta \times \text{DESI} + \varepsilon$

1. Estimated β coefficient: 319.23
2. Intercept (α): -1939.17
3. t-statistic: 11.93 (highly significant, $p < 0.001$)
4. R²: 0.947
5. F-statistic: 142.36

The results for Romania suggest a strong and statistically significant positive relationship between digitalization (DESI) and GDP per capita. A one-point increase in the DESI index is associated with an estimated \$319 increase in GDP per capita. The model explains 94.7% of the variation in GDP per capita, indicating a robust relationship.

Table 5

Regression Output for Poland (2014–2023)

Variable	Coeff.	Std. Err.	t-Stat.	Prob.
C	920.656	1213.241	0.76	0.470
POLAND_DESI	342.476	24.895	13.76	0.000
Statistic	Value			
R-squared	0.959			
Adjusted R-squared	0.954			
S.E. of regression	601.854			
Sum squared resid	2,897,822			
Log likelihood	-77.074			
F-statistic	189.242			
Prob(F-statistic)	0.000			
Mean dependent var	17,404.00			
S.D. dependent var	2817.536			
Akaike info criterion	15.815			
Schwarz criterion	15.875			
Hannan–Quinn criterion	15.748			
Durbin–Watson stat	1.296			

Source: Author's calculations based on EViews output.

Model: GDP per capita = $\alpha + \beta \times \text{DESI} + \varepsilon$

1. Estimated β coefficient: 342.48
2. Intercept (α): 920.66

3.t-statistic: 13.76 (highly significant, $p < 0.001$)

4. R^2 : 0.959

5.F-statistic: 189.24

Poland exhibits the highest R^2 value, suggesting the DESI index accounts for nearly 96% of the variance in GDP per capita. A one-point increase in DESI is associated with a \$342 increase in GDP per capita. This indicates an exceptionally strong and significant relationship, highlighting the effectiveness of digital integration in Poland's economy.

Table 6

Regression Output for Hungary (2014–2023)

Variable	Coeff.	Std. Err.	t-Stat.	Prob.
C	946.011	1426.985	0.66	0.526
HUNGARY_DESI	316.751	28.892	10.96	0.000
Statistic	Value			
R-squared	0.938			
Adjusted R-squared	0.930			
S.E. of regression	627.724			
Sum squared resid	3,152,550			
Log likelihood	-77.475			
F-statistic	120.193			
Prob(F-statistic)	0.000			
Mean dependent var	16438.30			
S.D. dependent var	2369.097			
Akaike info criterion	15.891			
Schwarz criterion	15.955			
Hannan–Quinn criterion	15.835			
Durbin–Watson stat	1.692			

Source: Author's calculations based on EViews output.

Model: $\text{GDP per capita} = \alpha + \beta \times \text{DESI} + \varepsilon$

1.Estimated β coefficient: 316.75

2.Intercept (α): 946.01

3.t-statistic: 10.96 (highly significant, $p < 0.001$)

4. R^2 : 0.938

5.F-statistic: 120.19

Hungary also shows a strong and statistically significant positive correlation between DESI and GDP per capita. Each additional DESI point increases GDP per capita by approximately \$317. Although slightly weaker than Poland, the relationship remains solid, with 93.8% of GDP variation explained by DESI. Structural economic factors or limited broadband use in rural areas may explain this divergence.

5. Conclusions

The results of the regression suggest that broadband penetration has a positive impact on labor productivity in all three analyzed countries, but with slight variations. This means that the intensity and consistency of this effect vary significantly depending on the specifics of each country.

In the case of Poland, our calculations show the strongest connection among the analyzed countries, which could be explained by better digital infrastructure and a stronger integration of ICT tools into the broader economy.

When considering Romania, the situation is not much different but still reflects a moderately strong connection, although significant regional inequalities could weaken the overall result.

Hungary has the weakest correlation, possibly due to the lower adoption of broadband in key economic sectors or insufficient complementary investments, or the country's relatively low level of urbanization.

These findings seem to reflect what other studies have also highlighted - factors such as the digital skill level of the workforce, innovation capabilities in companies, government involvement, investments in digital infrastructure and workforce training, as well as the rural-urban technology gap and internet accessibility, can all influence the extent to which broadband impacts productivity.

6. Policy Recommendations

Based on the results, broadband infrastructure certainly matters for improving economic efficiency in countries like Romania, Hungary, and Poland. However, simply expanding internet access will not be enough. We propose extending broadband in rural areas - these areas are still being left behind, and connecting them could unlock growth where it is most needed, likewise investments in education aimed at improving digital tool usage - not just basic skills, but real and useful training that helps workers adapt in the labor market. Furthermore, helping small and medium-sized enterprises to become digitalized and have qualified personnel - especially those stuck in older, low-productivity sectors - remains fundamentally important. Government strategies are not just digital plans; they must truly work in practice.

Supporting innovation in public administration is again a common issue for this geographical area; public institutions can play a key role in stimulating digitalization if they modernize their own services and adopt efficient digital solutions. The digitalization of administration can indirectly boost the business environment as well as the relationship with citizens and reduce public waste. Another proposal would be programs to reduce the generational gap in digital skills. The elderly and individuals from rural or disadvantaged areas are often excluded from the digitalization process. Therefore, training campaigns tailored to these groups can increase social and economic inclusion.

Also, public-private partnerships for the expansion of digital infrastructure (telecom operators, IT companies) can accelerate the coverage of high-speed internet, especially in poorly connected areas.

There are some limitations to this study as well. First of all, we used only a univariate regression model, so factors such as education (Lytras et al., 2024), investment levels, or governance were not included even though they clearly matter. Secondly, it is difficult to determine with certainty the direction of causality, because we are talking about a complex subject where, besides historical and cultural factors, it is also influenced by the specifics of the analyzed country and its particularities. Additionally, we did not have access to detailed regional or sectoral data, which could have made the analysis more precise. As these countries advance in digitalization, it is essential to understand not only the technology, but also the human and institutional aspects.

Regardless of the circumstances, it is essential to understand at a deeper level that fast internet alone is not enough—it becomes truly effective only when accompanied by inclusive policies and strategic planning.

References

- Aghion, P. and Howitt, P. (1990). A Model of Growth Through Creative Destruction, *Econometrica*. 60(2): 323-351
- Atasoy, H. (2013). The Effects Of Broadband Internet Expansion On Labor Market Outcomes. *ILR Review*. 66(2): 315-345.
- Benseny, J., Töyli, J., Hämmäinen, H., and Arcia-Moret, A. (2019). The Mitigating Role of Regulation on the Concentric Patterns of Broadband Diffusion. The Case of Finland. *Telematics and Informatics*. 41: 139-155.

- Bhuller, M., Kostol, A. R., and Vigtel, T. C. (2020). How Broadband Internet Affects Labor Market Matching. *Bonn: Institute of Labor Economics - IZA Discussion Paper No. 12895*.
- Bocean, C. G., and Vărzaru, A. A. (2023). EU Countries' Digital Transformation, Economic Performance and Sustainability Analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*. 10(1): 1-15.
- Czernich, N., Falck, O., Kretschmer, T., and Woessmann, L. (2011). Broadband Infrastructure and Economic Growth. *The Economic Journal*. 121(552): 505-532.
- Deloitte, and GeSI. (2019). Digital With Purpose: Delivering a SMARTer2030. *Brussels: Global e-Sustainability Initiative*.
- Del Río Castro, G., González Fernández, M. C., and Uruburu Colsa, Á. (2021). Unleashing the Convergence Amid Digitalization and Sustainability Towards Pursuing the Sustainable Development Goals (SDGs): A Holistic Review. *Journal of Cleaner Production*. 280: 122204.
- Di Vaio, A., Palladino, R., Pezzi, A., and Kalisz, D. E. (2021). The Role of Digital Innovation in Knowledge Management Systems: A Systematic Literature Review. *Journal of Business Research*. 123: 220-231.
- European Commission. (2020). Supporting the Green Transition: Shaping Europe's Digital Future. *Brussels: European Commission*
- Gartner. (2019). Employ Digital Technology to Enable a Circular Economy. *Stamford, CT: Gartner, Inc.*
- Gartner. (2021). Definition of Digitalization—Gartner Information Technology Glossary. *Online resource*.
- Gong, C., and Ribiere, V. (2021). Developing a Unified Definition of Digital Transformation. *Technovation*. 102: 102217.
- Habibi, F., and Zabardast, M. A. (2020). Digitalization, Education and Economic Growth: A Comparative Analysis of Middle East and OECD countries. *Technology in Society*. 63: 101370.
- Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., and Antunes Marante, C. (2021). A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*. 58(5): 1159-1197.
- Kong, L., and Li, J. (2022). Digital Economy Development and Green Economic Efficiency: Evidence from Province-Level Empirical Data in China. *Sustainability*. 15(1): 3.
- Leogrande, S., Catalano, G., and Zito, M. (2021). The Three Levels of Digital Divide in East EU Countries. *World of Media*. 4: 5-22.
- LoPiccolo, K. (2021). Impact of Broadband Penetration on US Farm Productivity. *SSRN Electronic Journal*.
- Lytras, M. D., Serban, A. C., Alkhaldi, A., Malik, S., and Aldosemani, T. (2024). Digital Transformation in Higher Education, Part A: Best Practices and Challenges. *Emerald Publishing Limited*.
- Lytras, M. D., Serban, A. C., and Ntanos, S. (2025). Exploring Distance Learning in Higher Education: Satisfaction and Insights from Mexico, Saudi Arabia, Romania, Turkey. *Journal of Business Economics and Management*. 26(1): 1-20.
- Mergel, I., Edelmann, N., and Haug, N. (2019). Defining Digital Transformation: Results from Expert Interviews. *Government Information Quarterly*. 36(4): 101385.
- Merrill, R. K., Schillebeeckx, S. J. D., and Blakstad, S. (2019). Sustainable Digital Finance in Asia: Creating Environmental Impact Through Bank Transformation, *Singapore: UN Environment Inquiry and DBS Bank*.
- Myovella, G., Karacuka, M., and Haucap, J. (2020). Digitalization and Economic Growth: A Comparative Analysis of Sub-Saharan Africa and OECD Economies. *Telecommunications Policy*. 44(2): 101856.
- Olczyk, M., and Kuc-Czarnecka, M. (2022). Digital Transformation and Economic Growth-DESI Improvement and Implementation. *Technological and Economic Development of Economy*. 28: 775-803.
- Picatoste, X., Aceleanu, M. I., and Șerban, A. C. (2021). Job Quality and Well-being in OECD Countries. *Technological and Economic Development of Economy*. 27(3): 681-703.
- PWC. (2018). The Next Wave of Sustainability with Digital Innovation. *London: PricewaterhouseCoopers*.
- Șerban, A. C., Pelinescu, E., and Dospinescu, A. S. (2022). Beta Convergence Analysis of Gross Value Added in the High-Technology Manufacturing Industries. *Technological and Economic Development of Economy*. 28(2): 290-312.
- Șerban, A. C., and Jianu, I. (2023). Developing an Economic and Social Security Index for Euro-Atlantic Area Countries: A Panel Data Analysis. *Journal of Business Economics and Management*. 24(1): 112-135.
- Skare, M., de Obesso, M. D. L. M., and Ribeiro-Navarrete, S. (2023). Digital Transformation and European Small and Medium Enterprises (SMEs): A Comparative Study Using Digital Economy and Society Index Data. *International Journal of Information Management*. 68: 102594.
- Stavytskyy, A., Kharlamova, G., and Stoica, E. A. (2019). The Analysis of the Digital Economy and Society Index in the EU. *Baltic Journal of European Studies*. 9(3): 245-261.
- Accenture Strategy and GeSI. (2016). System Transformation: How digital Solutions Will Drive Progress Towards the Sustainable Development Goals. *New York: Accenture*.
- United Nations. (2020). Sustainable Development Goals Report 2020. *New York: United Nations*.
- Vărzaru, A. A., and Bocean, C. G. (2023). Digital Transformation and Innovation: The Influence of Digital Technologies on Turnover from Innovation Activities and Types of Innovation. *Systems*. 12(9): 359.
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., and Haenlein, M. (2021). Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda. *Journal of Business Research*. 122: 889-901.
- World Bank. (2020). Digital Development Partnership: Annual Review. *Washington DC: World Bank*.



Gelir Dağılımı Adaletsizliği ve İnsani Gelişme: Türkiye Üzerine Ampirik Bir İnceleme

Income Inequality and Human Development: An Empirical Analysis for Turkey

¹ Ayşenur KAYA¹ ² Bünyamin DEMİRGİL²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas/Türkiye, ays3nurkaya97@gmail.com

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Sivas/Türkiye, bdemirgil@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Gelir dağılımı adaletsizliği, toplumsal refahı ve sürdürülebilir kalkınmayı etkileyen önemli bir sorun iken, insani gelişme düzeyi bireylerin yaşam kalitesini artıran temel göstergelerden biridir. Gelir dağılımı adaletsizliğiyle insani gelişmenin bağlantısı, sosyal ve ekonomik politika tasarımlarında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle, gelir dağılımındaki eşitsizliklerin azaltılması, insani gelişme göstergelerinin sürdürülebilir biçimde yükseltilmesi açısından kritik önemdedir. Bu çalışma, bu iki değişken arasındaki dinamik ilişkiyi Türkiye örneğinde ampirik olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede, Türkiye’de 1990–2023 dönemine ait yıllık oranlar dikkate alınmış ve değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki ARDL sınır testi yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonucu değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. ARDL sınır testinden elde edilen sonuçlara göre, İnsani Gelişme Endeksi’nin gelir eşitsizliği üzerinde istatistiksel olarak negatif yönlü ve anlamlı etkisi bulunmaktadır. Bu bağlamda insani gelişmede meydana gelen artışın, Gini katsayısını azalttığını; bu da gelir eşitsizliğinde azalma anlamına geldiği sonucunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın literatüre katkısı, Türkiye özelinde insani gelişme ile gelir dağılımı adaletsizliği arasındaki ilişkiyi uzun dönemli dinamikler üzerinden ampirik olarak test etmesi ve politika yapıcılara gelir dağılımını iyileştirmeye yönelik kanıta dayalı öneriler sunmasıdır.

Anahtar Kelimeler: İnsani Gelişme Endeksi, ARDL Sınır Testi, Gini Katsayısı, Gelir Dağılımı

ABSTRACT

Income inequality is a significant issue that affects social welfare and sustainable development, while the level of human development is one of the fundamental indicators that enhances individuals’ quality of life. The connection between income inequality and human development holds an important place in the design of social and economic policies. Therefore, reducing disparities in income distribution is critical for sustainably improving human development indicators. This study aims to empirically reveal the dynamic relationship between these two variables in the case of Türkiye. For this purpose, annual data covering the period 1990–2023 were considered, and the long-run relationship between the variables was analyzed using the ARDL bounds testing approach. The results indicate the existence of a long-run relationship between the variables. According to the findings of the ARDL bounds test, the Human Development Index has a statistically significant and negative effect on income inequality. In this context, an increase in human development reduces the Gini coefficient, which implies a decline in income inequality. The main contribution of this study to the literature lies in empirically testing the long-run dynamics between human development and income inequality for Türkiye and providing evidence-based implications for policymakers seeking to improve income distribution.

Keywords: Human Development Index, ARDL Bounds Test, Gini Coefficient, Income Inequality

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 29 Ağustos 2025

Kabul Tarihi: 20 Kasım 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Ayşenur KAYA

ARTICLE INFOS

Article History

Received: August 29, 2025

Accepted: November 20, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Ayşenur KAYA

1. Giriş

Toplumsal refahın artırılması iktisat literatüründe önemli bir yere sahiptir. Bu doğrultuda devletlerin öncelikli hedefleri arasında ekonomik büyümeyi sürdürülebilir şekilde sağlamak sonrasında bu büyüme sonucu elde edilen refahı adil bir şekilde topluma pay etmek yer almaktadır. Ancak küreselleşmenin bir sonucu olarak mal ve hizmet ticaretindeki engellerin kaldırılması birçok ülkenin büyüme hedeflerine ulaşmasını kolaylaştırırken, gelir dağılımı adaletinde ciddi bir bozulmaya da yol açmıştır (Bucak ve Saygılı, 2022: 24). II. Dünya Savaş sonrası döneminde azalan gelir eşitsizliği, özellikle 1980’li yıllarda dünya genelinde artış eğiliminde bulunmuştur. Bu eşitsizlik, COVID-19 pandemisi gibi olağanüstü

hallerde daha da derinleşmiştir (Karahanoğulları ve Türk, 2018:5; Akkaya ve Oğhan, 2020:10). Böyle bir durumda, ekonomik büyümenin tek başına toplumsal refahı sağlamada yeterli olmadığı ve ekonomik büyümeyle birlikte eşitlikçi politikaların daha fazla önem arz ettiği görülmektedir.

Gelir eşitsizliğinin sonuçları sadece ekonomi üzerinde değil aynı zamanda toplumsal, siyasal alanlarda da olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Toplumun belirli bir kısmının yüksek gelir, eğitim ve sağlık olanaklarından yararlanırken diğerlerinin temel ihtiyaçlarını bile karşılayamaması gibi eşitsizlikler, toplumsal barışı tehdit eden yapısal kırılmalara yol açan adaletsizliklerdir (Asandaş ve Işık, 2021: 103). Gelir eşitsizliği bu açıdan ele alındığında gelirde adaletlin

sağlanması yalnızca ekonomik önlemlerle değil, bununla birlikte insan merkezli kalkınma politikalarıyla da mümkün olmaktadır. Kalkınma, bireysel yaşam kalitesini iyileştirmeye yönelik yapısal dönüşümlerin yanı sıra kişi başına düşen gelirde değişikliklerin meydana geldiği çok boyutlu bir süreçtir. Tarihsel olarak sanayi devriminden sonra motive edilen bu yaklaşım, insan refahının göstergelerini merkezine koyan bir yaklaşıma dönüşmüştür. Üretim ve üretkenliğin yanı sıra, kalkınma bu kazanımların kimlere ve nasıl dağıldığıyla da yakından ilişkilidir (Diamond, 2006: 176-177).

Bu aşamada gelir eşitsizliği ile insani gelişme düzeyi arasındaki ilişkiyi açıklamak, kalkınmanın sosyal boyutunu anlamak için oldukça faydalı hale gelmektedir. Literatürde yaygın olarak ele alınan bu ilişki, insani gelişmenin kapsadığı daha geniş kapsamdan ziyade, esas olarak büyüme perspektifinden ele alınmıştır. Bireylerin sağlık, eğitim ve yaşam standardı haklarına erişiminin sağlanması, yalnızca makro göstergeler açısından değil, aynı zamanda toplumu nasıl etkiledikleri açısından da değerlendirilmelidir (Günay ve Topbaş, 2021: 248). Bu çerçevede, kalkınmanın yalnızca gelir düzeylerindeki artışlar üzerinden değil, aynı zamanda gelir eşitsizliğinin azaltılması üzerinden de değerlendirilmesi durumunda daha anlamlı sonuçlar elde edileceğini gösteren kanıtlar bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı gelir dağılımı adaletsizliği ile insani gelişme arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkileri Türkiye'nin 1990-2023 dönemi için ARDL sınır testi yaklaşımı ile araştırmaktır. Çalışma giriş bölümü dâhil olmak üzere beş bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde gelir eşitsizliği ve insani gelişme arasındaki teorik ilişkiye yer verilmiş olup sonrasında bu alandaki literatür özetlenmiş, dördüncü bölümde veri seti, metodoloji ve analizlere ilişkin sonuçlara yer verilmiştir. Son bölümde çalışmanın bulguları değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Gelir Eşitsizliği ve İnsani Gelişme Arasındaki İlişki

Gelir dağılımındaki eşitsizlik, farklı gelişmişlik düzeyine sahip ülkelerde ve günümüz toplumlarının karşı karşıya olduğu ekonomik-sosyal sorunlar üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır (Aghion ve Howitt, 2009: 5). Bu eşitsizlik yalnızca bireylerin gelir düzeyleri arasındaki farklılıkları değil, aynı zamanda bu farklılıkların sosyal adalet, toplumsal uyum ve genel refah düzeyi üzerindeki etkilerini de kapsamaktadır. Gelir eşitsizliğinin gerek ekonomik büyüme gerekse sosyal kalkınma üzerindeki etkileri, özellikle son yıllarda iktisat ve sosyal bilimler alanında yoğun bir şekilde araştırılmaktadır (Piketty, 2014:170). Ancak, söz konusu eşitsizliğin yalnızca ekonomik bir mesele olmaktan çıkarak insani gelişme süreçleri üzerindeki etkileri, daha fazla dikkat gerektiren bir alan olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda gelir eşitsizliğinin ne oranda olduğunun tespiti önem arz etmektedir.

Gelir eşitsizliğini ölçmek amacıyla geliştirilen pek çok yöntem bulunmakla birlikte, literatürde en yaygın olarak kullanılan göstergelerden biri Lorenz eğrisi ve bu eğriden türetilen Gini katsayısıdır (Aktan, 2002: 13-19). 0 ile 1 arasında değer alan Gini katsayısı, gelir eşitsizliğinin nicel boyutunu ortaya koymaktadır. Değerin 1'e yaklaşması daha yüksek eşitsizliği, 0'a yaklaşması ise daha adil bir gelir paylaşımını ifade etmektedir (Öztürk vd, 2025: 24). İnsani Gelişme Endeksi (İGE), bireylerin sağlık, eğitim ve yaşam standartları gibi boyutlarda refah düzeyini ölçen çok boyutlu bir kalkınma göstergesidir. İGE, kişi başına düşen GSYH, eğitim süresi ve yaşam süresi vb. göstergelerin 0 ile 1 arasında normalize edilip geometrik ortalaması alınarak hesaplanır. Endeks değerinin 1'e yakın olması yüksek bir gelişmişlik düzeyini, 0'a yakın olması ise düşük bir gelişmişlik seviyesini ifade etmektedir (Dinler, 2011: 304).

Gelir dağılımındaki adaletsizlik ile insani gelişme ilişkisini anlamak, özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye örneğinde olduğu gibi, gelir eşitsizliğinin insan sermayesi üzerindeki etkilerini ortaya koymak; hem kısa vadeli ekonomik büyüme hedeflerinin gerçekleştirilmesi hem de uzun vadede sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. İnsani gelişme göstergelerinde sağlanacak iyileşmelerin, büyüme süreçleriyle eş zamanlı olarak gelir eşitsizliğini azaltıcı etki yaratması mümkündür (Kakwani ve Pernia, 2000: 3).

İktisadi politikaların yalnızca büyüme hedefli değil, aynı zamanda sosyal refahı ve eşitliği önceleyen bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Gelir dağılımı adaletsizliğiyle insani gelişmenin bağlantısı hem ekonomik politikaların tasarımı hem de toplumsal yapının yeniden inşası açısından temel bir rol üstlenmektedir. Bu ilişkinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, politika yapımcıların sosyal adalet ve toplumsal refah hedeflerine ulaşmasında önemli katkılar sunacaktır. Bu doğrultuda, Türkiye bağlamında yürütülen analizlerle söz konusu dinamiklerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve değerlendirilebilmesi amaçlanmaktadır (Atkinson, 2015:8).

3. Literatür İncelemesi

İnsani gelişme ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişki, kalkınma literatüründe uzun zamandır önemli bir tartışma konusu olmuştur. Bu ilişki, sadece ekonomik büyüme ile sınırlı kalmayıp, toplumsal refah ve yaşam kalitesinin de bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Literatürde, gelir eşitsizliğinin insani gelişme üzerinde çeşitli etkilerinin olduğu ve bunun farklı göstergelerle ölçüldüğü bir dizi çalışma bulunmaktadır.

Kuznets (1955), ekonomik büyüme ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi inceleyen öncü çalışmada, gelir dağılımının uzun dönemdeki değişim dinamiklerini ele almıştır. Çalışmada, aile harcama birimleri temel alınarak gelir dağılımının kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Kuznets, ekonomik gelişme sürecinde gelir eşitsizliğinin önce arttığını, ancak belli bir gelişmişlik düzeyinden sonra azalmaya başladığını ifade eden "Kuznets Eğrisi" hipotezini ortaya koymuştur. Bu hipotez, gelir eşitsizliği ve kalkınma arasındaki ters U şeklindeki ilişkiyi açıklamaktadır. Kuznets'in bulguları, ekonomik büyüme ile gelir eşitsizliği arasındaki karmaşık yapının anlaşılması ve sonraki ampirik araştırmalar için temel bir çerçeve sağlamıştır (Kuznets, 1955).

Mahbub ul Haq (1992), kalkınma kavramını geleneksel ekonomik büyüme odaklı yaklaşımların ötesine taşıyarak, insani gelişmenin çok boyutlu göstergelerle değerlendirilmesi gerektiğini ileri sürmüştür. Haq'ın öncülüğünde geliştirilen İnsani Gelişme Endeksi (İGE), kişi başına düşen gelir gibi ekonomik göstergelerin yanı sıra, bireylerin sağlık durumu, eğitim seviyesi ve yaşam beklentisi gibi sosyal göstergeleri de kapsamına almıştır. Haq (1992), gelir eşitsizliklerinin ulusal sınırları aşarak küresel ölçekte derinleştiğine dikkat çekmiş ve zengin ile yoksul ülkeler arasındaki farkların sadece gelir değil, eğitim, teknolojiye erişim ve bilgi üretimi alanlarında da belirgin biçimde arttığını vurgulamıştır. Bu bağlamda, İGE'nin kalkınma politikalarında gelir eşitsizliği ve toplumsal refahı ölçmede temel bir araç haline gelmesinde Haq'ın öncü rolü öne çıkmaktadır.

Grimm vd. (2006), İnsani Gelişme Endeksi'nin (HDI) en sık eleştirilen yönlerinden biri olan ülkeler içi eşitsizlikleri dikkate almama sorununa odaklanarak, gelir gruplarına göre ayrıştırılmış bir HDI önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada, HDI bileşenlerinin

gelir dağılımının beşte birlik (quintil) dilimlerine göre hesaplanabileceği basit ve sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde, hem ülkeler içindeki yoksul ve yoksul olmayan gruplar arasında hem de ülkeler arası karşılaştırmalar yapılabilmektedir. 13 düşük ve orta gelirli ülke ile 2 sanayileşmiş ülkeye uygulanan analiz sonuçları, ülkeler içinde insani gelişme düzeyinde önemli farklılıklar olduğunu ve bu içsel eşitsizliklerin, genel HDI düzeyiyle yalnızca zayıf bir ilişki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Üzümcü ve Korkat (2014), Türkiye’de 2003–2012 dönemini kapsayan bir analizde gelir dağılımı adaletsizliği, yoksulluk ve sosyal yardımların gelişimini ele almıştır. Çalışmada, küresel finansal kriz etkilerine rağmen Türkiye’de gelir dağılımında iyileşme ve yoksulluk oranında görece bir düşüş gözlemlendiği ifade edilmektedir. Bu olumlu trendin, 2001 ekonomik krizinin ardından sağlanan siyasi ve ekonomik istikrar ile sosyal yardım programlarının genişletilmesine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Ancak, sosyal yardım miktarındaki artışın tek başına yeterli olmadığı; gelir eşitsizliği ve yoksullukla mücadelede sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi gerektiği de belirtilmektedir.

Öztürk ve Oktar (2017), Türkiye’de 1990 sonrası dönemde kalkınma ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi İnsani Gelişim Endeksi (HDI) ve Gini katsayısı çerçevesinde ARDL sınır testi ile incelemiştir. Çalışmada, kişi başına gelir yerine HDI kullanılarak kalkınmanın refah dağılımı üzerindeki etkisi daha kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, kalkınma düzeyi arttıkça gelir eşitsizliğinin başlangıçta azaldığını, ancak daha ileri aşamalarda tekrar artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, Türkiye örneğinde ters-U şeklindeki klasik Kuznets eğrisinin geçerli olmadığını ve kalkınmanın ileri safhalarında eşitsizliği artırıcı etkiler doğurabileceğini göstermektedir.

Tao vd. (2017), Avrupa, Latin Amerika, Kuzey Amerika ve Asya’yı kapsayan 67 ülkeye ait hanehalkı gelir verilerini inceleyerek, gelir dağılımına ilişkin niceliksel bir kalıbın varlığını araştırmışlardır. Çalışmada, düşük ve orta gelir gruplarını kapsayan büyük nüfus yoğunluğu için gelir dağılımının üstel bir yasa ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu ampirik bulguyu açıklamak amacıyla, modern iktisat kuramı çerçevesinde teorik bir model geliştirilmiştir. Model, serbest piyasa rekabeti ile Rawls’un adalet ilkesi birleştiğinde gelir dağılımının doğal olarak üstel forma büründüğünü göstermektedir. Ayrıca, modeldeki üstel dağılımın serbest parametreleri açık ekonomik anlamlara sahip olup, gelir eşitsizliğini azaltmaya yönelik politika önerileri açısından doğrudan önem taşımaktadır.

Durgun Kaygısız (2018), 2000–2016 döneminde Avrupa ve Merkez Asya bölgesindeki üst-orta gelir grubundaki ülkelerde yoksulluk ve gelir eşitsizliği etkileşimini dinamik bir panel veri analizi kullanarak incelemiştir. Bulgular, gelir eşitsizliğindeki artışın yoksulluğu artırdığını ve bu ilişkinin pozitif ve anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, nüfus yoğunluğu, işsizlik ve döviz kuru yoksulluğu pozitif; milli gelir, enflasyon ve sağlık harcamaları ise negatif yönde etkilemektedir. Gini katsayısı, milli gelir, işsizlik, döviz kuru ve sağlık harcamaları beklenen işaretlerde ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çalışma, gelir adaletinin sağlanmasının toplumsal refah için kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Aydın (2019), Türkiye’de insani gelişmeyle ekonomik büyüme bağlantısını 1990–2017 dönemleri arasında ampirik olarak incelemiştir. Hacker ve Hatemi-J (2006) bootstrap nedensellik testi ile çift yönlü nedensellik tespit edilmiş; ARDL, FMOLS ve DOLS

yöntemleriyle yapılan uzun dönem analizleri, değişkenler arasında kalıcı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bulgulara göre, İnsani Gelişim Endeksi’ndeki 0.01 birimlik artış ekonomik büyümeyi yaklaşık %0,05 oranında artırmaktadır. Bu sonuç, insani gelişmeye yönelik politikaların büyüme üzerinde olumlu etkiler doğurabileceğini göstermektedir.

Ergül ve Çakır (2019), Türkiye’de ekonomik büyüme, beşeri sermaye yatırımları ve gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi OECD ve Dünya Bankası verileri ışığında incelemiştir. Çalışmanın bulguları, geleneksel yaklaşımın aksine, ekonomik büyümenin gelir eşitliğini ancak kamu harcamalarının yönüne bağlı olarak iyileştirebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle eğitim ve sağlık harcamalarının gelir eşitsizliği üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiş; bu durum, eşitlikçi büyüme hedefleyen politika yapıcılar için önemli bir bulgu olarak sunulmuştur.

Erkul ve Demir-Erkul (2019), neoliberal politikalar çerçevesinde Türkiye ve Şili’de gelir dağılımı ve yoksulluk göstergelerinin (Gini katsayısı, yoksulluk oranları, İnsani Gelişim Endeksi) seyrini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Küreselleşmeyle birlikte yaygınlaşan neoliberal politikaların hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde gelir eşitsizliğini ve yoksulluğu artırdığına dikkat çeken çalışmada, her iki ülkenin benzer politikalar uyguladığı ancak Şili’nin gelir dağılımı ve yoksullukla mücadelede Türkiye’ye kıyasla daha etkili sonuçlar elde ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Durgun (2021), 1990–2017 dönemi için Türkiye ve seçilmiş 47 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede insani gelişim endeksi ve gelir eşitsizliği arasındaki bağlantı ekonometrik yöntemleri kullanılarak analizi gerçekleştirilmiştir. Türkiye ve gelişmekte olan ekonomilerde insani gelişim göstergelerindeki gelişmelerin gelir dağılımındaki eşitsizliği daha adaletli hale getirdiği; gelişmiş ülkelerde ise insani gelişim ile gelir dağılımı arasında fırsat maliyeti ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Panel veri ve zaman serisi analizlerinde eşbütünlük ilişkisi ve insani gelişmeden gelir eşitsizliğine tek yönlü nedensellik bulunmuştur. Gelişmekte olan ülkelerde gelir adaleti için sağlık ve eğitim yatırımlarının artırılması; gelişmiş ülkelerde ise evrensel temel gelir ve artan oranlı vergilendirmenin önemi vurgulanmıştır.

Durgun ve Durgun (2023), Türkiye’de 1990–2019 dönemini kapsayan çalışmada, ARDL sınır testi ve Granger nedensellik testi yöntemlerini kullanarak gelir eşitsizliği ile İnsani Gelişim Endeksi arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Bulgular, insani gelişme ve sağlık endekslerinin gelir eşitsizliğini azalttığını, eğitim endeksinin ise pozitif etkisinin olduğunu göstermiştir. Ayrıca, insani gelişmeden gelir eşitsizliğine tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Sonuçlar, Türkiye’de gelir eşitsizliğini azaltmak için sağlık ve eğitim yatırımlarının artırılması gerektiğini desteklemektedir.

Keleş (2023), 1990–2021 döneminde Türkiye’de gelir eşitsizliği ile insani gelişim arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada Gini katsayısı ve İnsani Gelişim Endeksi kullanılarak yapılan zaman serisi analizinde, Johansen eşbütünlük testi ile iki değişken arasında uzun dönemli ilişki tespit edilmiştir. Gelir eşitsizliğindeki %1’lik artışın insani gelişmeyi %3,66 oranında azalttığı belirlenmiştir. Granger nedensellik testi sonuçları ise, gelir eşitsizliğinden insani gelişmeye tek yönlü nedensellik olduğunu göstermiştir.

Kılıç ve Gökçeli (2024), 1990–2020 döneminde gelişmekte olan Brezilya ve gelişmiş İrlanda ülkeleri üzerinde yapılan çalışmada İnsani Gelişim Endeksi’nin (İGE) gelir eşitsizliği üzerindeki etkisini ARDL modeliyle incelemiştir. Sonuçlar, kısa dönemde yalnızca Brezilya’da İGE’nin gelir dağılımını iyileştirici etkisinin olduğunu

göstermiştir. Uzun dönemde ise her iki ülkede de İGE'nin gelir eşitsizliğini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak bulgular, İGE'nin Brezilya'daki gelir eşitsizliğini İrlanda'ya göre neredeyse iki kat daha fazla düşürdüğünü göstermektedir.” Çalışma, farklı gelişmişlik düzeylerine sahip ülkelerde İGE'nin gelir eşitsizliği üzerindeki etkisinin değişkenlik gösterdiğine işaret etmektedir.

Mevcut literatür incelendiğinde, gelir dağılımı adaletsizliği ile insani gelişme arasındaki ilişkiyi farklı ülkeler ve dönemler için ele alan çok sayıda çalışma bulunduğu görülmektedir. Ancak Türkiye özelinde bu ilişkinin uzun dönemli dinamiklerini, özellikle son döneme kadar uzanan geniş bir zaman diliminde ekonometrik yöntemlerle inceleyen araştırmalar sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca önceki çalışmaların bir kısmı yalnızca korelasyon düzeyinde değerlendirmeler yapmakta, değişkenler arasındaki nedensellik yönünü ve uzun dönem etkilerini ortaya koymada yetersiz kalmaktadır. Bu açıdan, çalışma hem Türkiye'nin güncel verilerini kapsaması hem de ARDL sınır testi yaklaşımıyla uzun dönem ilişkisini analiz etmesi bakımından literatüre özgün bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

4. Veri Seti, Metodoloji ve Analiz Sonuçları

Bu çalışmanın araştırma konusu olarak Türkiye'de gelir eşitsizliğini ve İGE arasında ilişkiyi incelenmiştir. Bu bağlamda GİNİ katsayısı ve insani gelişme endeksine ait 1990-2023 dönemi yıllık verileri kullanılmıştır. Değişkenlerin verileri UNDP ve TÜİK'ten temin edilmiştir. Analizde kullanılan modelde, bağımlı değişken olarak Gini katsayısı, bağımsız değişken olarak ise İGE kullanılmıştır. Değişkenlerin birim köklerine bakılmış gecikme uzunluğu belirlenmiş ve gerekli tanısal testleri ile modelin güvenilirliği sınanmıştır. Ardından ARDL sınır testi ile değişkenler arasında eşbütünleşmenin varlığı araştırılmıştır. Analizde yer alan rasyolar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1

Çalışmada Kullanılan Değişkenler ve Açıklamaları

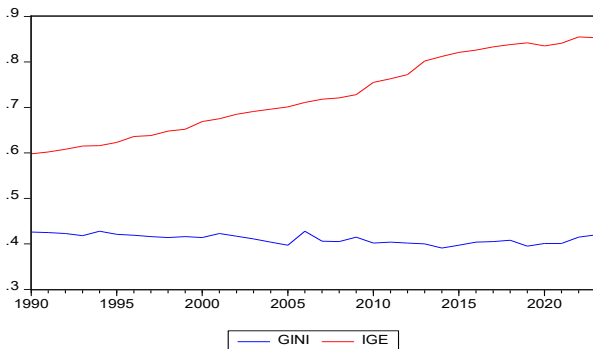
Sembol	Tanım	Dönem ve Veri Kaynağı
İGE	İnsani Gelişme Endeksi	1990-2022, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) https://hdr.undp.org
GİNİ	GİNİ Katsayısı	1990-2022, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).

Çalışmada kullanılan modelin denklemi (1)'de şu şekilde kurulmuştur:

$$GINI_t = \alpha_0 + \beta(IGE_t) + \mu_t \quad (1)$$

Şekil 1

Gelir Dağılımı Adaletsizliği ve İnsani Gelişimin Zaman İçinde Değişim Göstergelerinin



Çalışmada bağımlı değişken olarak gelir eşitsizliğini ölçmede yaygın biçimde kullanılan Gini katsayısı, bağımsız değişken olarak ise kalkınmayı temsil eden İnsani Gelişme Endeksi (İGE) kullanılmıştır. Analizler E-Views 10.0 paket programı aracılığıyla yürütülmüştür. Türkiye'de gelir dağılımındaki adaletsizlik ile insani gelişme arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla öncelikle serilerin durağanlığı test edilmiştir.

Zaman serilerinde durağanlık önemli bir ön koşuldur; çünkü durağan olmayan serilerde varyansın zamanla değişmesi, yanlış model kurulmasına ve sahte regresyon sorununa yol açabilmektedir (Kaya vd., 2025:104). Bu durumda seriler arasında gerçekte bir bağ bulunmamasına rağmen, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki varmış gibi sonuçlar elde edilebilmektedir (Öztürk ve Cınar, 2018: 73). Bu nedenle, serilerin durağan olması ya da gerekli dönüşümlerle durağanlaştırılması gerekmektedir (Gujarati, 2015:320).

Zaman serilerinin durağanlığı çoğunlukla birim kök testleri aracılığıyla sınanmaktadır. Bu çalışmada da serilerin özellikleri, literatürde yaygın olarak kullanılan Augmented Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) testleri ile incelenmiştir. Elde edilen bulgulara ilişkin sonuçlar Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2

ADF ve PP Birim Kök Test Sonuçları

(ADF) Augmented Dickey-Fuller Birim Kök Testi				
Değişken	Sadece sabit		Trendli ve sabit	
	t ist.	Olasılık	t ist.	Olasılık
İGE	-0.254	0.921	-3.000	0.149
Δ (İGE)	-5.303305*	0.000	-5.188336*	0.001
GİNİ	-3.009929*	0.044	-3.694266*	0.037
(PP) Phillips-Perron Birim Kök Testi				
İGE	-0.270	0.919	-2.094	0.530
Δ (İGE)	-5.344274*	0.000	-5.234327*	0.001
GİNİ	-2.916871*	0.054	-3.682507*	0.038

Not: * %10, %5, %1 düzeyinde anlamlılığı belirtmektedir.

Δ () operatörü değişkenlerin farkının alındığını belirtmektedir.

Değişkenlere yapılan ADF ve PP birim kök analiz sonuçları incelendiğinde çalışmada ele alınan değişkenlerden GİNİ katsayısının düzeyde durağan olduğu fakat İGE değişkeninin birinci farkları alındıktan sonra durağan olduklarını görülmektedir. Tablo 2'de bulunan ADF ve PP birim kök testi ile değişkenlerin durağanlıkları incelendikten sonra değişkenin biri $I(0)$ diğerinin $I(1)$ olarak farklı düzeylerde durağanlaşması sebebiyle eşbütünleşme testi için Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılmıştır.

ARDL yaklaşımı, farklı durağanlık düzeyine sahip seriler arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkileri analiz etmekte kullanılan etkili bir yöntemdir. Klasik eşbütünleşme testlerinde (Engle ve Granger, 1987; Johansen, 1988; Johansen ve Juselius, 1990) serilerin $I(1)$ bütünselme derecesinde olması şart koşularken, Pesaran ve Shin (1998) ile Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yaklaşımı, serilerin $I(0)$ veya $I(1)$ olmasına bakılmaksızın uygulanabilmektedir. Ancak serilerin ikinci farklarında $I(2)$ durağan olmamaları gerekmektedir (Pesaran vd., 2001: 289-292).

ARDL sınır testi yöntemi, kısıtsız hata düzeltme modeli tahminine dayanmakta olup hem kısa dönem dinamikleri hem de uzun dönem ilişkileri aynı modelde inceleme imkânı sağlamaktadır. Kısıtsız hata

düzeltilme modeli, genel formu itibarıyla Denklem (2)'de sunulmaktadır. Söz konusu denklemde γ bağımlı değişkeni, X bağımsız değişkeni temsil etmekte; d operatörü serilerin birinci farkını, m ve n ise gecikme uzunluklarını göstermektedir. Bu genel yapıdan hareketle, modelin çalışmaya uyarlanmış hali Denklem (3)'te verilmiştir. Modele ilişkin denklemler aşağıda gösterilmektedir.

$$dy = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \beta_1 dy_{t-i} + \sum_{i=0}^n \beta_2 dx_{t-i} + \delta_1 y_{t-1} + \delta_2 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$G\dot{I}N\dot{I} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \beta_1 G\dot{I}N\dot{I}_{t-i} + \sum_{i=0}^n \beta_2 d\dot{I}GE_{t-i} + \delta_1 G\dot{I}N\dot{I}_{t-1} + \delta_2 \dot{I}GE_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Çalışmada kullanılan model, Denklem (3), çalışmada kullanılan ARDL modelinin genel formunu ifade etmektedir. Modelde bağımlı değişken Gini katsayısıdır. Denklem (3) ilk kısmında yer alan $\sum_{i=1}^m \beta_1 G\dot{I}N\dot{I}_{t-i}$ gelir dağılımının geçmiş değerlerinin bugünkü gelir dağılımı üzerinde nasıl bir etki yarattığını göstermekte olup modelin otoregresif yapısını temsil etmektedir. $\sum_{i=0}^n \beta_2 d\dot{I}GE_{t-i}$ ise insani gelişme endeksinin cari ve gecikmeli değerlerinin gelir dağılımı üzerindeki kısa dönem etkilerini ifade etmektedir. Denklemde ayrıca $\delta_1 G\dot{I}N\dot{I}_{t-1} + \delta_2 \dot{I}GE_{t-1}$ terimleri, değişkenlerin düzey değerlerini temsil etmekte olup Gini ile insani gelişme arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisini test etme imkânı sunmaktadır. Son olarak, (ε_t) hata terimi olup, modele dahil edilmeyen diğer değişkenlerin etkisini yansıtmaktadır (Pesaran vd., 2001).

Bu kapsamda, modelde bağımlı ve bağımsız değişkenlerin farklı gecikmeli değerleri regresyona dahil edilir. İlk aşamada, optimum gecikme uzunluğu AIC ve SBC gibi bilgi kriterlerine göre belirlenmektedir. Eşbütünleşme ilişkisini test etmek için, modelde yer alan seviye terimlerinin katsayılarının sifıra eşit olup olmadığına dair hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$H_0: \delta_1 = \delta_2 = 0 \quad (\text{Eşbütünleşme yoktur})$$

$$H_1: \delta_1 \neq \delta_2 \neq 0 \quad (\text{Eşbütünleşme vardır})$$

Hesaplanan F-istatistiği, Pesaran vd. (2001) tarafından önerilen alt ve üst kritik değerlerle karşılaştırılır. F değeri üst kritik değeri aşması durumunda, sıfır hipotezi reddedilerek değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisinin varlığı kabul edilmektedir. Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edildikten sonra, uzun dönemli ilişkinin analizi yapabilmek için Denklem (4) kullanılmaktadır. Bu denklemin çalışmaya uyarlanmış ve genelleştirilmiş hâli ise Denklem (5)'te sunulmaktadır.

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} y_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{2i} x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$G\dot{I}N\dot{I} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} G\dot{I}N\dot{I}_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{2i} \dot{I}GE_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Eşbütünleşmenin tespiti sonrasında, uzun dönem katsayıları modelin yeniden parametrelendirilmiş haliyle tahmin edilmektedir. Denklemdeki $\sum_{i=1}^m \alpha_{1i} G\dot{I}N\dot{I}_{t-i}$ terimi, Gini katsayısının geçmiş değerlerinin bugünkü Gini üzerindeki etkisini, yani gelir dağılımının kendi iç dinamiklerini ortaya koymaktadır. $\sum_{i=0}^n \alpha_{2i} \dot{I}GE_{t-i}$ ifadesi, $\dot{I}GE$ 'nin cari ve gecikmeli değerlerinin Gini üzerindeki kısa dönem etkilerini göstermektedir.

Aynı zamanda kısa dönem dinamikler hata düzeltme modeli (ECM) aracılığıyla incelenmektedir. Hata düzeltme terimi katsayısının negatif ve anlamlı sonuçlanması, kısa dönemde oluşan sapmaların uzun dönemde dengeye döneceğini işaret etmektedir (Pesaran vd., 2001; Narayan, 2005). "Değişkenler kısa dönemli ilişkiler, hata düzeltme modeli aracılığıyla analiz edilmektedir. Hata

düzeltilme modeline ilişkin Denklem (6) sunulmuş olup, bu denklemin çalışmaya uyarlanmış ve genelleştirilmiş hâli Denklem (7)'de verilmiştir.

$$dy = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \mu_{1i} dy_{t-i} + \sum_{i=0}^n \mu_{2i} dx_{t-i} + \mu ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$dG\dot{I}N\dot{I} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \mu_{1i} dG\dot{I}N\dot{I}_{t-i} + \sum_{i=0}^n \mu_{2i} d\dot{I}GE_{t-i} + \mu ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (7)$$

Bu denklemde $dG\dot{I}N\dot{I}$, Gini katsayısının dönemsel farkı olup gelir dağılımındaki kısa dönemli değişimleri göstermektedir. $d\dot{I}GE$, İnsani Gelişme Endeksi'nin farkını temsil ederek insani gelişmedeki kısa dönem değişimlerini ifade etmektedir. $\sum_{i=1}^m \mu_{1i} dG\dot{I}N\dot{I}_{t-i}$ ifadesi, gelir dağılımının geçmiş dönem farklarının mevcut dönem üzerindeki etkisini, $\sum_{i=0}^n \mu_{2i} d\dot{I}GE_{t-i}$ ise insani gelişmede meydana gelen değişimlerin gelir dağılımına kısa dönemli etkilerini ortaya koymaktadır (Pesaran vd., 2001).

Kısa dönemli ilişkiler incelenirken, uzun dönemli ARDL modeline, uzun dönem denge ilişkisinin kalıntıların bir dönem gecikmeli değeri olan hata düzeltme terimi (ECM_{t-1}) eklenmektedir. Hata düzeltme terimi katsayısı (μ) kısa dönemde meydana gelen sapmaların ne ölçüde uzun dönemde giderileceğini göstermektedir. Ayrıca bu katsayının istatistiksel olarak anlamlı ve negatif işaretli olması beklenmektedir."

Bu analizlerin ardından modelin doğruluğunu test etmek için otokorelasyon, heteroskedastisite ve model spesifikasyonu testleri uygulanmakta, ardından parametre stabilitesi için CUSUM ve CUSUMQ testleri kullanılmaktadır. Bu tanısal testler, modelin sağlamlığını ve güvenilirliğini desteklemektedir (Pesaran ve Shin, 1999). Analizlerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle çalışmada optimum gecikme uzunluğu belirlenmektedir. Bu bağlamda Akaike bilgi kriteri (AIC), Schwarz bilgi kriteri (SIC), Hannan-Quinn bilgi kriterleri (HQ) ve otokorelasyon testi sonuçları göz önüne alınarak gecikme uzunluğu belirlenmiş ve ARDL sınır testi yöntemiyle değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkiler analiz edilmiştir. Analizin sonuçları tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3

VAR Modelinde Bilgi Kriterine Göre Optimal Gecikme Uzunlukları

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	141.1281	NA	4.33e-07	8.976005	-8.883490	-8.945847
1	217.8286	138.5557*	3.98e-09*	13.66636*	13.38881*	13.57589*
2	219.8158	3.333523	4.56e-09	-13.53651	-13.07393	-13.38572
3	224.1048	6.640970	4.52e-09	-13.55515	-12.90754	-13.34405

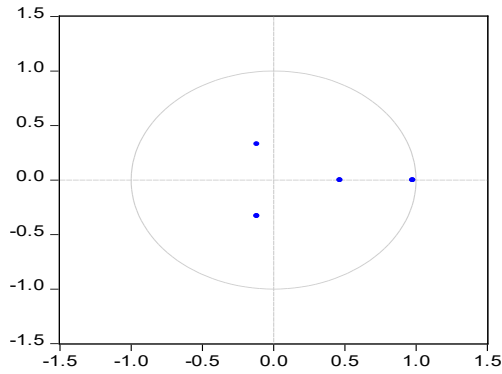
Not: İlgili kriterlere göre belirlenen en uygun gecikme uzunluğunu göstermektedir. * %5 düzeyde anlamlıdır. LR: LR test istatistiğini; FPE: Son öngörü hatası; AIC: Akaike bilgi kriterini; SIC: Schwarz bilgi kriterini; HQ: Hannan-Quinn bilgi kriterini ifade etmektedir.

Analiz kapsamında değişkenler arasında kurulan VAR modelinde uygun gecikme uzunluğu bilgi kriterleri aracılığıyla incelenmiştir. Tüm kriterlere göre gecikme uzunluğu olarak **1'in** tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, ilgili gecikme uzunluğunun geçerliliği AR karakteristik polinomlarının ters kök modül değerleri ile incelenmiştir. Sonuçlar grafik 2'de verilmiştir.

Şekil 2

AR Karakteristik Polinomlarının Ters Kök Değerleri

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Şekil 2’de gösterilen AR karakteristik polinomlarının ters kökleri, modelin istikrarına ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. AR polinomunun ters kökleri hepsini birim çemberin içini kapsayan alanda yer alması, söz konusu zaman serisi modelinin istikrarlı olduğunu ve kullanılan tahminlerin güvenilir nitelikte değerlendirilebileceğini göstermektedir. Gecikme uzunluğu 1 olan otoregresif modelde bu koşulun sağlanması, serinin durağan olduğunu ve öngörülerin istatistiksel anlamda geçerliliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda birim çemberin içinde kalan ters kökler, sistemin dışsal şoklara karşı zamanla dengeye döneceğini ifade eder (Lütkepohl, 2005:136). Bu durum, tahmin edilebilirliğin artması ve ekonomik politika analizlerinde modelin güvenle kullanılabilmesi açısından kritik önemdedir.

Bu analizlerin ardında değişkenlerde uzun dönemli bir denge ilişkisinin varlığını belirlemek amacıyla sınır testin uygulanmaktadır.

Tablo 5

ARDL (1,0) Modelinden Elde Edilen Kısa ve Uzun Dönem Sonuçları

<i>Bağımlı Değişken: GINI</i>				
Kısa Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayı	Standart hata	t-istatistiği	Olasılık*
GINI(-1)	0.202211	0.202263	0.999741	0.3254
IGE	-0.059019	0.024451	-2.413741	0.0221
C	0.370487	0.097242	3.809965	0.0006
ECM(-1)*	-0.797789	0.202263	-3.944315	0.0004
Uzun Dönem Sonuçları				
IGE	-0.073978	0.020574	-3.595790	0.0011
C	0.464392	0.015120	30.71285	0.0000
Tanısal Testler		LM (Olasılık)		
Otokorelasyon testi		$X^2_{BG} = 0.04$ (0.83)		
Değişen varyans		$X^2_{ARCH} = 0.12$ (0.72)		
Model kurma hatası		$X^2_{Ramsey} = 1.47$ (0.23)		
Normallik testi		$X^2_{JB} = 2.35$ (0.30)		

Tablo 5’te yer alan ARDL(1,0) modeline ilişkin tanısal test sonuçları, modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarının bulunmadığını, model kurma hatasının mevcut olmadığını ve hata terimlerinin normal dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hata

Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemek için sınır testinde hesaplanan istatistik değeri, Pesaran ve arkadaşlarının (2001) belirlediği kritik değerlerle karşılaştırılmaktadır. F değeri üst kritik sınırı aştığında, değişkenler arasında eşbütünleşme olduğu belirtilmiştir. Bu teste ilişkin sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4

Sınır Testi Sonuçları

K	F istatistiği	%5 anlamlılık düzeyinde sınır değerler	
		Alt sınır	Üst sınır
1	5.438132	3.62	4.16

Tablo 4’te görüldüğü üzere, %5 anlamlılık düzeyinde elde edilen F istatistiği değeri (5,43), kritik değer üst sınırı olan 4,16’nın üzerinde çıkmıştır. Bu sonuç, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir. Uzun dönemli denge ilişkisinin F testi ile doğrulanmasının ardından, kısa ve uzun dönemdeki parametre tahminlerinin yapılabilmesi için uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada değişkenler farklı gecikme kombinasyonları altında test edilmiş ve model seçimi yapılırken AIC, SIC ve HQ bilgi kriterleri esas alınmıştır (Pesaran vd., 2001: 289-292). Analiz neticesinde maksimum gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiş ve en uygun modelin ARDL (1,0) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İlgili modelin tahmin sonuçları ise Tablo 5’te sunulmaktadır.

düzeltilme mekanizması kapsamında elde edilen ECM(-1) katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, modelde meydana gelen kısa dönemli şokların uzun dönemde dengeye doğru düzeltileceğini göstermektedir. Ayrıca, hata düzeltme katsayısının -

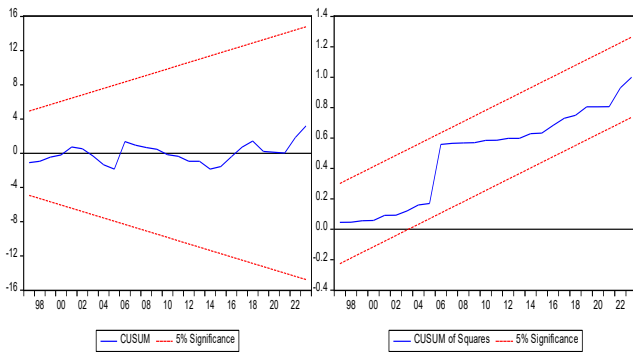
0,797 olması, kısa dönemli sapmaların yaklaşık %79'unun bir yıl içinde ortadan kalktığını işaret etmektedir.

Uzun dönem katsayılar incelendiğinde İnsani Gelişme Endeksi'nin gelir eşitsizliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir. **Yani insani gelişmede meydana gelen %1'lik bir artış, gelir eşitsizliğini yaklaşık %0,074 oranında azaltmaktadır.** Ayrıca, kısa dönem katsayıları incelendiğinde uzun dönem sonuçlarını destekleyen bulgular elde edilmiştir. Sonuçlar, İnsani Gelişme Endeksi'nin gelir eşitsizliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönlü bir etkisi olduğunu göstermektedir. Buna göre, insani gelişmede meydana gelen %1'lik bir artış, gelir eşitsizliğini kısa dönemde yaklaşık %0,059 oranında azaltmakta ve bu etki uzun dönem bulgularıyla da tutarlılık göstermektedir.

Bu bulgular, İnsani Gelişme Endeksi'nin sadece insani refah açısından değil, **gelir dağılımının iyileştirilmesi açısından da önemli bir rol üstlendiğini** ortaya koymaktadır. İGE düzeyindeki artışlar, uzun dönemde GINI katsayısında azalmaya neden olmakta, bu da ülkedeki gelir eşitsizliğinin azalmasını yardımcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar kurulan ARDL modelinin istatistiksel olarak güvenilir ve teorik açıklamalarla da tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu analizlere ilişkin modelden elde edilen uzun dönem katsayılarının istikrarlı olup olmadığını incelemek amacıyla gerçekleştirilen CUSUM ve CUSUMQ testlerinin sonuçları Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3

CUSUM ve CUSUMQ Grafikleri



Şekil 3'teki CUSUM ve CUSUMQ test grafiklerinin incelendiğinde artıkların %5'lik güven aralığı sınırları içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda modelde kullanılan değişkenler açısından anlamlı bir yapısal kırılmanın bulunmadığını ve uzun Dönemli Katsayıların İstikrarlı Olduğunu Sonucunu Varılmıştır.

5. Sonuç

Çalışmada, "Türkiye'de gelir eşitsizliği ve insani gelişme arasında uzun dönemli bir ilişki var mıdır?" sorusuna yönelik cevap aranmaktadır. Bu sorunun cevabına yönelik olarak Türkiye'nin 1990-2023 dönemine ait Gini katsayısı ve İnsani Gelişme Endeksi (İGE) verileri kullanılarak ampirik bir analiz yapılmıştır. Ampirik analiz sürecinde öncelikle ADF ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri uygulanmış sonuçlar Gini değişkeninin düzeyde durağan, İGE'nin ise birinci farkta durağan olduğu tespit edilmiştir. Değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olması nedeniyle, aralarındaki olası uzun dönemli ilişkiyi incelemek için ARDL sınır testi yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yöntemle yapılan sınama sonucunda, değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme ilişkisinin mevcut olduğu tespit edilmiştir.

ARDL sınır testinde elde edilen sonuca göre İnsani Gelişme Endeksi'nde (İGE) yaşanan %1'lik bir artış, gelir eşitsizliğinde

yaklaşık %0,074 oranında azalmaya neden olmaktadır. Bu bulgu, insani gelişmenin artmasının toplum içindeki gelir dağılımını daha dengeli hale getirdiğini ve eşitsizliği azaltıcı bir etkiye bulunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçları hem teorik beklenti ile uyumlu hem de önceki ampirik çalışmalardan Mahbub ul Haq (1992), Grimm vd. (2006), Durgun ve Durgun (2023), Öztürk ve Oktar (2017), Aydın (2019), Keleş (2023) çalışmalarını destekler niteliktedir. Bu yönüyle çalışma gelir eşitsizliği ve insani gelişme arasındaki negatif yönlü ilişkiyi tespit eden ampirik literatüre katkı sunmaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar göre Türkiye örneğinde İnsani Gelişme Endeksi'nin yalnızca bireysel refah ve yaşam kalitesinin bir göstergesi olmanın ötesinde, toplumsal gelir eşitsizliğini azaltma noktasında da işlevsel bir araç olduğunu göstermektedir. Bu durum, kalkınma politikalarının yalnızca ekonomik büyümeyi değil, aynı zamanda insani gelişme boyutunu da gözeterek kurgulanması gerektiğine işaret etmektedir. İnsani gelişmişlik düzeyinin artması gelir dağılımının iyileştirilmesi açısından kritik bir öneme sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu bağlamda politika yapıcılarının gelir dağılımındaki adaletsizliği azaltmak için yapacağı çalışmalarda insani gelişmişliği göz önünde bulundurmaları önem arz etmektedir.

Bu çerçevede, eğitim ve sağlık alanlarında eşitlikçi politikaların hayata geçirilmesi, bölgesel kalkınma projelerinin güçlendirilmesi ve dezavantajlı grupların iş gücüne katılımını artıracak önlemlerin alınması hem insani gelişmişliği artıracak hem de gelir dağılımındaki adaletsizliklerin azaltılmasına katkıda bulunacaktır. Ayrıca, sosyal transfer mekanizmalarının etkin kullanımı da kısa vadede gelir eşitsizliklerini hafifletici bir araç olarak önem taşımaktadır.

Bu bulgular, insani gelişmenin yalnızca bireylerin yaşam kalitesini yükselten bir gösterge olmadığını, aynı zamanda toplumsal gelir dağılımını iyileştirici bir unsur olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Böylece, Türkiye örneğinde insani gelişme ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkinin negatif yönlü olduğu ampirik olarak doğrulanmıştır. Bu sonuç, literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlıdır; ancak Türkiye'ye özgü dönemseliliğin dikkate alması bakımından farklılaşmaktadır.

Araştırma sorusuna verilen yanıt, kalkınma politikalarının sadece ekonomik büyüme hedefiyle sınırlı tutulmaması, eş zamanlı olarak insani gelişme boyutunun da gözetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen bulgular literatüre önemli katkılar sunmakla birlikte, ileride yapılacak araştırmaların daha geniş veri setleri, farklı değişkenler ve ülke karşılaştırmalarıyla konuyu ele alması, mevcut bulguların sağlamlığını test etmeye ve literatüre daha geniş bir perspektif kazandırmaya yardımcı olacaktır.

Kaynakça

- Aghion, P., and Howitt, P. (2009). *The Economics of Growth*. The MIT Press.
- Akkaya, Ş., and Oğhan, V. (2020). Küreselleşme Sürecinde Servet Dağılımı Açısından Veraset ve İntikal Vergisi. *Maliye Çalışmaları Dergisi – Journal of Public Finance Studies*, 63: 1–17. <https://doi.org/10.26650/mcd2020-810716>
- Aktan, C. C. (2002). *Yoksullukla Mücadele Stratejileri*. Ankara: Hak-İş Konfederasyonu Yayınları.
- Asandaş, N., and Işık, N. (2021). Ekonomik Kalkınma ve Gelir Dağılımının Yoksulluk Üzerindeki Etkisi: Ekonometrik Bir Analiz. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3): 101–116.
- Atkinson, A. B. (2015). *Inequality: What Can Be Done?* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Aydın, M. (2019). İnsani Gelişme ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 7(4): 106–122.

- Bucak, Ç., and Saygılı, F. (2022). Ticari Açıklık, Gelir Eşitsizliği ve İnsani Gelişme İlişkisi: Panel Veri Analizi. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 13(2): 23-41.
- Diamond, P. (2006). Optimal Tax Treatment of Private Contributions for Public Goods with and without Warm Glow Preferences. *Journal of Public Economics*, 90(4-5): 897-919.
- Dinler, Z. (2011). İktisada Giriş. Bursa: Ekin Yayınevi.
- Durgun Kaygısız, A. (2018). Yoksulluk ve Gelir Eşitsizliğinin Dinamikleri: Seçilmiş Avrupa ve Merkez Asya Ülkeleri Üzerine Dinamik Panel Veri Analizi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 6(15): 161-174.
- Durgun, B. (2021). Gelir Dağılımı - İnsani Gelişme İlişkisi: Türkiye ve Seçilmiş Ülke Örnekleri (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Durgun, B., and Durgun, Ö. (2023). Gelir Eşitsizliği ve İnsani Gelişme İlişkisi: Türkiye Örneği. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1): 11-38.
- Ergül, İ. N., and Çakır, B. (2019). Inequality in Turkey: Looking Beyond Growth. *arXiv preprint arXiv:1910.11780*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.11780>
- Erkul, E., and Demir-Erkul, F. (2019). An Examination of Income Distribution and Poverty Statistics Related to Turkey and Chile in the Neoliberal Policy Framework. *Sosyoekonomi*, 27(39): 11-38
<https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2019.01.01>
- Grimm, M., Harttgen, K., Klasen, S., and Misselhorn, M. (2006). A Human Development Index by Income Groups (Human Development Report Office Occasional Paper 2006/7). United Nations Development Programme.
- Gujarati, D. (2015). Örneklerle Ekonometri (N. Bolatoğlu, Çev.). Ankara: BB101 Yayınları.
- Günay, E. K., and Topbaş, F. (2021). Impact of Income Distribution Inequality on the Human Development Index: Panel Data Analysis for BRICS Countries. *Akademik Hassasiyetler - The Academic Elegance*, 8(17): 247-257.
- Haq, M. ul. (1992). Human Development Report 1992. United Nations Development Programme. Oxford University Press.
- Kakwani, N., and Pernia, E. M. (2000). What is Pro-Poor Growth? *Asian Development Review*, MPRA Paper No. 104987. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/104987/>
- Karahanogulları, Y., and Türk, D. (2018). Siyasal Bedenin Maliyesi: Piketty, Rousseau ve Neoliberalizm. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 2018 Özel Sayısı: 1-22.
- Kaya, A., Demirgil, B., and Yeter, F. (2025). Dış Borçların Sürdürülebilirliği: Türkiye için Ekonometrik Bir Analiz. *Uluslararası İktisadi ve İdari Akademik Araştırmalar Dergisi*, 5(1): 92-109.
<https://www.ijerdersi.com>
- Keleş, S. S. (2023). Gelir Eşitsizliği ve İnsani Gelişme İlişkisi: Türkiye Örneği. In A. Incekara and S. A. Oktar (Eds.), *Cumhuriyetin 100. Yılında Türkiye Ekonomisi* (ss. 453-462). İstanbul: İstanbul University.
- Kılıç, R., and Gökçeli, E. (2024). Gelir Eşitsizliğine İnsani Gelişme Endeksi Yönüyle Yeni Bir Bakış Açısı. *KAÜİİBFD*, 15(29): 214-242.
<https://doi.org/10.36543/kauibfd.2024.009>
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45(1): 1-28.
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin: Springer.
- Narayan, P. K. (2005). The Saving and Investment Nexus for China: Evidence from Cointegration Tests. *Applied Economics*, 37(17): 1979-1990.
- Öztürk, E., and Oktar, S. (2017). Kalkınma-Gelir Eşitsizliği İlişkisi: Türkiye Örneği. *Akademik Hassasiyetler - The Academic Elegance*, 4(8): 1-22.
- Öztürk, N., Kaya, A., and Acar, O. (2025). İktisadi Kalkınmada Kamu Borçlarının Rolü (Türkiye Örneği). İstanbul: Ekin Yayınevi.
- Öztürk, S., and Çınar, U. (2018). Kamu Dış Borçlanması ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Uygulama (1975-2016). *Sosyal Bilimler Metinleri*, 2018(01).
- Pesaran, M. H., Shin, Y., and Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3): 289-326.
- Piketty, T. (2014). *Capital in the Twenty-First Century* (A. Goldhammer, Çev.). Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Stiglitz, J. E. (2012). *The Price of Inequality: How Today's Divided Society Endangers Our Future*. W. W. Norton & Company.
- Tao, Y., Wu, X., Zhou, T., Yan, W., Huang, Y., Yu, H., Mondal, B., and Yakovenko, V. M. (2017). Exponential Structure of Income Inequality: Evidence from 67 Countries. *arXiv preprint arXiv:1612.01624*.
- UNDP (United Nations Development Programme). (2020). *Human Development Report 2020: The Next Frontier - Human Development and the Anthropocene*. United Nations Development Programme.
<https://hdr.undp.org/>
- Üzümcü, A., and Korkat, M. (2014). Türkiye'de Gelir Dağılımı Adaletsizliği ve Yoksullukla Mücadelede Sosyal Yardımların Gelişimi (2003-2012). *KAU İİBF Dergisi*, 5(8): 135-166.



Embracing the Unruly: Rethinking Informal Settlements Through Shifting Perceptions

Asi Olanı Kucaklamak: Algıları Değiştirerek Gayri Resmi Yerleşimleri Yeniden Düşünmek

Ola K. ESMail¹

¹ Ain Shams University, Cairo/Egypt, ola.khaled.esmail@eng.asu.edu.eg

ABSTRACT

This research paper challenges conventional urban planning approaches by advocating for the integration of informal settlements. Drawing a novel parallel between the evolving societal acceptance of curly hair and the shifting perceptions of informal settlements, the paper argues that both have been historically marginalized due to perceptions of disorder and incompatibility with established norms. However, a paradigm shift is occurring, with curly hair now celebrated for its individuality and natural beauty, mirroring a growing recognition of the resilience, creativity, and valuable contributions of informal settlements to urban life. The paper explores this evolving narrative, advocating for inclusive urban planning strategies that actively engage residents of informal settlements, recognizing their strengths, and promoting equitable and sustainable urban development. Through a conceptual framework utilizing the curly hair metaphor, the paper outlines advocacy strategies—including storytelling, education, and community-led action—to achieve this transformative shift in perception and practice.

Keywords: *Informal Settlements, Urban Planning, Inclusion, Societal Perception, Paradigm Shift*

ÖZET

Bu araştırma makalesi, gayri resmi yerleşimlerin entegrasyonunu savunarak geleneksel kentsel planlama yaklaşımlarına meydan okuyor. Kıvrık saçların toplumdaki evrimleşen kabulü ile gayri resmi yerleşimlere ilişkin değişen algılar arasında yeni bir paralellik kuran makale, her ikisinin de düzensizlik algıları ve yerleşik normlarla uyumsuzluk nedeniyle tarihsel olarak dışlandığını savunuyor. Ancak, kıvrık saçların artık bireyselliği ve doğal güzelliğiyle kutlandığı, gayri resmi yerleşimlerin kentsel yaşama sağladığı direncin, yaratıcılığın ve değerli katkıların giderek daha fazla tanınmasıyla bir paradigma değişimi yaşanıyor. Makale, bu gelişen anlatıyı inceliyor, gayri resmi yerleşim sakinlerini aktif olarak dahil eden, güçlü yönlerini tanıyan ve adil ve sürdürülebilir kentsel gelişimi teşvik eden kapsayıcı kentsel planlama stratejilerini savunuyor. Kıvrık saç metaforunu kullanan kavramsal bir çerçeve aracılığıyla makale, algı ve uygulamada bu dönüştürücü değişimi başarmak için hikâye anlatımı, eğitim ve topluluk liderliğindeki eylem dahil olmak üzere savunuculuk stratejilerini ana hatlarıyla açıklıyor.

Anahtar Kelimeler: *Gayriresmi Yerleşimler, Kentsel Planlama, Dahil Etme, Toplumsal Algı, Paradigma Değişimi*

ARTICLE INFO

Article History

Received: March 06, 2025

Accepted: May 25, 2025

Article Type

Research Article

Responsible Author

Ola K. ESMail

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 06 Mart 2025

Kabul Tarihi: 25 Mayıs 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Ola K. ESMail

1. Introduction

The cultural perception of curly hair provides a compelling analogy for the evolving discourse surrounding informal settlements in urban planning. Historically, curly hair was often stigmatized as unmanageable and undesirable, reflecting a broader societal preference for smooth, straight hair as the conventional standard of beauty (Karpe, 2020; Peacock, 2019). However, contemporary perspectives have shifted significantly, with curly hair now

increasingly celebrated as a symbol of individuality, natural aesthetics, and self-acceptance (Darden, 2019). This attitudinal transformation mirrors the changing perspectives on informal settlements, which, like curly hair, have historically been viewed as disorganized and incompatible with the ideals of structured urban development (Jones, 2019). Consequently, these areas have often been marginalized in formal planning processes and perceived as problematic enclaves within the urban fabric (UNHCR, 2024).

In parallel with the growing societal appreciation for the uniqueness of curly hair, there is an emerging recognition of the inherent potential and significance of informal settlements (Esmail, 2023; Jones, 2017; Kably, 2015; Rosner-Manor et al., 2020; Suhartini and Jones, 2019). This paradigm shift reflects a broader movement toward inclusivity, sustainability, and the valorization of diversity in urban development strategies (Abunyewah et al., 2014; Azunre et al., 2021; Brugmann, 2010; Chege and Mwisukha, 2013; Fahmi and Sutton, 2006, 2010; Mahabir et al., 2016; Malecki and Ewers, 2007; Samson, 2010). This article examines the reciprocal relationship between the acceptance of curly hair and the integration of informal settlements, positing that elements once relegated to the margins can be reconceptualized as sources of strength, innovation, and urban dynamism. Informal settlements have long been marginalized in urban planning, frequently relegated to the status of problems to be managed or eradicated, rather than being acknowledged as integral components of urban development. Characterized by inadequate infrastructure, a lack of formal property rights, and limited access to essential services, these areas have historically been excluded from formal planning frameworks (Jones, 2017). Instead of being recognized as dynamic spaces fostering resourcefulness and community resilience (Marx et al., 2024), informal settlements have often been stigmatized as chaotic and unsustainable environments (Dovey and King, 2011; Esmail, 2023). This systemic exclusion has exacerbated urban inequality, with residents facing constrained opportunities for socioeconomic advancement and integration into broader urban structures (Grant, 2010).

Given the continued expansion of urban populations globally, and the significant proportion of residents residing in informal settlements (UN-Habitat, 2008, 2020; UN-STATS, 2018), there is an exigent need to reevaluate prevailing narratives and planning methodologies. This paper underscores the critical importance of this paradigm shift, advocating for a more inclusive and equitable approach to urban development—one that recognizes the inherent value and potential of informal settlements. Just as societal perceptions of natural curly hair have evolved to celebrate its uniqueness, urban planning practices must increasingly appreciate the diversity, creativity, and innovation embedded within informal settlements.

The integration of these areas into formal planning processes is crucial for enhancing the quality of life for their residents and fostering sustainable, equitable urban growth in the face of global challenges. This research advocates for a fundamental shift in perspective, moving away from viewing informal settlements as problematic anomalies toward recognizing them as dynamic, resourceful, and integral components of urban life. Therefore, this study addresses the central research question: How can urban planning leverage the strengths and resilience of informal settlements to cultivate more equitable and sustainable urban environments, drawing parallels between societal shifts in the perception of curly hair and the evolving understanding of informal settlements? The paper will explore how embracing the strengths and contributions of informal settlements can lead to more equitable, sustainable, and innovative urban futures, ensuring that marginalized communities are actively engaged in shaping the cities of tomorrow, rather than remaining on the periphery.

2. Historical Perceptions and Social Context

The historical perception of curly hair has been significantly influenced by societal beauty standards that favored smooth, straight hair as the ideal (Johnson et al., 2017). This preference led to curly hair being viewed as unruly, difficult to manage, and inherently undesirable, mirroring broader cultural norms that equated straight hair with sophistication and conformity. This bias often pressured individuals with curly hair to alter their natural texture, leading to

feelings of inadequacy and exclusion. This narrative perpetuated the idea that deviation from accepted norms equated to disorder and imperfection.

This negative perception of curly hair parallels the historical view of informal settlements in urban planning. Like curly hair, informal settlements, characterized by self-built homes, inadequate infrastructure, and informal governance, have been seen as chaotic and incompatible with formal urban development (Arefi, 2011). These settlements were often excluded from formal planning processes, viewed as messy spaces requiring remediation or eradication, much like curly hair was once seen as something to be controlled.

However, societal attitudes toward curly hair have transformed remarkably. Curly hair is now celebrated for its natural beauty and individuality, reflecting a broader movement toward embracing diversity and challenging narrow beauty standards. Media representation and cultural influencers have supported this shift, recognizing curly hair as a symbol of pride and self-expression (Drumond, 2020). This rejection of rigid norms signifies a significant advancement toward inclusivity and self-acceptance.

A similar evolution is occurring in the narrative surrounding informal settlements. As urbanization accelerates, urban planners and policymakers are increasingly acknowledging the resilience and contributions of informal settlements (Cociña and Landesman, 2024). Like curly hair, these settlements possess inherent value, fostering social networks and contributing to local economies. They are now seen as dynamic and essential components of urban life rather than marginal entities. According to Satterthwaite et al. (2020), informal settlements are vulnerable due to substandard housing, infrastructure, and limited governance capacity.

This parallel reflects a broader societal shift toward inclusivity and equity. Both curly hair and informal settlements have faced rejection, shaped by norms that prioritized conformity. Today, as curly hair is increasingly valued, informal settlements are beginning to be recognized as vibrant spaces that contribute to the dynamism of cities. This transformation challenges exclusionary practices and advocates for urban planning approaches that embrace diversity and complexity. As noted by Lupala (2002), recommendations for neighborhood design in informal African cities include localized planning and improved information management systems.

The growing acceptance of both signifies a broader cultural transformation that celebrates authenticity and non-conformity as sources of strength. By transcending outdated ideals, society can cultivate a more inclusive understanding of identity and urban life. In both cases, what was once stigmatized has emerged as a symbol of resilience and growth, representing a profound redefinition of societal values.

3. The Evolution of Urban Planning and Informal Settlements

Throughout much of the 20th century, informal settlements were systematically excluded from formal urban planning processes due to perceptions of chaos and incompatibility with modern urban development ideals. These areas, characterized by self-constructed housing, inadequate infrastructure, and informal governance structures, were often associated with poverty and illegal land occupation (Tacoli et al., 2014). This exclusionary approach led to policies aimed at eradication or forced relocation, neglecting their ingenuity and resourcefulness (Cities Alliance, 2023), and exacerbating social and spatial divides by denying residents access to essential services and legal rights (Grant, 2010).

However, the narrative surrounding informal settlements has evolved in recent years. They are now increasingly acknowledged for their resilience and contributions to local economies and cultural

diversity. Contemporary approaches emphasize integrating these settlements into broader planning objectives, focusing on upgrading infrastructure and securing land rights (Satterthwaite et al., 2018). This shift reflects a movement toward inclusivity and equity in urban development, viewing informal settlements as spaces to be enhanced rather than eradicated.

Incorporating informal settlements into formal urban planning can unlock innovative solutions for sustainable urban development. These settlements often demonstrate remarkable adaptability and resilience, serving as testing grounds for new urban technologies and governance models. For instance, they provide valuable insights into low-cost, community-driven infrastructure projects that prioritize local needs and capacities. Additionally, including informal settlements in the formal planning process can facilitate a more equitable distribution of resources, fostering environments that are inclusive, vibrant, and capable of addressing the challenges posed by rapid urbanization. The integration of informal settlements into urban development strategies holds significant potential for improving living conditions while cultivating more diverse, sustainable, and dynamic urban environments. By acknowledging the contributions of these areas, cities can move away from exclusionary practices and advance toward more inclusive development models that celebrate resilience, innovation, and community-driven solutions.

4. Embracing the Potential of Informal Settlements

Informal settlements often demonstrate remarkable resilience, creativity, and resourcefulness in response to limited resources. Confronted with infrastructure deficiencies and socio-economic challenges, residents implement innovative solutions to meet their needs, transforming these areas into vibrant and dynamic communities (see Esmail, 2023). Furthermore, informal settlements possess intrinsic value derived from their capacity to adapt and thrive in conditions of scarcity (Dodman et al., 2023). For instance, residents in many informal communities construct homes using locally available materials, establish informal markets, and develop community-driven systems of governance and service provision (Cociña et al., 2024). These adaptive strategies highlight the ingenuity that emerges when individuals are empowered to leverage local knowledge in navigating complex challenges.

Recognizing these attributes can facilitate the development of more inclusive and innovative urban solutions. Instead of viewing informal settlements as areas requiring repair or control, urban planners can regard these communities as models of resilience, drawing upon their local knowledge to create sustainable and adaptive urban environments (UN-Habitat, 2010). This shift in perspective, which embraces the unique characteristics of informal settlements, can yield urban solutions that are both innovative and grounded in the realities of the residents. Much like the celebration of curly hair's natural texture as a sign of authenticity, the resourcefulness of informal settlements can be viewed as a valuable asset for promoting more dynamic, responsive, and inclusive urban planning.

Informal settlements make substantial social and economic contributions to urban life, yet these contributions are frequently overlooked in traditional urban planning frameworks (Agyabeng et al., 2022). These communities serve as hubs of local entrepreneurship, where residents operate small-scale businesses that provide essential goods and services to their neighborhoods (see Esmail, 2023). Such businesses often fulfill unmet needs, functioning in ways that formal markets cannot, and thus play a vital role in sustaining urban economies. From street vendors and informal traders to micro-enterprises in sectors such as construction, transportation, and food production, informal economies provide livelihoods for millions and serve as crucial components of urban economic systems.

Beyond their economic contributions, informal settlements foster cultural vibrancy, serving as sites of rich social interaction, community-building, and identity formation. The strong social networks within these settlements enhance community cohesion, providing social capital that facilitates the informal exchange of goods, services, and information (see Esmail, 2023). However, traditional urban planning frameworks often fail to recognize these valuable social and economic dynamics, focusing primarily on formal economic sectors and physical infrastructure.

5. Inclusivity and Equity in Urban Planning

Inclusive governance is essential for achieving equitable urban development, particularly in addressing the needs of marginalized communities residing in informal settlements (Otsuki, 2016). Similar to the cultural shift toward embracing diverse hair textures, which necessitated the development of new frameworks for acceptance and celebration, urban planning must adopt governance models that prioritize the participation of historically excluded populations. Traditional urban planning processes have often marginalized informal communities, resulting in a lack of representation in decision-making processes that affect their neighborhoods (GTZ, 2009). This exclusion has perpetuated inequities, reinforcing patterns of social and spatial marginalization.

Equity and sustainability are interrelated objectives in urban development (Dsouza et al., 2023). Achieving a fair and just urban future requires ensuring that all communities, including those in informal settlements, have access to the same opportunities and resources as more affluent areas. At the same time, sustainability in urban planning necessitates acknowledging the contributions of informal settlements, where residents often adopt sustainable practices out of necessity (Nassar and Elsayed, 2018). Examples of such practices include recycling, resource-sharing, and low-impact construction methods. By integrating these practices into formal urban planning and ensuring equitable access to sustainable infrastructure, cities can foster inclusive, resilient, and sustainable urban environments.

6. A Conceptual Framework: Redefining the Perception of Informal Settlements

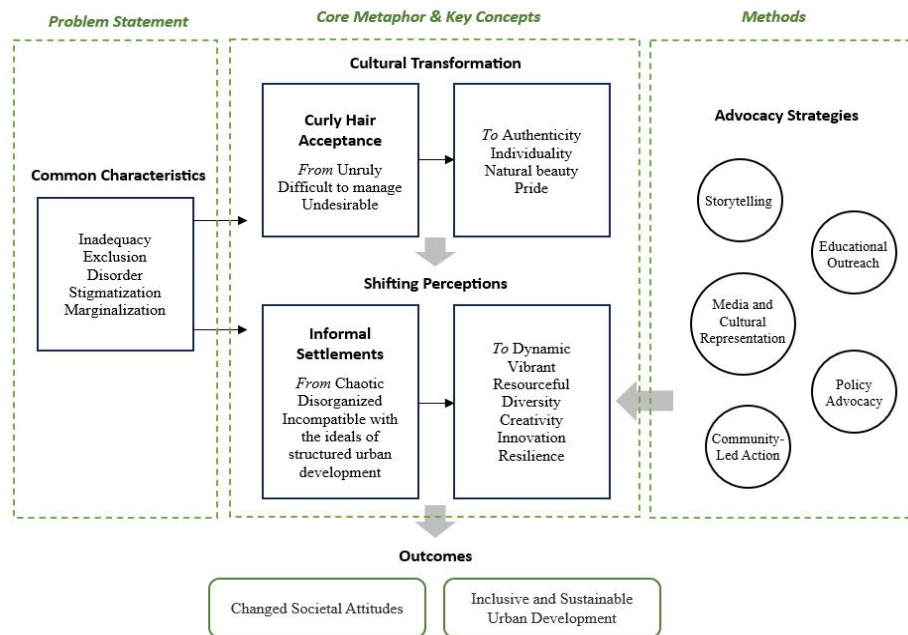
The central concept of this framework draws a parallel between curly hair and informal settlements, employing the metaphor of curly hair to symbolize authenticity, individuality, and the transition from marginalization to celebration. Historically, curly hair has been stigmatized and undervalued in a manner similar to the exclusion and oversight of informal settlements within urban development paradigms. Nevertheless, both curly hair and informal settlements are inherently dynamic and resourceful, offering unique contributions to their respective environments. This framework (shown in Figure 1) aims to challenge and transform perceptions of informal settlements, advocating for a shift from viewing them as sites of exclusion and stigma to recognizing them as valuable and integral components of urban life. This transformative process is inspired by the cultural evolution of curly hair, which has increasingly been celebrated for its beauty and significance.

Additionally, this framework utilizes a creative metaphor to deepen the understanding of societal stigma, marginalization, and transformation. By contrasting the acceptance of curly hair with the reimagining of informal settlements, it underscores how analogous processes—such as shifting perceptions, advocacy, and the celebration of intrinsic value—can facilitate meaningful change across diverse contexts. In both cases, emphasis is placed on reclaiming spaces—personal and urban—while challenging exclusionary norms to promote inclusivity, pride, and equity.

The following sub-sections discuss in more detail the different phases of the proposed framework that aim to shift perceptions about informal settlements.

Figure 1

A diagram showing the proposed conceptual framework for redefining informal settlements



Source: Author

6.1. Core Metaphor: Curly Hair Acceptance ↔ Reimagining Informal Settlements

This metaphor establishes a parallel between societal perceptions of marginalized beauty standards, such as curly hair, and the treatment of informal settlements. Natural curly hair has historically faced stigmatization, particularly within communities of African descent, where it has often been labeled as "unruly" or "unprofessional." This stigma necessitates a narrative shift toward celebrating curly hair as beautiful and natural. Similarly, informal settlements are frequently characterized as "chaotic," "undesirable," or "illegal," with their residents often excluded from formal urban planning processes. Reimagining these spaces requires acknowledgment of their intrinsic value, resilience, and the innovative social systems that support them. This metaphor effectively underscores the emotional and structural transformations needed in both contexts—reclaiming beauty, dignity, and worth in areas where society has previously imposed shame.

6.2. Problem Statement: Historical Stigmatization and Exclusion of Both

The challenge arises from the historical stigmatization and systemic exclusion experienced by both curly hair and informal settlements. Curly hair has been marginalized through racial hierarchies, colonial beauty standards, and the forced assimilation of minority groups, wherein the notion of "straight hair as professional" within corporate environments reinforces existing biases. Likewise, informal settlements are frequently labeled as illegitimate or illegal by urban authorities, neglecting the socio-economic forces that give rise to these communities and the agency of their residents in creating sustainable lives. For instance, in Brazil, favelas are often perceived as dangerous and unsanitary spaces that require demolition or "regularization," a process that parallels societal pressures to "regularize" or straighten curly hair. Both scenarios emphasize the

necessity to re-examine narratives shaped by power dynamics that perpetuate exclusion and stigma.

6.3. Key Concepts: Marginalization → Perception Shift → Celebration of Value

Both curly hair and informal settlements have undergone marginalization, shifts in perception, and eventual acknowledgment of their inherent value. Curly hair has often been depicted as deviant or undesirable in media, beauty industries, and societal norms, resulting in internalized shame among individuals. For instance, hair relaxers were marketed as products that facilitated acceptance within "mainstream" beauty standards and professional environments. Similarly, informal settlements have been characterized as failures of urban development, often disregarded in policy-making and denied access to essential services such as water and electricity. Areas like Kibera in Nairobi and Dharavi in Mumbai face forced evictions under the pretext of "urban renewal" (Al Faraby, 2021).

A shift in perception necessitates challenging prevailing norms and narratives. For curly hair, social media movements, such as the "Natural Hair Movement," and hashtags like #BlackGirlMagic have empowered individuals to reclaim their natural curls as beautiful (Simeon, 2021). In the context of informal settlements, urban design interventions highlight their vibrancy and resourcefulness. Medellín, Colombia, exemplifies this transformative approach through its "urban acupuncture" projects, which introduced integrated transportation systems and community spaces within hillside informal settlements, fostering a sense of pride among residents (Guerra, 2014).

Both processes lead to the celebration of inherent value. Today, curls are celebrated in fashion, art, and corporate diversity efforts, while informal settlements are increasingly recognized for their innovation, culture, and resilience. For example, Rio de Janeiro's favelas are now celebrated for their rich cultural contributions, including samba and street art, transforming societal perceptions of these once-stigmatized spaces (Olavarria-Berenguer, 2014).

6.4. Methods: Advocacy Strategies

The transformation process necessitates strategies that address stigma and exclusion while promoting participation in both contexts. Storytelling plays a crucial role in this endeavor, as personal narratives empower individuals and reshape perceptions (Vickers, n.d.). For instance, books such as “The Story of My Hair” center around curly-haired protagonists, while films like “City of God” humanize informal settlements and expose systemic inequalities. Similarly, media representation contributes to normalizing diversity and dismantling stigma (APA, 2024); advertising, film, and social media have spotlighted the beauty of natural curls, while platforms like Humans of Bombay share the lived experiences and ingenuity of residents in informal settlements.

Education is another vital tool for challenging exclusionary norms. Schools can implement policies that embrace natural hair rather than penalizing it, such as anti-discrimination laws. Furthermore, urban planning courses can incorporate participatory design and studies of informal economies to counter biases towards informal settlements. Engaging with policy-making facilitates structural change by prohibiting discrimination and enhancing living conditions. For example, laws like California’s CROWN Act protect individuals with natural hair in workplaces and schools (Tong, 2024), while policies supporting participatory slum upgrading initiatives—such as formalizing land tenure and improving infrastructure—enhance the quality of life in informal settlements (Handzic, 2010).

Finally, community participation empowers individuals to take an active role in developing solutions (Ahmad and Islam, 2024). Online communities allow individuals to embrace their natural curls and exchange care tips, fostering pride and confidence (Haaruun and Watson, 2014). Similarly, residents of informal settlements actively participate in co-designing solutions for housing and infrastructure challenges. For instance, Thailand’s Baan Mankong program supports collective upgrading projects driven by community priorities, ensuring that changes reflect the needs and aspirations of those affected (Archer, 2012). Together, these strategies address stigma, foster inclusion, and pave the way for societal transformation.

6.5. Outcomes

The outcomes of these transformative processes lead to changes in societal attitudes as well as more inclusive and sustainable urban development. In terms of societal attitudes, both movements promote inclusive mindsets by challenging stigma and fostering appreciation. For curly hair, increased acceptance reshapes beauty norms by celebrating diversity and natural expression. In the context of informal settlements, shifting perspectives from exclusion to inclusion encourages equitable urban development by acknowledging the dignity and value of these communities.

At a structural level, inclusive and sustainable urban development is achieved when cities recognize the creativity and resourcefulness inherent in informal settlements. This recognition allows residents to gain access to basic services, secure housing, and economic opportunities while integrating these informal spaces into urban planning processes, treating them as contributors to urban life rather than as liabilities. For instance, Cape Town’s “re-blocking” initiative has reorganized informal settlements to enhance living conditions and improve access to infrastructure while preserving essential community networks. These outcomes illustrate the power of inclusion in fostering social equity, sustainability, and transformative change.

7. Conclusion and Recommendations

This research paper compellingly argues for a paradigm shift in urban planning, advocating for the integration of informal settlements as vital and valuable components of the urban fabric. Drawing a powerful parallel between the evolving societal acceptance of curly hair and the changing perspectives on informal settlements, the paper highlights the shared history of marginalization, the inherent resilience and innovation within both, and the potential for transformative change through inclusive and equitable urban development practices.

Historically, both curly hair and informal settlements have been viewed as problematic, messy, and incompatible with societal norms and ideals of order. However, a significant cultural shift has occurred, with curly hair now celebrated for its natural beauty, individuality, and uniqueness. This parallel shift is proposed as a model for rethinking informal settlements. Rather than viewing these settlements as obstacles requiring eradication or control, the paper suggests recognizing their dynamic nature, creativity, resourcefulness, and significant economic and social contributions to urban life.

Integrating informal settlements into formal urban planning processes requires a move towards inclusive governance models that prioritize participation from the residents themselves. By acknowledging the inherent value and strength of these communities, urban planners can leverage their ingenuity and adaptability to create more sustainable, equitable, and innovative urban environments. This includes addressing issues of infrastructure, land tenure, and access to essential services, but also goes beyond the physical to recognize the social and cultural richness that informal settlements bring to the broader urban landscape.

The paper concludes by advocating for a conceptual framework that celebrates diversity, embraces resilience, and prioritizes equity. This framework uses the evolving perception of curly hair as a powerful metaphor to guide a transformative shift in urban planning, ultimately leading to more inclusive and sustainable urban futures. The methods outlined, including storytelling, education, advocacy, and community participation, are crucial steps in achieving this transformative vision. Accordingly, the following policy recommendations could be used to ensure inclusive urban development:

- *Formal Recognition and Integration:* Implement policies that formally recognize informal settlements as integral components of the urban fabric, moving away from viewing them as problems to be eradicated. This includes incorporating them into city-wide planning initiatives and service delivery frameworks. This can be achieved by conducting comprehensive surveys and mapping of informal settlements to gather data on demographics, infrastructure, and socio-economic conditions, amending existing urban planning laws and regulations to include provisions for the recognition and integration of informal settlements, and allocating dedicated budget lines for upgrading and providing services to informal settlements within municipal budgets.
- *Inclusive Governance Models:* Promote governance models that prioritize the active participation of residents from informal settlements in decision-making processes that affect their communities. This can be achieved through community consultations, participatory budgeting, and the establishment of community representation in local governance structures. Actions include establishing community forums or advisory boards in informal settlements to ensure residents have a voice in local governance, implementing participatory budgeting processes where residents can directly influence how public funds are allocated for projects in their communities, and

providing training and capacity-building programs for residents to enhance their skills in community organizing, advocacy, and leadership.

- *Land Tenure Security*: Formalize land tenure in informal settlements to provide residents with security and stability, enabling them to invest in their homes and communities without fear of eviction. This can involve issuing titles, long-term leases, or other forms of secure tenure that recognize residents' rights. Actions to achieve this include implementing land regularization programs to grant residents secure tenure rights, such as issuing titles or long-term leases, establishing clear and transparent procedures for land titling and registration that are accessible to residents of informal settlements, and providing legal assistance and support to residents navigating the land regularization process.
- *Infrastructure and Service Provision*: Allocate resources for upgrading infrastructure and providing essential services, such as water, sanitation, electricity, and waste management, in informal settlements. Ensure that these services are accessible, affordable, and sustainable, meeting the specific needs of the residents. This can be achieved by developing infrastructure upgrading plans in consultation with residents to ensure projects meet their specific needs and priorities, investing in the construction and rehabilitation of water, sanitation, electricity, and waste management systems in informal settlements, and partnering with local NGOs and community-based organizations to deliver essential services and promote community ownership of infrastructure projects.
- *Economic Empowerment*: Support local entrepreneurship and economic development in informal settlements by providing access to credit, training, and market opportunities. Recognize and integrate informal economies into broader urban economic systems, acknowledging their vital role in providing livelihoods and sustaining urban economies. This can be achieved by establishing microfinance programs and providing access to credit for small businesses and entrepreneurs in informal settlements, creating vocational training and skills development programs to enhance the employability of residents, and

facilitating market linkages and provide support for informal businesses to access formal markets and supply chains.

- *Promote Education and Awareness*: Integrate educational content and awareness programs in the urban planning courses to address biases and promote the understanding of informal settlements. Actions to achieve this include developing educational materials and campaigns to raise awareness among the public and policymakers about the value and potential of informal settlements, integrating case studies and best practices of inclusive urban development into urban planning curricula, and organizing study tours and exchange programs for urban planners and policymakers to visit and learn from successful integration initiatives in other cities.
- *Celebrate Cultural Contributions*: Recognize and celebrate the social and cultural richness of informal settlements, promoting cultural exchange and integration with the broader urban landscape. This can be achieved by supporting community-led cultural events and festivals that showcase the traditions, arts, and heritage of informal settlements, establishing cultural centers and community spaces in informal settlements to promote artistic expression and cultural exchange, and recognizing and protecting cultural heritage sites and landmarks within informal settlements.
- *Anti-Discrimination Laws*: Enact and enforce anti-discrimination laws, such as California's CROWN Act, to protect the rights and dignity of residents in informal settlements. Actions to achieve this include enacting comprehensive anti-discrimination laws that protect the rights and dignity of residents in informal settlements, addressing issues such as housing, employment, and access to services, establishing mechanisms for reporting and addressing discrimination complaints, and conducting public awareness campaigns to promote tolerance and understanding of diversity in urban areas.

These policy recommendations collectively aim to foster a more inclusive, equitable, and sustainable approach to urban development, recognizing the inherent value and potential of informal settlements as dynamic and integral parts of the urban environment.

References

- Abunyewah, M., Ackuayi, E. D., and Nana, O. A. (2014). The Economic Dimensions of Slums in the Kumasi Metropolis, Ghana. *Research on Humanities and Social Sciences*, 4(20): 68-81.
- Agyabeng, A. N., Peprah, A. A., Mensah, J. K., and Mensah, E. A. (2022). Informal Settlement and Urban Development Discourse in the Global South: Evidence from Ghana. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 76(4): 242-253.
- Ahmad, I. and Islam, M. R. (2024). Empowerment and Participation: Key Strategies for Inclusive Development, In *Building Strong Communities: Ethical Approaches to Inclusive Development* (pp. 47-68). England: Emerald Publishing Limited.
- Al Faraby, J. (2021). *Streets in Informal Settlements-Design, Community, and Power in Indonesian Kampung*. Doctoral Dissertation. United Kingdom: Cardiff University.
- APA (2024). *Stigma, Prejudice and Discrimination Against People with Mental Illness*. <https://www.psychiatry.org/patients-families/stigma-and-discrimination> (Access Date: 17.12.2024).
- Archer, D. (2012). Baan Mankong Participatory Slum Upgrading in Bangkok, Thailand: Community Perceptions of Outcomes and Security of Tenure. *Habitat International*, 36(1): 178-184.
- Arefi, M. (2011). Order in Informal Settlements: A Case Study of Pinar, Istanbul. *Built Environment*, 37(1): 42-56.
- Azunre, G. A., Amponsah, O., Takyi, S. A., and Mensah, H. (2021). Informality-Sustainable City Nexus: The Place of Informality in Advancing Sustainable Ghanaian Cities. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102707.
- Brugmann, J. (2010). *Welcome to the Urban Revolution: How Cities are Changing the World*. United States: Bloomsbury Publishing.
- Chege, P. W., and Mwisukha, A. (2013). Benefits of Slum Tourism in Kibera Slum in Nairobi, Kenya. *International Journal of Arts and Commerce*, 2(4): 94-102.
- Cities Alliance (2023). *Can the Urban Poor Afford Sustainable Construction?* https://www.citiesalliance.org/sites/default/files/2023-12/Cities_Alliance_Can%20the%20Poor%20Afford%20Sustainable%20Construction.pdf (Access Date: 17.12.2024).
- Cociña, C. and Landesman, T. (2024). Better Cities II: Transforming Informal Settlements on a Warming Planet. *iiid*. <https://www.iiid.org/better-cities-ii-transforming-informal-settlements-warming-planet> (Access Date: 17.12.2024).
- Cociña, C., Mardon, M., and Frediani, A. A. (2024). Building Resilient Homes in Informal Settlements: Understanding Access to Building Materials in Freetown and Harare. *iiid*. <https://www.iiid.org/building-resilient-homes-informal-settlements> (Access Date: 17.12.2024).
- Darden, T. (2019). *African American Women's Perceptions of Self-Value in the Transition to Natural Hair*. Doctoral Dissertation. United States: Walden University.
- Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Castán Broto, V., Chow, W., Chu, E., Dawson, R., Khirfan, L., McPhearson, T., Prakash, A., Zheng, Y., and Ziervogel, G. (2023). *Cities, Settlements and Key Infrastructure, In Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Report #: 6*.

- Dovey, K., and King, R. (2011). Forms of Informality: Morphology and Visibility of Informal Settlements. *Built Environment*, 37(1): 11-29.
- Drumond, S. E. (2020). *Hair: How Naturals Are Using Social Media to Reshape the Narrative and Visual Rhetoric of Black Hair*. https://nsuworks.nova.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=hc_as_etd_all/ (Access Date: 17.12.2024).
- Dsouza, N., Devadason, A., Senerat, A. M., Watanatada, P., Rojas-Rueda, D., and Sebag, G. (2023). Sustainability and Equity in Urban Development (S&EUD): A Content Analysis of "Bright Spots" From the Accelerating City Equity (ACE) Project. *Sustainability*, 15(9): 7318.
- Esmail, O. K. A. (2023). *Cairo's Self-Planned Communities: Stigmatization, Representations, and Actions from Below*. Master Dissertation. Italy: Politecnico di Torino.
- Fahmi, W. S., and Sutton, K. (2006). Cairo's Zabaleen Garbage Recyclers: Multi-Nationals' Takeover and State Relocation Plans. *Habitat International*, 30(4): 809-837.
- Fahmi, W., and Sutton, K. (2010). Cairo's Contested Garbage: Sustainable Solid Waste Management and the Zabaleen's Right to the City. *Sustainability*, 2(6): 1765-1783.
- Grant, U. (2010). *Spatial Inequality and Urban Poverty Traps*. United Kingdom: Overseas Development Institute.
- GTZ (2009). *Cairo's Informal Areas Between Urban Challenges and Hidden Potentials*. https://www.academia.edu/2484752/Cairo_s_Informal_Areas_Between_Urban_Challenges_and_Hidden_Potentials (Access Date: 07.07.2025).
- Guerra, M. I. (2014). *Regulating Neglect: Territory, Planning, and Social Transformation in Medellín, Colombia*. United States: University of California.
- Haarun, A., and Watson, M. (2014). Digital Beauty: Screening Black Hair in Cyberspace, In *Crafting Allure: Beauty, Culture and Identity* (pp. 99-113). Netherlands: Brill Publishers.
- Handzic, K. (2010). Is Legalized Land Tenure Necessary in Slum Upgrading? Learning From Rio's Land Tenure Policies in the Favela Bairro Program. *Habitat International*, 34(1): 11-17.
- Jones, P. (2017). Formalizing the Informal: Understanding the Position of Informal Settlements and Slums in Sustainable Urbanization Policies and Strategies in Bandung, Indonesia. *Sustainability*, 9(8): 1436.
- Jones, P. (2019). The Shaping of Form and Structure in Informal Settlements: A Case Study of Order and Rules in Lebak Siliwangi, Bandung, Indonesia. *Journal of Regional and City Planning*, 30(1): 43-61.
- Johnson, A.M., Godsil, R.D., MacFarlane, J., Tropp, L.R. and Goff, P.A. (2017). The "Good Hair" Study: *Explicit and Implicit Attitudes Toward Black Women's Hair*. <https://perception.org/wp-content/uploads/2017/01/TheGood-HairStudyFindingsReport.pdf> (Access Date: 16.12.2024).
- Kably, A. A. (2015). Learning From Self-Planned Communities. *Transformation of the Urban Character of Arab Cities Since the Late Last Century*, 101, 101.
- Karpe, V. (2020). The Politics of Having Curly Hair. *Bell Magazine*. <https://belluwmadison.wordpress.com/2020/11/07/the-politics-of-having-curly-hair/> (Access Date: 16.12.2024).
- Lupala, J. M. (2002). *Urban Types in Rapidly Urbanizing Cities*. Doctoral Dissertation. Sweden: KTH Royal Institute of Technology.
- Mahabir, R., Crooks, A., Croitoru, A., and Agouris, P. (2016). The Study of Slums as Social and Physical Constructs: Challenges and Emerging Research Opportunities. *Regional Studies, Regional Science*, 3(1): 399-419.
- Malecki, E. J., and Ewers, M. C. (2007). Labor Migration to World Cities: With a Research Agenda for the Arab Gulf. *Progress in Human Geography*, 31(4): 467-484.
- Marx, C., Elorduy, N., and Sinha, N. (2024). *Urban Informality and the Built Environment*. United Kingdom: UCL Press.
- Nassar, D. M., and Elsayed, H. G. (2018). From Informal Settlements to Sustainable Communities. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4): 2367-2376.
- Olavarria-Berenguer, L. (2014). The Favelas of Rio de Janeiro: A Study of Socio-Spatial Segregation and Racial Discrimination. *Revista Iberoamericana de Estudios de Desarrollo = Iberoamerican Journal of Development Studies*, 3(1): 104-134.
- Otsuki, K. (2016). Infrastructure in Informal Settlements: Co-Production of Public Services for Inclusive Governance. *Local Environment*, 21(12): 1557-1572.
- Peacock, T. N. (2019). *African American Hair and Beauty: Examining Afrocentricity and Identity through the Reemergence and Expression of Natural Hair in the 21st Century*. Master's Dissertation. United States: University of South Carolina.
- Rosner-Manor, Y., Borghini, S. G., Boonstra, B., and Silva, P. (2020). Adaptation of the Urban Codes—A Story of Placemaking in Jerusalem. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(2): 251-267.
- Samson, M. (2010). Reclaiming Reusable and Recyclable Materials in Africa. *A Critical Review of English Language Literature*. WIEGO Working Paper (Urban Policies) No 16.
- Satterthwaite, D., Archer, D., Colenbrander, S., Dodman, D., Hardoy, J., and Patel, S. (2018). *Responding to Climate Change in Cities and in Their Informal Settlements and Economies*. Canada: International Institute for Environment and Development.
- Satterthwaite, D., Archer, D., Colenbrander, S., Dodman, D., Hardoy, J., Mitlin, D., and Patel, S. (2020). Building Resilience to Climate Change in Informal Settlements. *One Earth*, 2(2): 143-156.
- Simeon, A. (2021). Politics, Policy, & Social Media: How Natural Hair Has Influenced a Generation. *Refinery29*. <https://www.refinery29.com/en-us/natural-hair-industry-history-evolution> (Access Date: 17.12.2024).
- Suhartini, N., and Jones, P. (2019). *Urban Governance and Informal Settlements*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- Tacoli, C., McGranahan, G., and Satterthwaite, D. (2014). World Migration Report 2015: Urbanization, Rural-urban Migration and Urban Poverty. *International Organization for Migration (IOM)*. https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbd1486/files/our_work/ICP/MPR/WMR-2015-Background-Paper-CTacoli-GMcGranahan-DSatterthwaite.pdf (Access Date: 17.12.2024).
- Tong, V. (2024). The California CROWN Act and Discrimination in the Workplace. *Tong Law*. <https://www.tong-law.com/california-crown-act/#:~:text=Banning%20Bias%20Against%20Natural%20Hair,braids%2C%20twists%2C%20and%20locks> (Access Date: 17.12.2024).
- UN-Habitat (2008). *Housing for All: The Challenges of Affordability, Accessibility and Sustainability*. Human Settlement Finance and Policies.
- UN-Habitat (2010). *Planning Sustainable Cities: UN-Habitat Practices and Perspectives*. Kenya: UN Habitat.
- UN-Habitat (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*. Kenya: United Nations Human Settlement Programme.
- UNHCR (2024). *Informal Settlements*. <https://emergency.unhcr.org/emergency-assistance/shelter-camp-and-settlement/settlements/informal-settlements> (Access Date: 16.12.2024).
- UN-STATS (2018). *The Sustainable Development Goals Report*. United Nations Statistics Division. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2018/overview> (Access Date: 15.12.2024).
- Vickers, S. (n.d.). Changing the Stigma...Empowering Care Experienced (LAC) for a Better Future by Susan Vickers. *Susan Vickers Foundation*. <https://susanvickers.com/susan-vickers-foundation/changing-the-stigma-empowering-care-experienced-lac-for-a-better-future-by-susan-vickers> (Access Date: 17.12.2024).