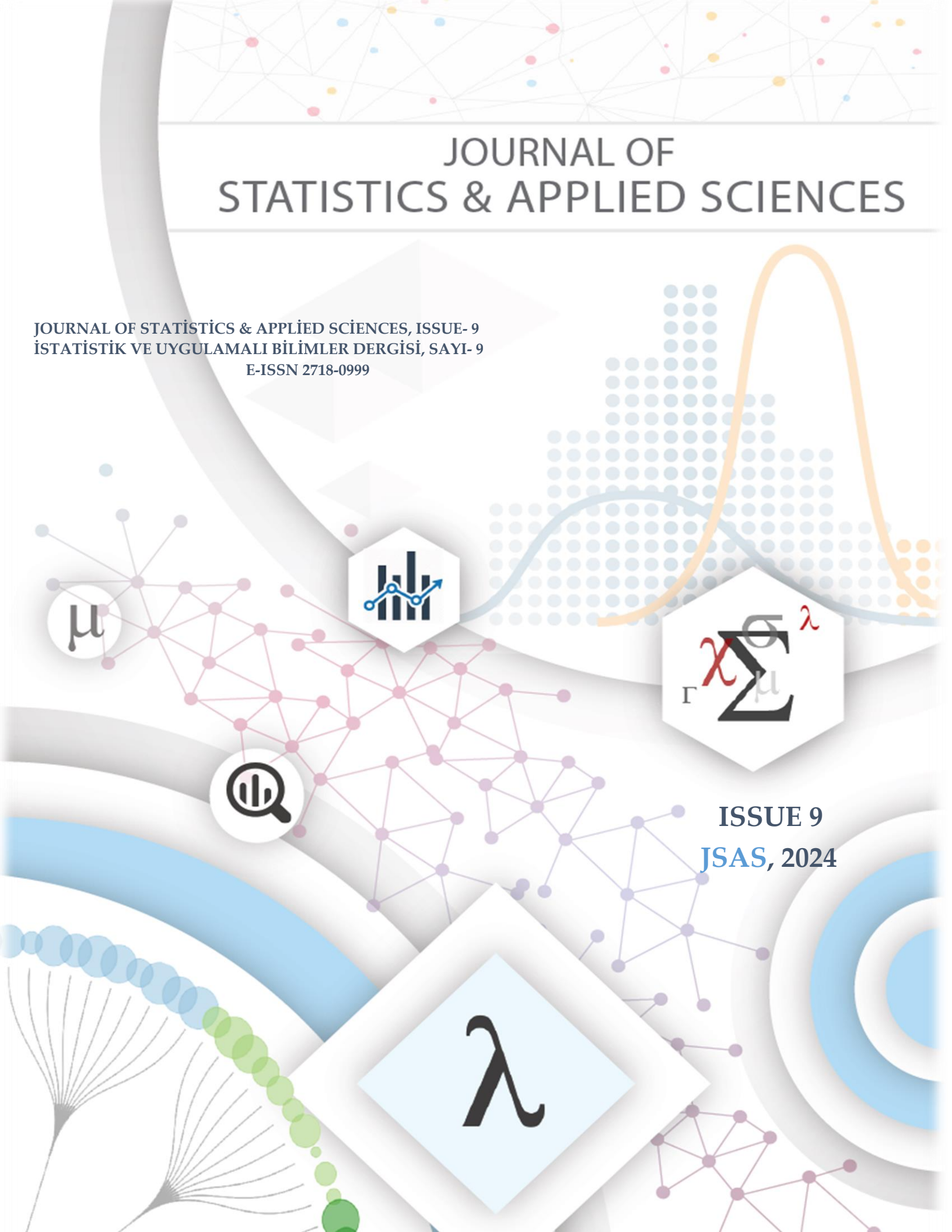


JOURNAL OF STATISTICS & APPLIED SCIENCES

JOURNAL OF STATISTICS & APPLIED SCIENCES, ISSUE- 9
İSTATİSTİK VE UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ, SAYI- 9
E-ISSN 2718-0999

ISSUE 9
JSAS, 2024





Journal of Statistics & Applied Sciences, Issue - 9
ISSN 2718-0999

-JOURNAL OF STATISTICS & APPLIED SCIENCE- -İSTATİSTİK VE UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ-

Aralık 2023

Issue: 9

Sayı: 9

İmtiyaz Sahibi / Owner

Abdulkadir KESKİN

Baş Editör / Editor in- Chief

Dr. Abdulkadir KESKİN

Yayın Türü: 6 Aylık, Uluslararası, Hakemli

Publication Type: 6 Monthly, International, Refereed

e-ISSN: 2718-0999

Dizinleme Bilgileri/ Abstracting and Indexing Services

İletişim / Contact

E-posta: jsas.journal@gmail.com

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

BİLİM VE DANIŞMA KURULU

Prof. Dr. Serpil AKTAŞ ALTUNAY,	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Filiz KARAMAN,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Serhat YÜKSEL,	İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Ersoy ÖZ,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Dursun YENER,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Atıf Ahmet EVREN,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Serpil KILIÇ DEPREN,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Abdulkadir ATALAN,	ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Akansel YALÇINKAYA,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Ömer BİLEN,	BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Muhammed Fevzi ESEN,	SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Yavuz ÖZDEMİR,	İSTANBUL SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Hasan ŞAHİN,	BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Erhan ÇENE,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Kemal Gökhan NALBANT,	BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Elif TUNA,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Şahika ÖZDEMİR,	İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
Dr. Mustafa DEMİRBİLEK,	GAZİANTEP İSLAM BİLİM ve TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Sevim ÖZULUKALE DEMİRBİLEK,	YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Adilson SİLVA,	CAPE VERDE ÜNİVERSİTESİ
Dr. Fatma Rabia AKTAŞ ŞENKARDEŞLER	BEYKOZ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Abdurrahman KESKİN	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
Dr. Tutku SEÇKİN ÇELİK,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Burak LEBLEBİCİOĞLU,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Batuhan ÖZKAN,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Coşkun PARİM,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Egemen ÖZKAN,	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. İrfan ERSİN,	İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
Dr. Enes FİLİZ,	BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
Dr. Hasan Aykut KARABOĞA,	AMASYA ÜNİVERSİTESİ
Dr. Hasan DİLBAŞ,	VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Dr. Mohamed AHMED,	AL MADİNA HİGHER INSTITUTE FOR MANAGEMENT
Dr. Sinan ATAER,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Yavuz Selim HATİPOĞLU	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
Dr. Müge YETKİN ATAER,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Gözde NALBANT EFE,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. İrem BATIBAY TÜNAYDIN,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Mustafa YAPAR,	RECEP TAYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Burcu KUZUCU YAPAR,	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Tarık TALAN,	GAZİANTEP İSLAM BİLİM ve TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Çağatay TEKE,	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
Dr. Bayram DÜNDAR,	BARTIN ÜNİVERSİTESİ

EDİTÖR KURULU

Dr. Abdulkadir KESKİN	Baş Editör	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Abdulkadir ATALAN	Yardımcı Editör	ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
Dr. Mehmet Şamil GÜNEŞ	Yardımcı Editör	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Enes FİLİZ	Uygulamalı İstatistik Alan Editörü	BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
Doç. Ahmet Atıf EVREN	Teorik İstatistik Alan Editörü	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Egemen ÖZKAN	Risk Analizi Alan Editörü	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Burak LEBLEBİCİOĞLU	Sosyal Bilimler Alan Editörü	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Yasemin Ayaz ATALAN	Mühendislik Alan Editörü	YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Bayram DÜNDAR	Mühendislik Alan Editörü	BARTIN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Çağatay TEKE	Mühendislik Alan Editörü	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
Dr. Tarık TALAN	Eğitim Bilimleri Alan Editörü	GAZİANTEP İSLAM BİLİM ve TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
Robert RODGERS	Sağlık Bilimleri Alan Editörü	ALLEGHENY HEALTH NETWORK
Berat KARA	Yayın Editörü	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Abdurrahman KESKİN	Yayın Editörü	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
Dr. Recep Uğurcan ŞAHİN	Mizanpaj Editörü	YALOVA ÜNİVERSİTESİ

YABANCI DİL EDİTÖRLERİ

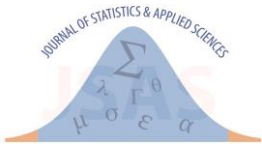
Dr. Batuhan ÖZKAN,	Türkçe Dili Editörü	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Tutku SEÇKİN ÇELİK	Yabancı Dil Editörü (İngilizce)	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
Dr. Ahmet Furkan EMREHAN	Yabancı Dil Editörü (İngilizce)	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Umut ÜNAL	Yabancı Dil Editörü (İngilizce)	İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ



İÇİNDEKİLER (CONTENT)

ARAŞTIRMA MAKALELERİ (RESEARCH ARTICLES)

Cost Estimation with Statistical Optimization in Production Facilities	1-18
Üretim Tesislerinde İstatistiksel Optimizasyon ile Maliyet Tahmini	
Hatice Mine Saban, Hasan Şahin, Abdülkadir Atalan	
The Impact of Budget Revenue and Expenditure Forecasting Errors on Inflation in Turkey: An Analysis of the 1975-2021 Period	19-28
Türkiye'de Bütçe Gelir ve Harcama Tahmin Hatalarının Enflasyona Etkisi: 1975-2021 Dönemi Analizi	
Berat Kara	
Evaluation of the Influence of Machining Parameters on Average Thrust Force and Delamination Factor in Drilling Fiber Metal Layer (FML) Composites and Multi-Criteria Optimization with ARAS Method	29-44
Elyaf Metal Tabakalı (FML) Kompozitlerin Delinmesinde Ortalama İtme Kuvveti ve Delaminasyon Faktörü Üzerinde İşleme Parametrelerinin Etkilerinin Değerlendirilmesi ve ARAS Yöntemiyle Çok Kriterli Optimizasyonu	
Ali Rıza Motorcu, Ergün Ekici, Gültekin Uzun	
An Application on the Jackknife and Bootstrap Method	45-56
Jackknife ve Bootstrap Yöntemlerine İlişkin Bir Uygulama	
Elif Biçer, Hamit Mirtağoğlu, Canan Demir, Sıddık Keskin, Yıldırım Demir	
The Impact of Budget Revenue and Expenditure Forecasting Errors on Inflation in Turkey: An Analysis of the 1975-2021 Period	57-66
Türkiye'de Bütçe Gelir ve Harcama Tahmin Hatalarının Enflasyona Etkisi: 1975-2021 Dönemi Analizi	
Gökhan Özdemir, Semih Önüt	
turkeyelections: The Most Comprehensive Initial R Package Developed on Election Results in Turkey	67-76
turkeyelections: Türkiye'deki Seçim Sonuçları Üzerine Geliştirilmiş En Kapsamlı İlk R Paketi	
Ozancan Özdemir	
Collaborative Truck/Drone Routing Problem: An Application to Disaster Logistics	77-94
İnsansız Kara ve Hava Aracı Rotalama Problemleri: Afet Lojistiği Üzerine Bir Uygulama	
Alparslan Güzey, Mehmet Hakan Satman	
Examining the Time-Dependent Asymmetric Effects of Participation Banking on Industrial Production in Türkiye	95-105
Türkiye'de Katılım Bankacılığının Sanayi Üretimi Üzerindeki Zamana Bağlı Asimetrik Etkilerinin İncelenmesi	
Abdurrahman Temel, İsmail Canöz	



Derleme Makale (Review Article)

Statistical Studies on Occupational Diseases and Occupational Accidences: Literature Review

Meslek Hastalıkları ve İş Kazaları ile İlgili İstatistiksel Çalışmalar: Literatür Taraması

106-121

Metin Berk Çetin, Yavuz Özdemir, Mustafa Yıldırım, Mehmet Alp Aytekin



ÖNSÖZ

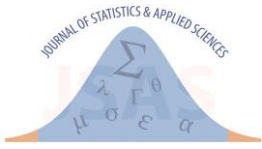
Sayın Okurlar,

İstatistik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi'nin dokuzuncu sayısına hoş geldiniz. Bu sayıda, üretim tesislerinde maliyet tahmininden Türkiye'de bütçe tahmin hatalarının enflasyona etkisine, kompozitlerin delinmesinde işleme parametrelerinin değerlendirilmesinden Jackknife ve Bootstrap yöntemlerinin uygulamalarına, turkeyelections R paketinin geliştirilmesinden afet lojistiğine ve katılım bankacılığının sanayi üretimine etkilerine kadar çok çeşitli konuları kapsayan zengin bir araştırma makalesi koleksiyonu sunulmaktadır. Ayrıca, meslek hastalıkları ve kazalarla ilgili istatistiksel çalışmalar hakkında kapsamlı bir derleme makalesi de yer almaktadır. Değerli katkıları için yazarlara ve anlayışlı geri bildirimleri için hakemlerimize teşekkür ederiz. Bu sayının istatistik ve uygulamalı bilimler alanında değerli görüşler ve ilerlemeler sağlamlasını umuyoruz.

Keyifli okumalar dileriz!

Saygılarımızla,

Dr. Abdulkadir Keskin



PREFACE

Dear Readers,

Welcome to the ninth issue of the Journal of Statistics & Applied Sciences. This edition presents a rich collection of research articles covering a wide range of topics, from cost estimation in production facilities to the impact of budget forecasting errors on inflation in Turkey, evaluation of machining parameters in drilling composites, applications of Jackknife and Bootstrap methods, development of the turkeyelections R package, disaster logistics, and the effects of participation banking on industrial production. Additionally, a comprehensive review article on statistical studies of occupational diseases and accidents is featured. We thank the authors for their valuable contributions and our reviewers for their insightful feedback. We hope this issue provides valuable insights and advances in the field of statistics and applied sciences.

We wish you pleasant reading!

Regards,

Dr. Abdulkadir Keskin

Research Article

Received: date: 22.12.20223

Accepted: date: 09.02.2024

Published: date: 30.06.2024

Üretim Tesislerinde İstatistiksel Optimizasyon ile Maliyet Tahmini

Hatice Mine Saban^{1*}, Hasan Şahin² Abdulkadir Atalan³

¹ Bursa Technical University, Department of Industrial Engineering, Bursa Türkiye; mineanil4@gmail.com

² Bursa Technical University, Department of Industrial Engineering, Bursa Türkiye; h.sahin@btu.edu.tr

³ Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Industrial Engineering, Çanakkale Türkiye; abdulcadir.atalan@comu.edu.tr

Orcid: 0009-0000-3840-9731¹ Orcid: 0000-0002-8915-000X² Orcid: 0000-0003-0924-3685³

*Correspondence: mineanil4@gmail.com

Öz: Üretim tesisleri üretim maliyetini minimize ve ürün satış miktarını maksimize etmeyi hedeflemektedirler. Bu çalışmada bir üretim tesisinden üretilen bir ürünün maliyetini minimize ve üretilen ürün miktarının maksimize olmasını sağlayan istatistiksel optimizasyon modeli geliştirilerek karar değişkenlerine ve amaç fonksiyonlarına ait optimum değerlerin hesaplanması amaçlanmıştır. Ürün maliyeti ve üretim miktarı üzerinde etkili olan yedi bağımsız değişkenler ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$) karar değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmanın yönteminde regresyon analizi yapılarak bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, regresyon analizi ile elde edilen regresyon denklemleri bağımsız değişkenlerin sahip olduğu limitler doğrultusunda amaç fonksiyonu olarak değerlendirilerek oluşturulan matematiksel model çözümlenmiştir. Optimizasyon modelinde elde edilen optimum değerlerin geçerliliklerini doğrulamak adına modele ait arzu edilebilirlik dereceleri hesaplanmıştır. Bu çalışma için tercih edilen ürün için y_1 (minimum üretim maliyeti) bağımlı değişken üzerinde sadece x_4 bağımsız değişkenin etkisi olmadığı tespit edilmiştir. y_2 (maksimum üretim miktarı) bağımlı değişken üzerinde ise tüm bağımsız değişkenlerin istatistiksel olarak etkili olduğu analiz edilmiştir. y_1 'in arzu edilebilirlik derecesi 0,96004 ve y_2 'nin arzu edilebilirlik derecesi 0,87392 olarak hesaplanmıştır. y_1 ve y_2 hedeflerini birleştiren composite arzu edilebilirlik derecesi 0,91600 olarak elde edilmiştir. Optimum değerler %95 tahmin (PI) ve güven (CI) aralıkları dikkate alınarak y_1 için 1568, 6TL, y_2 için 1713 adet olarak hesaplanmıştır. Karar değişkenleri olan $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ için optimum değerleri %95 tahmin ve güven aralıkları kapsamında sırasıyla J2, F3, H2, 63, 8, 1 ve 0 hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile geliştirilen istatistiksel optimizasyon modeli ile bir ürüne etki eden faktörlerin limitleri kapsamında optimum değerlerin elde edilmesi sağlayan önemli bir yöntem ileri sürülmüştür.

Anahtar kelimeler: maliyet, üretim miktarı, istatistiksel optimizasyon, doğrusal regresyon,

Cost Estimation with Statistical Optimization in Production Facilities

Abstract: Production facilities aim to minimize production costs and maximize product sales volume. This study aimed to calculate the optimum values of decision variables and objective functions by developing a statistical optimization model that minimizes the cost of a product produced in a production facility and maximizes the product production amount. Seven independent variables ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$) that has an impact on product cost and production quantity are defined as decision variables. In the method of the study, the effects of independent variables on dependent variables were examined by performing regression analysis. Additionally, the regression equations obtained by regression analysis were evaluated as objective functions in line with the

limits of the independent variables, and the mathematical model created was analyzed. The desirability degree of the model was calculated to verify the validity of the optimum values obtained in the optimization model. For this study, it has been determined that only the independent variable x_4 has no effect on the dependent variable y_1 (minimum production cost) for the preferred product. It was analyzed that all independent variables were statistically effective on the dependent variable y_2 (maximum production amount). The desirability degree of y_1 was calculated as 0.96004 and the desirability degree of y_2 was calculated as 0.87392. The composite desirability degree combining y_1 and y_2 targets was obtained as 0.91600. Optimum values were calculated as 1568.6 TL for y_1 and 1713 units for y_2 , taking into account the 95% prediction (PI) and confidence (CI) intervals. The optimum values for the decision variables $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6,$ and x_7 were calculated as J2, F3, H2, 63, 8, 1 and 0, respectively, within the scope of 95% PI and CI. As a result, with the statistical optimization model developed in this study, an important method has been put forward to obtain optimum values within the limits of the factors affecting a product.

Keywords: Cost, produce amount, statistical optimization, linear regression

1. Giriş

Üretim, ekonomik bir faaliyet olarak mal ve hizmetlerin yaratılması sürecini ifade eder [1]. Bu süreç, doğal kaynakların, emek gücünün ve sermayenin bir araya getirilerek, bir ürün veya hizmetin ortaya çıkmasını sağlar. Üretim; genellikle endüstriyel, tarımsal veya hizmet sektörlerinde gerçekleşebilir [2]. Tarih boyunca, üretim süreci ve üretim tesisleri, insanlık tarafından kullanılan teknoloji, bilgi ve organizasyonel yeteneklerin evrimine paralel olarak büyük değişimler geçirmiştir [3]. İnsanlık tarihinde, tarım devrimi ile üretim süreçleri önemli bir dönüşüm geçirdi. Tarımsal faaliyetlerin ortaya çıkmasıyla birlikte, insanlar toprak üzerinde ürün yetiştirmeye başladılar ve sabit yerleşim yerleri oluşturarak daha büyük ölçekli üretim tesisleri inşa etmeye başladılar [4]. Orta Çağ'da, zanaatkarlar ve loncalar aracılığıyla küçük ölçekli üretim tesisleri ortaya çıktı. Sanayi Devrimi ile birlikte ise buhar gücü, su gücü ve sonrasında elektrik enerjisi gibi yeni teknolojiler, üretim tesislerini büyük ölçekli ve daha etkili hale getirdi [5].

Birinci yüzyılın ortalarına gelindiğinde, otomasyon, bilgisayar teknolojileri ve küreselleşme gibi faktörler, üretim süreçlerini daha da hızlandırdı ve karmaşıktırdı. Büyük fabrikalar, seri üretim ve endüstriyel ölçek ekonomisi kavramları ortaya çıktı [6]. Bilgisayar kontrollü sistemler sayesinde üretim tesislerinde verimlilik artarken, lojistik ve iletişim teknolojileri de küresel ölçekte üretim ve dağıtım ağlarını geliştirdi [7]. Bugün, 21. yüzyılın başlarında, dijitalleşme, 3D yazıcılar, yapay zekâ ve sürdürülebilirlik gibi konseptler üretim süreçlerini şekillendirmekte ve geleceğin üretim tesislerini belirlemektedir [8]. Üretim tesisleri giderek daha esnek, çevre dostu ve teknoloji odaklı hale gelmektedir. Bu evrim, ekonomik ve toplumsal yapılar da önemli değişimlere yol açmış ve üretim süreçlerini sürekli olarak optimize etme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [9].

Üretimi etkileyen bir dizi faktör bulunmaktadır ve bunlar genellikle ekonomik, teknolojik, sosyal ve çevresel alanlarda çeşitlenir [10]. Birincil etkenlerden biri taleptir; talep, tüketici tercihleri, demografik faktörler ve pazar trendleri gibi dinamiklere bağlı olarak üretim düzeyini belirleyebilir [11]. Ayrıca, teknolojik gelişmeler de büyük bir etkiye sahiptir. Yeni üretim teknolojileri, verimliliği artırabilir, maliyetleri düşürebilir ve üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirebilir [12]. Ham madde ve enerji kaynakları da üretimi etkileyen temel faktörler arasında yer alır [13]. Hammaddelerin fiyatları, tedarik zinciri güvenliği ve enerji maliyetleri, üretim süreçlerinin karlılığını önemli ölçüde etkileyebilir [14].

Üretim maliyeti, üretim sürecinin finansal yükünü ifade eder ve bir dizi unsurdan oluşur. Bu unsurlar arasında işgücü maliyetleri, hammadde maliyetleri, enerji maliyetleri, tesis ve ekipman masrafları, vergiler ve lisanslar gibi giderler bulunmaktadır [15]. İşgücü maliyetleri, üretimde önemli bir paya sahiptir ve genellikle ülkeler arasında değişen işgücü piyasası şartlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir [16]. Hammadde maliyetleri, tedarik zinciri istikrarına, talep ve arza, doğal kaynakların sürdürülebilirliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir [17]. Enerji maliyetleri, üretim tesislerinin işleyişini ve ürünlerin üretilmesini sürdürmek için gereken enerji tüketimini yansıtır [18]. Bu unsurların toplamı, bir şirketin üretim maliyetini belirler ve bu maliyet, rekabet avantajını ve kâr marjını doğrudan etkiler. Bu nedenle, şirketler genellikle maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak için stratejiler

geliştirirler. Bu çalışmada bir ürünü etkileyen faktörlerin dikkate alındığı bir maliyet analizi yer almaktadır.

Bir ürünün satış miktarını maksimize etmek ve uzun süre piyasada tutmak, bir işletme için çeşitli avantajlara sahip olmayı sağlar [19]. İlk olarak, yüksek satış miktarları, şirketin gelirini artırır ve karlılığını güçlendirir. Bu, işletmenin sürdürülebilir bir mali yapı oluşturmasına yardımcı olur ve rekabetçi bir piyasada sağlam bir konum kazanmasına katkıda bulunur. Ayrıca, sürekli yüksek satışlar, bir ürünün popülerliğini ve talebini gösterir, bu da müşteri sadakatinin oluşmasına ve marka değerinin artmasına neden olmaktadır [20]. Uzun süre piyasada kalmak, tüketiciler arasında güvenilirlik ve istikrar izlenimi yaratır. Bu durum, markanın uzun vadeli başarı için güçlü bir temel oluşturmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, bir ürünün uzun ömürlülüğü, şirketin sürekli olarak müşteri ihtiyaçlarına uygun ürünler geliştirmesini ve pazar trendlerine adapte olmasını gerektirir [21]. Bu süreç, işletmeye gelecekteki talep değişikliklerine önceden uyum sağlama ve rekabet avantajını sürdürme fırsatı tanır. Ayrıca, uzun vadeli piyasa varlığı, müşteri ilişkilerini güçlendirme ve marka sadakatini artırma şansı sunar, çünkü tüketiciler zaman içinde bir markaya olan güvenlerini pekiştirme eğilimindedirler [22]. Sonuç olarak, ürün satışlarını maksimize etmek ve uzun süre piyasada kalmak, bir işletmenin finansal başarısı, marka değeri ve müşteri ilişkileri açısından kritik bir stratejidir.

Ürün maliyetini minimize ve satış miktarını maksimize etmek, bir şirketin rekabet avantajını artırması, kâr marjını iyileştirmesi ve sürdürülebilirliği sağlaması açısından kritik bir öneme sahiptir [23]. İstatistiksel yöntemler, şirketlerin üretim süreçlerini daha iyi anlamalarına ve yönetmelerine yardımcı olabilmektedir [24], [25]. Veri analizi ve istatistiksel modeller kullanılarak, üretim süreçlerindeki değişkenler ve ilişkiler daha iyi anlaşılabilir [26]. Bu durum, potansiyel maliyet sürücülerini belirlemek ve etkilerini değerlendirmek için önemlidir. Örneğin, üretim hatasını azaltmak veya üretim sürecini optimize etmek için istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Bu sayede, hammadde israfı, enerji tüketimi ve işgücü maliyetleri gibi faktörler kontrol altına alınarak ürün maliyeti düşürülebilmektedir [27].

Optimizasyon yöntemleri ise şirketlerin kaynakları en etkili ve verimli şekilde kullanmalarını sağlamaktadır [28]. Üretim süreçlerini optimize etmek için matematiksel modeller ve algoritmalar kullanılarak, maliyet minimizasyonu hedeflenir [29]. Bu durum, talep tahminleri, stok seviyeleri, üretim kapasiteleri ve tedarik zinciri yönetimi gibi faktörleri içeren karmaşık bir problemi çözmek için kullanılabilir. Optimizasyon, birden çok değişkenin etkileşimini dikkate alarak en uygun çözümü bulmayı amaçlamaktadır [30]. Bu, üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek, maliyetleri düşürür ve rekabet avantajı sağlar. İstatistiksel ve optimizasyon yöntemlerinin entegrasyonu, şirketlere daha bilinçli kararlar alma ve sürekli olarak maliyetleri kontrol altında tutma imkânı sunar, bu da uzun vadeli başarı için kritik bir faktördür [31]. Bu çalışmada istatistiksel optimizasyon yöntemi benimsenerek bir ürünün maliyetini ve ürün satış miktarını etkileyen faktörlerin istatistiksel analizlerinin yanı sıra optimum değerlerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışma beş farklı bölümden oluşmaktadır. Çalışmaya ait literatür taraması çalışmanın birinci bölümünde ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise geliştirilen yöntem hakkında bilgiler yer almaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümü konu kapsamında ve geliştirilen yöntemin uygulamasına ait bir vaka çalışması yer almaktadır. Vaka çalışmasına ait istatistiksel ve optimizasyon modelleme sonuçları çalışmanın dördüncü kısmında tartışılmıştır. Çalışmanın son kısmı ise çalışmanın konusu, yöntemi ve bilimsel katkısı bakımından genel görüşler içermektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada bir üretim tesisinde üretilen bir ürünün maliyetini minimize ve satış miktarını maksimize etmek için istatistiksel optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. İstatistiksel optimizasyon, bir sürecin veya sistemin performansını iyileştirmek amacıyla istatistiksel yöntemlerin ve matematiksel optimizasyon tekniklerinin birleştirildiği bir yaklaşımı ifade eder. Bu metodoloji, karmaşık sistemlerin anlaşılmasında ve optimize edilmesinde kullanılır. İlk olarak, sistem içindeki değişkenlerin istatistiksel analizleri yapılır ve bu analizler doğrultusunda matematiksel modeller oluşturulur. Daha sonra, bu modeller kullanılarak belirli bir hedef fonksiyonu optimize etmek üzere parametreler ayarlanır.

İstatistiksel optimizasyon, sürekli iyileştirmeler ve değişken koşullara uyum sağlama yeteneği sayesinde endüstriyel süreçler, üretim sistemleri, pazarlama stratejileri gibi birçok alanda kullanılabilir. İstatistiksel optimizasyonun avantajları arasında sürekli izleme ve ayarlama yeteneği, veri odaklı kararlar alma kabiliyeti ve süreç karmaşıklığına uyum sağlama esnekliği bulunmaktadır. Bu yöntem, sürekli değişen koşullara adapte olabilir ve süreç iyileştirmeleri için objektif ve veri destekli bir temel sunar. Ancak, dezavantajları da vardır. İstatistiksel optimizasyon genellikle yüksek hesaplama gücü ve karmaşıklık gerektirir. Ayrıca, modelleme aşamasında yanlış varsayımlar veya eksik veri problemleri, optimizasyonun doğruluğunu etkileyebilir. Bu nedenle, bu yöntemin başarıyla uygulanabilmesi için dikkatli bir veri analizi, modelleme süreci ve sonuçların doğrulanması gerekmektedir.

İstatistiksel optimizasyon modeli iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama bağımsız faktörlerin etkisini analiz etmenin yanı sıra optimizasyon modelinin amaçlarının ortaya çıkmasını sağlayan regresyon denklemlerinin oluşması için regresyon analizini içermektedir. Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi anlamak, açıklamak ve modellemek amacıyla kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz türü, bağımlı değişken ile bir veya birden çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ölçerek, değişkenler arasındaki matematiksel bağlantıyı tanımlamaya çalışır. Temelde, regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini değerlendirerek bir regresyon denklemi oluşturur. Regresyon denklemleri, matematiksel bir modelleme süreci ile elde edilir. Basit lineer regresyon durumunda, tek bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ifade eden bir doğru denklemi kullanılır [32]. Bu denklem genellikle;

$$y = \delta_0 + \sum_{j=1}^n \delta_j x_j + \epsilon \quad (1)$$

Formülüyle ifade edilir, burada y bağımlı değişkeni, x_j bağımsız değişkeni, δ_0 ve δ_j ise regresyon katsayılarını temsil eder. Regresyon hata payını ise ϵ terimi ile ifade edilmektedir. Regresyon analizi, bu katsayıların optimum değerlerini bulmaya çalışarak, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini en iyi şekilde açıklayan bir model oluşturur. Çoklu regresyon analizi ise birden çok bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini değerlendirmektedir [33]. Bu durumda, regresyon denklemi genellikle;

$$y = \delta_0 + \sum_{j=1}^n \delta_j x_j + \sum_{i < j} \sum \delta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklem, birden çok bağımsız değişkenin etkisini bir araya getirerek, bağımlı değişkenin varyansını açıklamaya çalışmaktadır. Regresyon analizi, istatistiksel ölçütler ve matematiksel tekniklerle, modelin uygunluğunu değerlendirir ve bu sayede verilerle uyumlu ve genelleme yapılabilir bir regresyon denklemi elde etmeyi amaçlar.

Çalışmanın ikinci kısmında ise optimizasyon modeli yer almaktadır. Optimizasyon modeli, belirli bir amacın veya hedefin en iyi şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak üzere tasarlanan bir matematiksel yapıdır. Bu modeller, genellikle sınırlı kaynaklar ve çeşitli kısıtlamalar altında, belirli bir hedefi en üst düzeye çıkarmak veya en alt düzeye indirmek için kullanılır. Doğrusal optimizasyon modeli ise, lineer matematiksel ilişkiler kullanılarak ifade edilen ve çözümlenmeye çalışılan bir tür optimizasyon modelidir. Doğrusal optimizasyon modelleri genellikle doğrusal denklemler ve eşitsizlikler kullanılarak temsil edilir. Bu modeller, bir dizi karar değişkeni ve bu değişkenlere uygulanan lineer kısıtlamalardan oluşur. Ayrıca, bir amaç fonksiyonu belirlenir ve bu fonksiyon genellikle maksimum veya minimum değeri almak üzere optimize edilmeye çalışılır. Doğrusal optimizasyon problemleri genellikle lineer programlama adı verilen bir matematiksel alt disiplin içinde incelenir. Bu tür modeller, lojistik, üretim, finans, taşıma ve diğer birçok endüstriyel ve iş süreçlerinde karar verme süreçlerini optimize etmek için yaygın olarak kullanılır. Lineer programlama, lineer bağlantılara sahip problemleri çözmek için etkili algoritmalar ve matematiksel teknikler geliştirmiştir ve bu nedenle birçok uygulama alanında büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada bir üretim tesisinde üretilen bir ürünün üretim maliyetini ve satış miktarını dikkate alan iki doğrusal optimizasyon modelinin oluşturulmuştur. İki farklı amacın tek bir optimizasyon modelinde açıklanması ile oluşacak optimizasyon modelinin doğrusal olmayan

bir optimizasyon modeline dönüşmektedir [34]. Bu sebeple bu çalışmada istatistiksel optimizasyon modeli aynı zamanda doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli olarak ele alınmıştır.

Bu çalışmada istatistiksel optimizasyon modeline ait optimum sonuçların geçerliliğini doğrulamak adına ayrıca arzuedilebilirlik (d ile ifade edilir) dereceleri hesaplanarak kontrol mekanizması oluşturulmuştur. Arzu edilebilirlik derecesi 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu derece 1'e yaklaştıkça elde edilen optimum değerlerin doğruluğu artmaktadır [35]. Yanıt optimizasyonu (Response optimizer), bir deneysel tasarım veya süreç iyileştirme çalışması sırasında bir dizi faktörün, değişkenin veya parametrenin optimize edilmesini amaçlayan bir tekniktir. Arzu edilebilirlik derecesi, belirli bir deney veya süreç koşulu için ne kadar arzu edilebilir olduğunu ifade eden bir ölçüdür. Bu derece, genellikle bir skor veya indeks olarak ifade edilir ve çeşitli faktörleri içeren bir çoklu kriter değerlendirmesini temsil eder. Arzu edilebilirlik derecesi genellikle şu adımları içerir:

Normalleştirme: Değerlendirilecek faktörlerin her biri, genellikle belirli bir aralıkta normalleştirilir. Bu, farklı birimlerde ölçülen faktörleri aynı ölçek üzerinde karşılaştırmayı mümkün kılar.

Ağırlıklandırma: Faktörler genellikle belirli bir öneme sahiptir, bu nedenle ağırlıklandırma yapılır. Örneğin, bir faktör diğerlerinden daha önemliyse, bu faktöre daha yüksek bir ağırlık atanır.

Toplama veya Çarpma: Ağırlıklandırılmış faktör değerleri toplanabilir veya çarpılabilir. Bu, arzu edilebilirlik skorunu elde etmek için kullanılır. Toplama genellikle çok kriterli karar verme durumlarında kullanılırken, çarpma daha yaygın olarak yanıt optimizasyonu gibi optimizasyon problemlerinde kullanılır.

Optimizasyon: Elde edilen arzu edilebilirlik skoru, genellikle maksimize edilmek üzere bir optimizasyon problemine giriş olarak kullanılır. Bu, belirli bir amaç fonksiyonunu optimize etmek için kullanılır. Bu adımların belirli bir problem bağlamında nasıl uygulanacağı, kullanılan metodolojiye ve probleme özgü gereksinimlere bağlı olarak değişmektedir. Özellikle yanıt optimizasyonu, istatistiksel yöntemleri ve matematiksel optimizasyon tekniklerini birleştirir, bu nedenle spesifik bir durumu değerlendirmek için belirli bir analiz yöntemine ihtiyaç duyabilir. Arzu edilebilirlik dereceleri aşağıdaki formüller kullanılarak elde edilmektedir [36]:

Amaç fonksiyonun maksimize olduğu durumda:

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i(x) < a_i \\ \left(\frac{y_i(x) - a_i}{\bar{u}_i - a_i}\right)^{k_1} & \text{if } a_i \leq y_i(x) \leq \bar{u}_i \\ 1 & \text{if } y_i(x) \geq \bar{u}_i \end{cases} \quad (3)$$

Amaç fonksiyonun minimize olduğu durumda:

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_i(x) < a_i \\ \left(\frac{a_i - y_i(x)}{\bar{u}_i - a_i}\right)^{k_2} & \text{if } a_i \leq y_i(x) \leq \bar{u}_i \\ 0 & \text{if } y_i(x) \geq \bar{u}_i \end{cases} \quad (4)$$

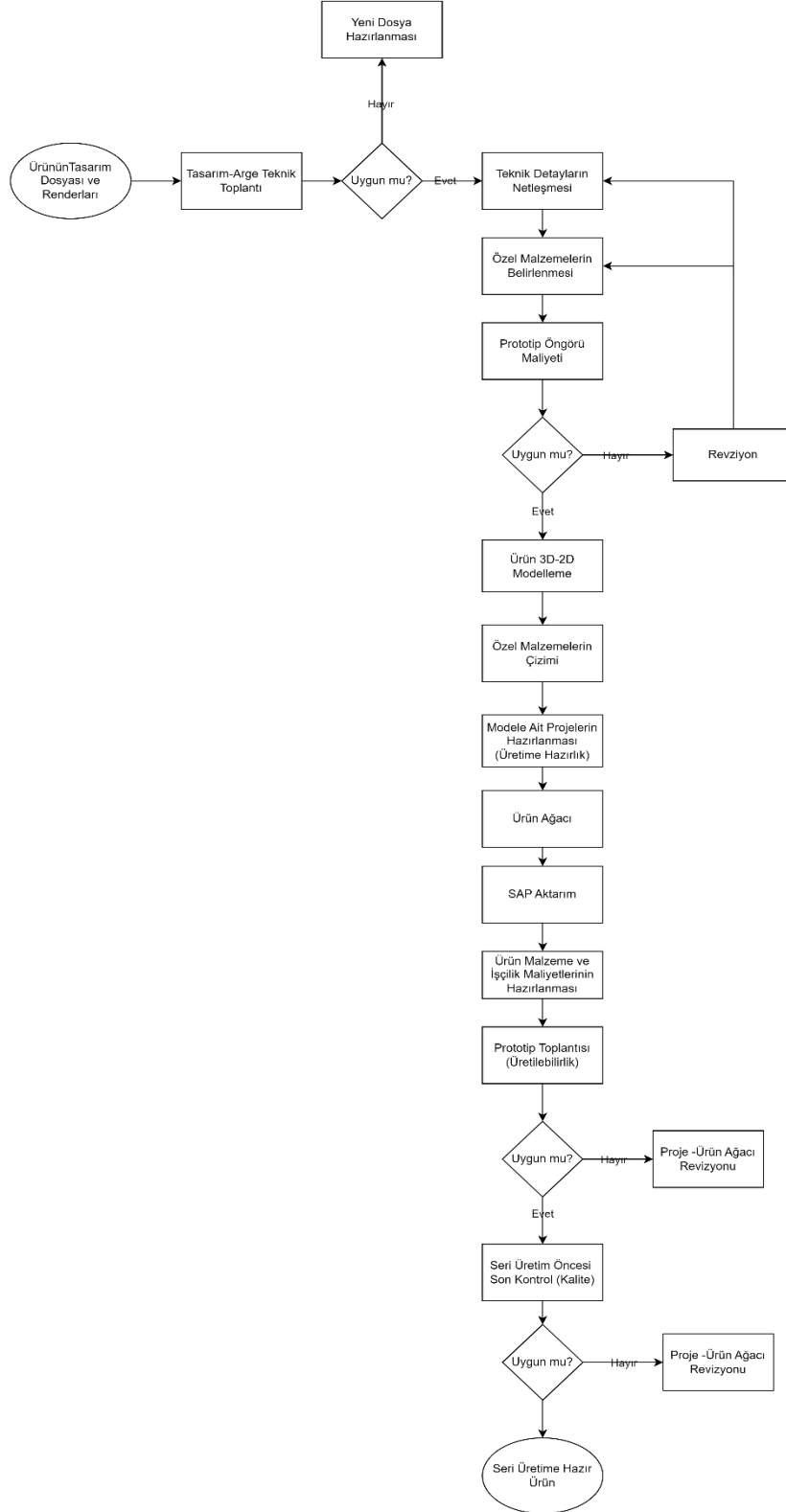
Amaç fonksiyonlarının bir hedef için dikkate alındığı durumda:

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i(x) < a_i \\ - & \text{if } a_i \leq y_i(x) \leq T_i \\ \left(\frac{y_i(x) - a_i}{\bar{u}_i - a_i}\right)^{k_1} & \text{if } y_i(x) = T_i \\ - & \text{if } T_i \leq y_i(x) \leq \bar{u}_i \\ \left(\frac{\bar{u}_i - y_i(x)}{\bar{u}_i - a_i}\right)^{k_2} & \text{if } T_i \leq y_i(x) \leq \bar{u}_i \\ 0 & \text{if } y_i(x) \geq \bar{u}_i \end{cases} \quad (5)$$

Burada \bar{u}_i ve a_i , önerilen optimizasyon modellerinde amaç fonksiyon denklemleri için istenen değerlerin üst ve alt sınır değerlerini temsil eder. k_1 ve k_2 değerleri arzu edilebilirlik denkleminin ağırlık derecesidir. Arzuedilebilirlik dereceleri ile optimizasyon modelleri, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arzu edilen düzeylere göre en uygun ayarlarını belirlemek için bu çalışmada kullanılmıştır.

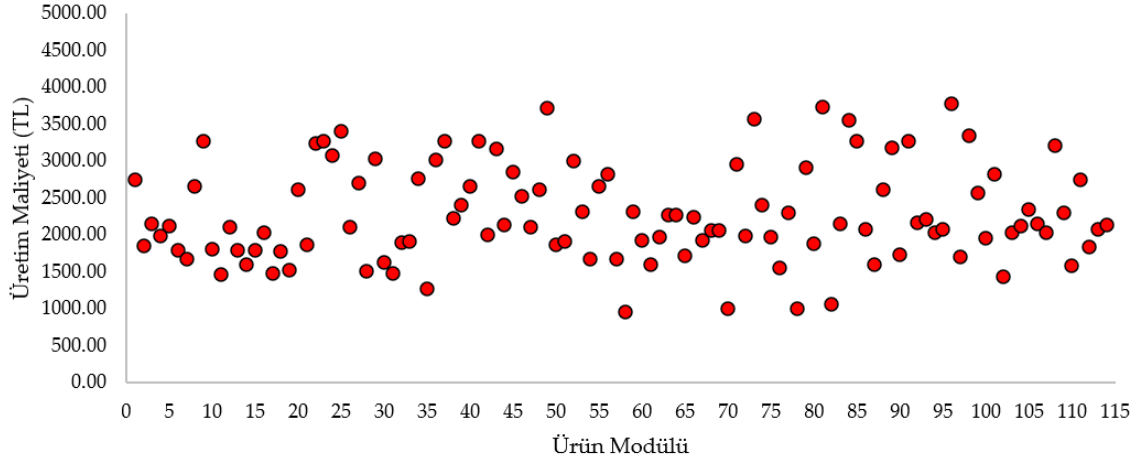
3. Vaka Çalışması

Bu çalışmada geliştirilen yöntemin uygulanabilirliğini göstermek adına seri üretim sürecine sahip bir üretim tesisine ait bir ürünün farklı modüllerinin verileri kullanılmıştır. Vaka çalışması için seçilen üretim tesisine ait bir ürünün üretilmesi için gerçekleştirilmesi gereken süreçler Şekil 1'de gösterilmiştir.

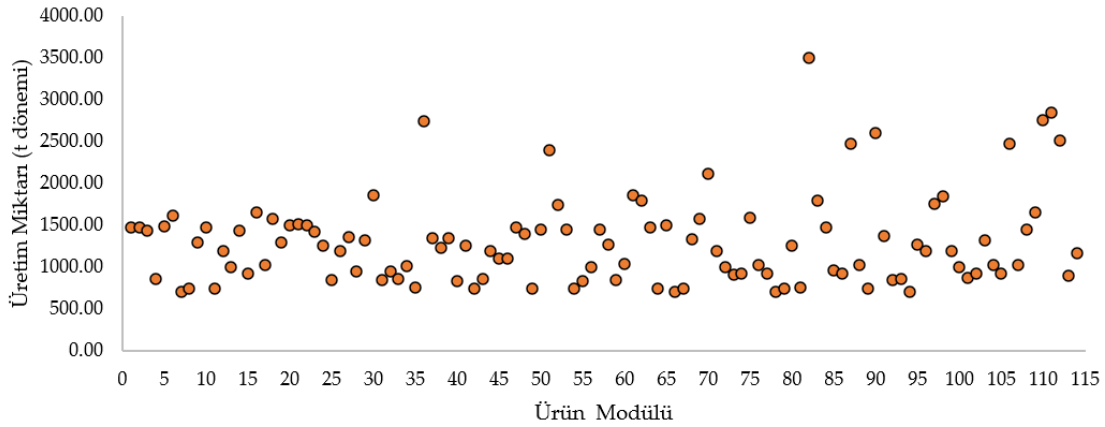


Şekil 1. Üretim sürecine ait iş akış diyagramı

Bu çalışma için geliştirilen yöntemin uygulaması adına bir üretim tesisinde bir ürünün farklı modülleri için elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu tesiste değişkenlerin farklı kombinasyonları ile malzemelerin bir araya gelerek üretilen ürünün farklı modelleri oluşturulmaktadır. Bu çalışma için bir ürünün 114 farklı modülüne ait üretim maliyetleri ve üretim adetleri Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu çalışmada üretim maliyetleri ve üretim sayıları çıktı veya bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Üretim maliyetleri



Şekil 3. Her bir modüle ait üretim sayıları

Bağımlı değişkenler maliyet ve satış miktarı olarak tanımlanırken ürün için kullanılan malzemeler (yedi farklı malzeme) bağımsız değişken olarak ifade edilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişken veri türleri Tablo 1'de ifade edilmiştir.

Tablo 1: Bağımlı ve bağımsız değişken tanımları

Değişken	Tür (İstatistiksel)	Tür (Optimizasyon)	Veri Türü	Notasyon
Maliyet	Bağımlı	Amaç	Nümerik	y_1
Satış Miktarı	Bağımlı	Amaç	Nümerik	y_2
Malzeme 1	Bağımsız	Karar değişkeni	Kategorik	x_1
Malzeme 2	Bağımsız	Karar değişkeni	Kategorik	x_2
Malzeme 3	Bağımsız	Karar değişkeni	Kategorik	x_3
Malzeme 4	Bağımsız	Karar değişkeni	Nümerik	x_4
Malzeme 5	Bağımsız	Karar değişkeni	Nümerik	x_5
Malzeme 6	Bağımsız	Karar değişkeni	Nümerik	x_6
Malzeme 7	Bağımsız	Karar değişkeni	Nümerik	x_7

Bir üretim tesisine ait bir ürünün maliyetini ve satış miktarını etkileyen çeşitli bağımsız değişkenler tanımlanmıştır. İki bağımlı değişken bulunmaktadır; maliyet (y_1) ve satış miktarı (y_2). Bu değişkenler, optimizasyon amaçlarına yönelik olarak tanımlanarak belirli bir hedef doğrultusunda en iyi durumların belirlenmesini sağlamak üzere kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler arasında ise çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Malzeme 1, Malzeme 2 ve Malzeme 3 kategorik değişkenler olup belirli bir sınıflandırmaya tabi tutulmuşlardır. İlk üç değişkenin kategorik olmasının yanı sıra her bir değişkenin farklı seviyeleri bulunmaktadır. Bu malzemelerin seçimi, üretim sürecini etkileyen karar değişkenleridir. Diğer yandan, Malzeme 4, Malzeme 5, Malzeme 6 ve Malzeme 7 nümerik değişkenlerdir. Bu değişkenler sayısal değerler içermektedirler. Nümerik veri türüne sahip değişkenlerin miktarları, ürün maliyeti ve satış miktarındaki değişkenlik üzerinde etkiden dolayı optimizasyon süreçlerinde dikkate alınmıştır. Bağımsız değişkenlerin uygun kombinasyonları, ürün maliyetini minimize etmek veya satış miktarını maksimize etmek gibi belirli hedeflere ulaşmak için kullanılmıştır. Kategorik veri türüne ait bağımsız değişkenler hariç diğer bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait tanımlayıcı istatistik verileri **Tablo 2'**de verilmiştir.

Tablo 2. x_4, x_5, x_6, x_7, y_1 ve y_2 değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistik verileri

Değişken	Örneklem	Ortalama	Ortalama Sapma Hatası	Standart Sapma	Varyans	Varyans Katsayısı	Minimum	Maksimum	Çarpıklık	Basıklık
x_4	114	34,09	1,34	14,34	205,55	42,06	18,00	63,00	0,30	-1,37
x_5	114	15,920	0,898	8,980	80,640	56,41	8,000	26,000	0,25	-1,98
x_6	114	0,5789	0,0464	0,4959	0,2459	85,66	0,0000	10,000	-0,32	-1,93
x_7	114	0,1754	0,0358	0,3820	0,1459	217,75	0,0000	10,000	1,73	1,01
y_1	114	2273,2	60,7	648,2	420217,6	28,52	963,0	3775,0	0,42	-0,44
y_2	114	1303,6	49,6	529,6	280504,1	40,63	709,0	3500,0	1,57	2,98

İlk olarak, **Tablo 2**, altı farklı değişkenin - x_4, x_5, x_6, x_7, y_1 ve y_2 - tanımlayıcı istatistiklerini içermektedir. Bu istatistikler, her bir değişkenin merkezi eğilim, dağılım ve şekil özelliklerini açıklamaktadır. x_4 değişkenin ortalama değeri 34.09'dur ve standart sapması 14.34'tir. x_4 'ün genel eğiliminin orta düzeyde bir değere sahip olduğunu, ancak verilerin dağılımının biraz değişken olduğunu gösterir. Asimetri değeri pozitif (0.30) olduğu için, dağılım sağa çekiktir. Basıklık değeri ise -1.37, bu dağılımın biraz düz olduğunu gösterir. x_5 değişkenin ortalama değeri 15.92 ve standart sapması 8.98'dir. x_5 'in genel eğilimi ortalama bir değere yakınken, standart sapma değeri, verilerin dağınık olduğunu gösterir. Asimetri değeri pozitif (0.25) olduğu için, dağılım sağa çekiktir. Basıklık değeri ise -1.98, bu dağılımın kuyruklarının düz olduğunu gösterir.

x_6 değişkenin ortalama değeri 0.5789 ve standart sapması 0.4959'dur. x_6 'nın düşük standart sapma değeri, verilerin genellikle ortalama etrafında toplandığını gösterir. Asimetri değeri negatif (-0.32), dağılımın sola çekik olduğunu gösterir. χ değeri ise -1.93, dağılımın kuyruklarının düz olduğunu gösterir. x_7 değişkenin ortalama değeri 0.1754 ve standart sapması 0.3820'dir. x_7 'nin düşük standart sapma değeri, verilerin genellikle ortalama etrafında toplandığını gösterir. Asimetri değeri pozitif (1.73) olduğu için, dağılım sağa çekiktir. Basıklık değeri ise 1.01, bu dağılımın kuyruklarının düz olmadığını, hafifçe sivri olduğunu gösterir.

Çıktı parametresi olan y_1 değişkenin ortalama değeri 2273.2 ve standart sapması 7648.2'dir. Yüksek standart sapma değeri, y_1 'in geniş bir aralığa yayıldığını gösterir. Asimetri değeri pozitif (0.42) olduğu için, dağılım sağa çekiktir. Kurtosis değeri ise -0.44, bu dağılımın normal bir dağılıma yakın olduğunu gösterir. y_2 değişkenin ortalama değeri 1303.6 ve standart sapması 529.6'dır. Yüksek standart sapma değeri, y_2 'nin geniş bir aralığa yayıldığını gösterir. Asimetri değeri pozitif (1.57) olduğu için, dağılım sağa çekiktir. Basıklık değeri ise 2.98, bu dağılımın normal bir dağılıma yakın olduğunu göstermektedir.

4. Bulgular

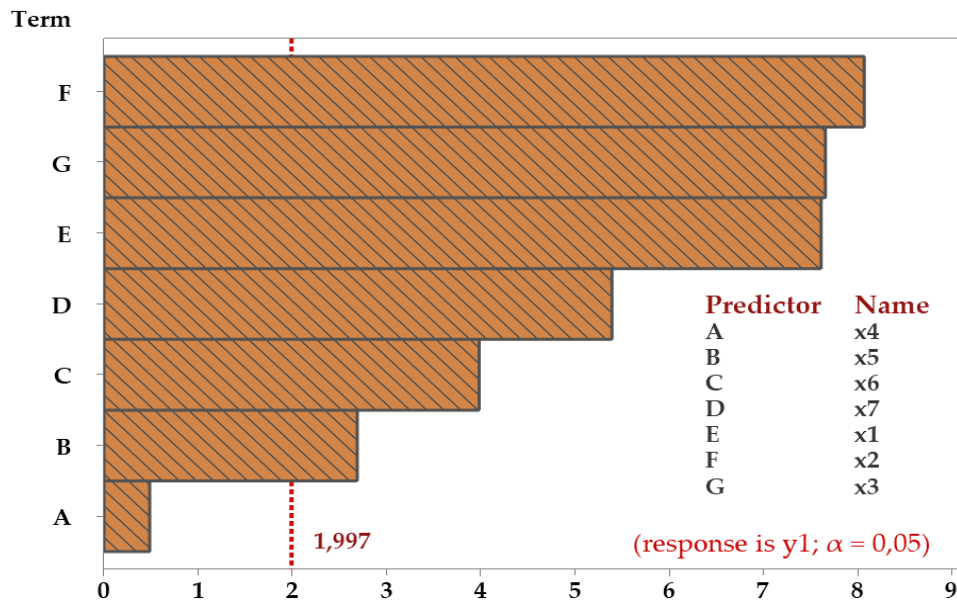
Bu çalışmada bir üretim tesisinde üretilen bir ürünün farklı modellerini dikkate alarak üretim maliyetine ve üretim sayılarına ait veriler kullanılarak bir vaka çalışması yapılmıştır. Vaka çalışması için elde edilen veriler iki aşamalı olarak analizleri yapılmıştır. İlk aşamada değişkenlere ait veriler ANOVA analizi ile önemlilik dereceleri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise geliştirilen istatistiksel optimizasyon ile değişkenlere ve amaç fonksiyonlarına ait optimum değerler elde edilmiştir. **Tablo 3**, y_1 değişkeni olan üretim maliyeti için elde edilen doğrusal regresyon analizine ait ANOVA verileri yer almaktadır.

Tablo 3. y_1 değişkenine ait ANOVA analizi

Değişken	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler*	Ortalama Kareler*	F-Değeri	P-Değeri
Regresyon	11	21508874	1955352	39,52	0,000
x4	1	5946	5946	0,12	0,730
x5	1	289029	289029	5,84	0,018
x6	1	784341	784341	15,85	0,001
x7	1	1394569	1394569	28,18	0,000
x1	3	3524314	1174771	23,74	0,000
x2	2	9000333	4500167	90,95	0,000
x3	2	3182948	1591474	32,16	0,000

* Düzeltilmiş

Tablo 3, bir doğrusal regresyon analizine ait ANOVA (Varyans Analizi) verilerini içermektedir ve çeşitli faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılan istatistiksel sonuçları göstermektedir. İlk olarak, genel regresyonun toplam serbestlik derecesi (DF) 11'dir ve bu modelin bağımlı değişkenin değişkenliğini açıklama yeteneğini temsil eder. Modelin toplam varyansını açıklama yeteneğini ölçen düzeltilmiş toplam kareler (Adj SS) 21508874'dir. Her bir bağımsız değişkenin regresyon modeline katkısını değerlendirmek için F-Value ve P-Value istatistikleri kullanılmıştır. Bu istatistikler, regresyon modelindeki bir değişkenin anlamlı bir etkisinin olup olmadığını belirlemek için önemli araçlardır. x_6 değişkeninin F-Value değeri 15,85 ve P-Value değeri 0.001'dir. x_6 değişkeninin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. y_1 'e ait standartlaştırılmış etkilerin pareto grafiği

Benzer şekilde, diğer bağımsız değişkenlerin de modelde anlamlı etkileri olduğu gözlemlenir. Toplam regresyon modeli için F-Value 39.52 ve P-Value 0.000'dir, yani genel modelin anlamlı bir etkisi olduğunu gösterir. Bu durum, en az bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir

şekilde etkili olduğunu gösterir. Özetle, ANOVA tablosu, regresyon modelinin genel anlamda istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde bağımlı değişkeni açıkladığını ve bireysel bağımsız değişkenlerin de modelde anlamlı katkılarda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Standartlaştırılmış etkilerin Pareto grafiği **Şekil 4'te** gösterilmiştir.

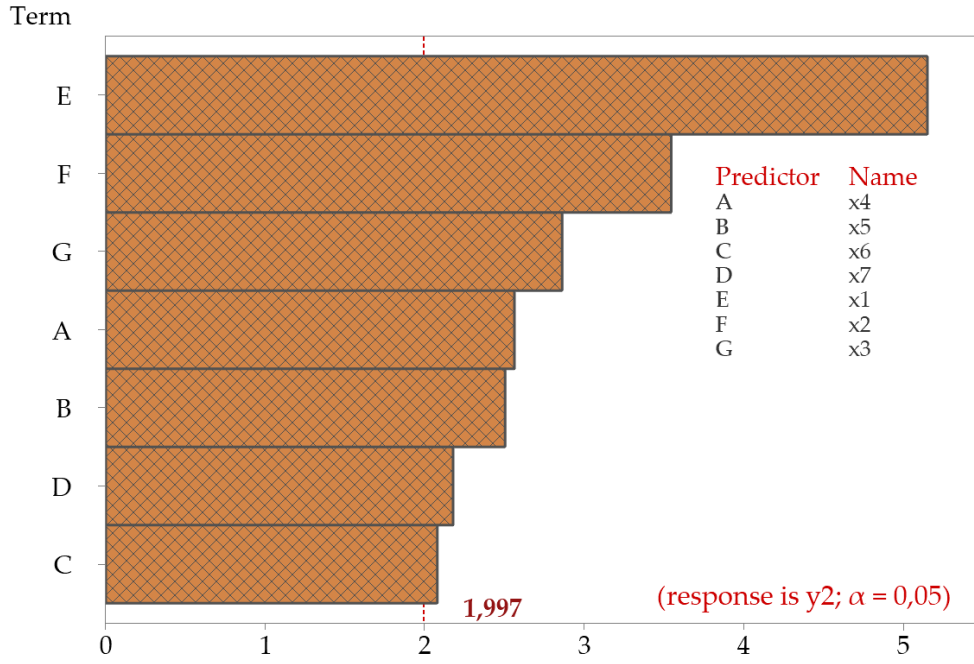
Üretim tesisinde üretilen bir ürünün farklı modüllerinin maliyetlerinin yanı sıra üretim miktarları da bu çalışmada ele alınmıştır. Bir ürünün üretim miktarının fazla olması, bir işletme için birkaç avantaj beraberinde getirmektedir. İlk olarak, büyük üretim miktarları genellikle birim başına maliyetleri düşürmektedir. Toplu üretim, malzeme tedariki, işgücü kullanımı ve diğer üretim maliyetlerindeki etkinlik artışı, bir ürünün birim maliyetini azaltmaktadır. Bu durum, işletmeye rekabet avantajı sağlayarak fiyatlandırma konusunda daha esnek olma imkânı tanımaktadır. Ayrıca, yüksek üretim miktarları, talebe daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verme yeteneği sağlamaktadır. Diğer bir avantaj ise, ölçek ekonomilerinden kaynaklanan operasyonel verimliliğin artmasıdır. Büyük ölçekli üretim, süreçlerin standartlaştırılmasına ve optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Bu da üretim süreçlerinin daha düzenli, hızlı ve hatasız olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada üretim miktarının maksimize edilmesini sağlayan bir optimizasyon modeli geliştirilerek üretim tesisinin daha karlı hale getirilmesine zemin oluşturmaktadır. Üretim miktarı üzerinde etkisi düşünülen faktörler ANOVA analizi ile test edilmiştir. **Tablo 4'te**, y_2 değişkeni olan üretim miktarına ait ANOVA verileri yer almaktadır.

Tablo 4. y_2 değişkenine ait ANOVA analizi

Değişken	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler*	Ortalama Kareler*	F-Değeri	P-Değeri
Regresyon	11	3544706	322246	6,80	0,000
x4	1	311144	311144	6,56	0,013
x5	1	297209	297209	6,27	0,015
x6	1	204632	204632	4,32	0,042
x7	1	224599	224599	4,74	0,033
x1	3	1693362	564454	11,90	0,000
x2	2	765963	382981	8,08	0,001
x3	2	531385	265692	5,60	0,006

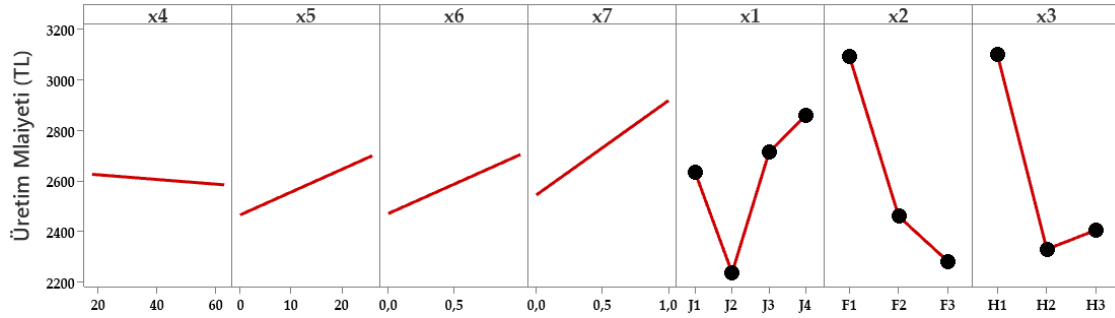
y_2 değişkenine ait regresyon modelinin istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek üzere ANOVA kullanılmıştır. Tablonun temel bileşenleri şunlardır: Source (Kaynak), DF (Derece özgürlüğü), Adjusted SS (Uyarlanmış Toplam Kareler), Adjusted MS (Uyarlanmış Ortalama Kare), F-Value (F-Değeri), ve P-Value (P-Değeri). Regresyon modelinin anlamlılığını değerlendirmek için, F-Value istatistiği kullanılmaktadır. Regresyon'un 11 derece özgürlüğü vardır ve F-Value 6,80'dir. P-Value değeri ise 0.000'dır. Bu durum, regresyon modelinin genel olarak anlamlı olduğunu gösterir, çünkü P-Value 0.05'ten küçüktür.

x_4 , x_5 , x_6 , x_7 , x_1 , x_2 , ve x_3 değişkenleri üzerinde yapılan ayrı ayrı testlerin sonuçlarına bakıldığında tüm değişkenlerin y_2 değişkenini anlamlı bir şekilde etkilediği görülmektedir. Bunlar, P-Value değeri 0.05'ten küçük olduğu için, bu değişkenlerin y_2 üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır. Sonuç olarak, bu ANOVA analizi, y_2 değişkeni için yapılan regresyon modelinin genel anlamda anlamlı olduğunu ve bu modelde bazı belirli değişkenlerin y_2 'yi etkilediğini göstermektedir. Yapılan bu tespitler, modelin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde açıklanabilir olduğunu göstermektedir. Standartlaştırılmış etkilerin pareto grafiği **Şekil 5'te** gösterilmiştir.

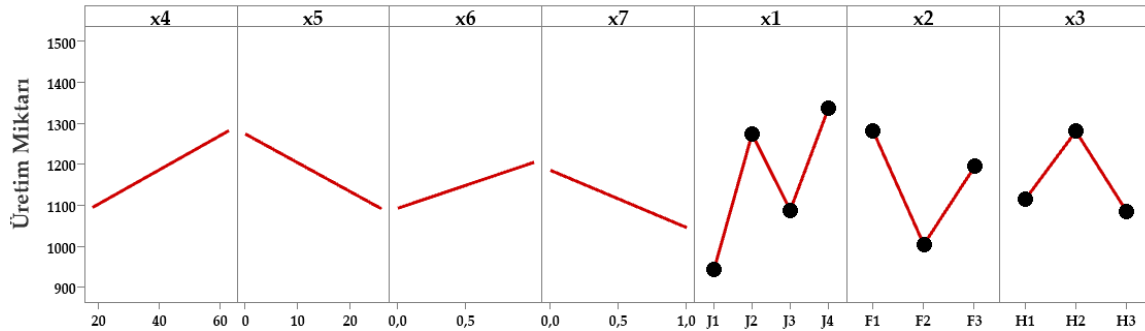


Şekil 5. y_2 'ye ait standartlaştırılmış etkilerin pareto grafiği

Ana etki grafiği (main effects plot), istatistiksel bir deneyin veya faktöriyel bir denemenin sonuçlarını görselleştirmek için kullanılan bir grafik türüdür. Bu grafik, bir veya daha fazla faktörün farklı seviyelerinin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genellikle, faktörlerin seviyeleri arasındaki farkları anlamak ve yorumlamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada dikkate alınan faktörlerin seviyelerinin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymak için Şekil 6 ve 7'de ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada ele alınan kategorik veri türüne sahip değişkenlerin etkileşimlerini ve her bir faktörün tek başına etkilerine ait ana etki grafikleri çalışmanın Ek-A kısmında paylaşılmıştır.



Şekil 6. Üretim maliyetine etki eden faktörlerin ana etki grafiği



Şekil 7. Üretim miktarına etki eden faktörlerin ana etki grafiği

Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda bağımsız değişkenlerin veri türlerine göre farklı regresyon denklemleri elde edilmiştir. Özellikle kategorik veri türüne sahip olan x_1 , x_2 , ve x_3 , değişkenlerin seviye farklılıklarından dolayı her bir bağımlı değişken için 36 regresyon denklemi elde edilmiştir. Bu denklemler çalışmanın Ek-B bölümünde yer alan **Tablo B1** ve **Tablo B2'**de paylaşılmıştır. Üretim maliyetini minimize ve üretim miktarını maksimize yapan optimizasyon modelinin çalıştırılması ile karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonlarının optimum değerleri elde edilmiştir. Karar değişkenlerine ait optimum veriler **Tablo 5'**te paylaşılmıştır.

Tablo 5. Karar değişkenlerinin optimum değerleri

Karar Değişkenleri	Optimum Ayarlar
x_4	63
x_5	8
x_6	1
x_7	0
x_1	J2
x_2	F3
x_3	H2

x_4 , x_5 , x_6 , ve x_7 sayısal değişkenler için belirlenen optimum değerler sırasıyla 63, 8, 1 ve 0'dır. Bu değerler, maksimum üretim miktarı ve minimum üretim maliyeti hedeflerine ulaşmak veya belirli kısıtlamaları karşılamak amacıyla seçilmiştir. x_1 , x_2 , ve x_3 kategorik değişkenler için optimum ayarlar sırasıyla J2, F3 ve H2'dir. Bu optimum ayarlar, maksimum üretim miktarı ve minimum üretim maliyeti hedeflerini gerçekleştirmek ve kısıtlamaları karşılamak için belirlenmiştir. **Tablo 6'da** ise amaç fonksiyonlarına ait optimum değerleri istatistiksel olarak ele alınmıştır.

Tablo 6. Amaç fonksiyonlarına ait istatistiksel optimum verileri

Amaç Fonksiyonları	Optimum	SE Optimum	95% CI	95% PI
y_2 (Maksimum üretim miktarı)	1713	91	(1530; 1896)	(1241; 2185)
y_1 (Minimum üretim maliyeti)	1568,6	93,5	(1381,9; 1755,3)	(1086,7; 2050,5)

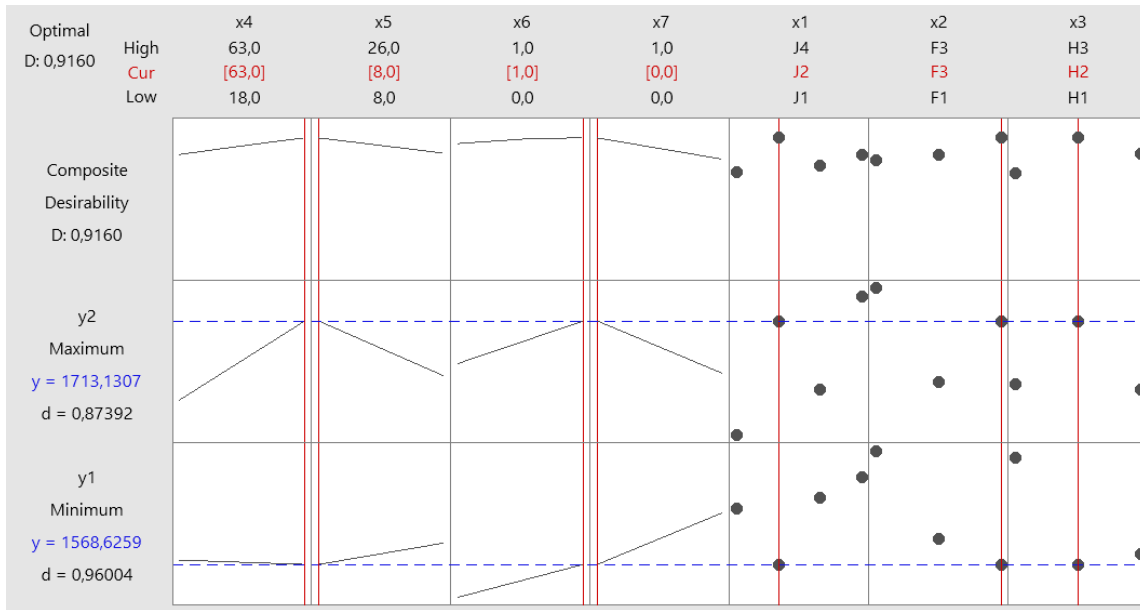
İstatistiksel verilere göre, maksimum üretim miktarını temsil eden y_2 amaç fonksiyonu için optimum değer 1590 birim olarak belirlenmiştir. Ancak, bu tahminin belirsizlik payı, standart hata ile ölçülmüştür ve %95 güven aralığı içinde y_2 'nin gerçek optimum değeri 1530 ile 1896 birim arasında yer almaktadır. Benzer şekilde, %95 tahmin aralığı içinde bu değer 1241 ile 2185 birim arasında değişebilir. %95 CI ve PI değerlerine göre, maksimum üretim miktarını belirleme sürecindeki belirsizlik düzeyini ifade etmektedir. Diğer amaç için, minimum üretim maliyetini temsil eden y_1 amaç fonksiyonu için optimum değer 1568,9TL olarak belirlenmiştir. Standart hata ile ölçülen belirsizlik, %95 güven aralığı içinde y_1 'in gerçek optimum değerinin 1381,9 ile 1755,3 TL arasında olabileceğini gösterir. Ayrıca, %95 tahmin aralığı içinde bu değer 1086,7 ile 2050,5 TL arasında değişmektedir. Bu istatistiksel sonuçlar, minimum üretim maliyetini belirleme sürecindeki belirsizliği ve güven aralıklarını vurgulamaktadır. Her iki amaç fonksiyonuna ait arzu edilebilirlik dereceleri **Tablo 7'**de gösterilmiştir.

Tablo 7. y_1 ve y_2 için arzu edilebilirlik dereceleri

Değişken	Arzu edilebilirlik Derecesi
y_1	0,96004
y_2	0,87392
Bileşik (Composite)	0,91600

Tablo 7, çeşitli çözümlerin y_1 (minimum üretim maliyeti) ve y_2 (maksimum üretim miktarı) hedefleri açısından arzu edilebilirlik derecelerini içermektedir. Her bir çözüm için belirtilen "Desirability" (Arzu edilebilirlik) değeri, ilgili hedefe ne kadar uygun olduğunu gösterir. y_1 (**Minimum üretim**

maliyeti) için arzu edilebilirlik derecesi 0.96004'dur. Bu değer, y_1 hedefine ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. 1'e daha yakın bir arzu edilebilirlik değeri, çözümün y_1 hedefine daha uygun olduğunu ifade eder. y_2 (**Maksimum üretim miktarı**) için arzu edilebilirlik derecesi 0.87392'dir. Bu değer, y_2 hedefine ne kadar yakın olduğunu gösterir. Yine, 1'e daha yakın bir desirability değeri, çözümün y_2 hedefine daha uygun olduğunu ifade etmektedir. **Composite (birleşik) arzu edilebilirlik derecesi** y_1 ve y_2 hedeflerini birleştiren genel bir arzu edilebilirlik değeridir. Belirtilen çözüm için bu değer 0.91600'dur. Bu, çözümün hem y_1 hem de y_2 hedeflerini göz önünde bulundurarak ortalama bir başarı elde ettiğini ifade etmektedir. Bu arzu edilebilirlik değerleri, çeşitli hedefleri birleştirerek çözümlerin genel başarısını ölçmeye yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Yüksek arzu edilebilirlik değerleri, çözümün istenen hedeflere daha yakın olduğunu gösterirken, düşük değerler ise hedeflere ulaşma konusunda daha az uygun olduğunu ifade etmektedir. İki amaçlı bir optimizasyon modeline ait hem amaç fonksiyonlarına hem de karar değişkenlerine ait optimum veriler **Şekil 8'de** gösterilmiştir.



Şekil 6. Arzu edilebilirlik derecesine göre optimizasyon modelin çıktıları

5. Sonuç ve Öneriler

Bir üretim tesisinde bir ürünün üretim maliyeti ve ürün satış miktarı, işletme açısından kritik öneme sahiptir. Üretim maliyeti, bir ürünün üretim sürecinde kullanılan kaynakların toplam maliyetini temsil eder ve işletmenin karlılığını doğrudan etkiler. Doğru bir üretim maliyeti hesaplaması, işletmenin rekabet avantajını sürdürmesine ve etkin bir şekilde fiyatlandırma yapmasına olanak tanır. Öte yandan, ürün satış miktarı, işletmenin gelirini belirleyen temel faktördür. Bu miktar, pazar talepleri, müşteri talepleri ve rekabet koşulları göz önüne alınarak belirlenmelidir. Doğru bir üretim maliyeti hesaplaması ve etkili bir ürün satış miktarı planlaması, işletmenin sürdürülebilir bir şekilde büyümesine, mali hedeflerine ulaşmasına ve pazarda başarılı bir konum elde etmesine katkı sağlar.

Ürünün üretim maliyetini minimize etmek ve satış miktarını maksimize etmek, bir işletmenin rekabet avantajını artırmak ve finansal performansını iyileştirmek açısından önemlidir. İstatistiksel optimizasyon yöntemleri, bu hedeflere ulaşmada etkili bir araç olarak kullanılır. Bu yöntemler, karmaşık üretim süreçlerinde ve pazar dinamiklerinde gizli kalmış ilişkileri ortaya çıkararak, optimal çözümleri belirleme konusunda işletmelere rehberlik eder. Doğrusal programlama, regresyon analizi, t-testleri ve benzeri istatistiksel yöntemler, üretim süreçlerinde verimliliği artırarak maliyetleri minimize etme ve ürün kalitesini optimize etme noktasında yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, talep tahminleri ve pazar analizi için kullanılan istatistiksel modeller, doğru bir stok yönetimi ve talep karşılaması sağlayarak satış miktarını maksimize etmeye katkıda bulunmaktadır. İstatistiksel

optimizasyon, karmaşıklığı azaltır, veri odaklı kararlar almayı destekler ve işletmelerin kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanarak rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olur. Bu nedenle, işletmeler istatistiksel optimizasyonu, rekabetçi bir piyasa ortamında sürdürülebilir başarıya ulaşmak için stratejik bir araç olarak benimsenmektedir.

Bu çalışmada da istatistiksel optimizasyon yöntemi geliştirilerek üretim yapan bir tesiste bir ürünün üretim maliyeti minimize edilmesi sağlanırken aynı zamanda ürünün satış miktarının maksimize edilmesi ile uzun sürede ürünün piyasada kalması sağlayan bir model elde edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada önerilen model ile üretim yapan tesislerin üretim maliyetlerini etkileyen faktörlerin istatistiksel analizlerinin yanı sıra optimum değerlerin elde edilmesini sağlayan bir teknik olarak sunulmuştur.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; metodoloji, A.A.; yazılım, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; doğrulama, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; biçimsel analiz, H.Ş.; soruşturma, H.Ş.; kaynaklar, H.M.S.; veri iyileştirme, A.A.; yazı- orijinal taslak hazırlama, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; yazma- gözden geçirme ve düzenleme, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; görselleştirme, A.A., H.Ş. ve H.M.S.; denetim, H.Ş. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okudu ve kabul etti.

Finansman: Bu araştırma dışarıdan fon almadı.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Bilgilendirme: Bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Hatice Mine Saban'ın yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

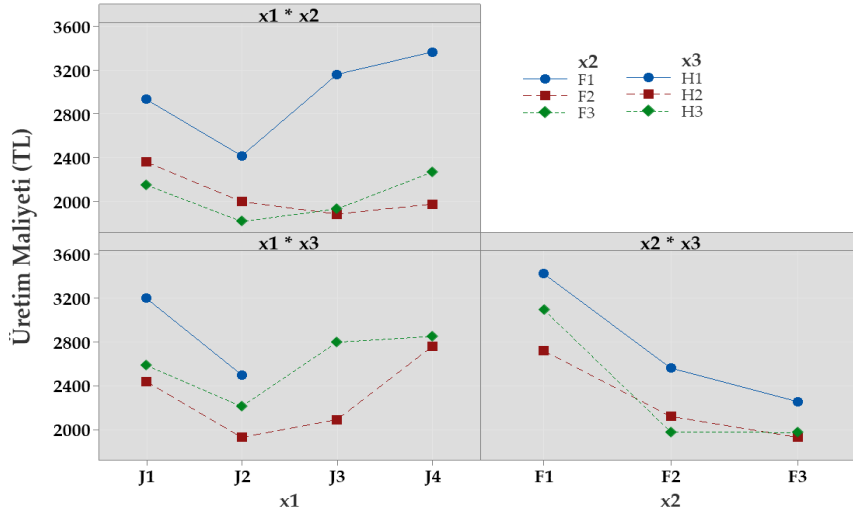
Kaynaklar

- [1] F. Falahuddin, F. Fuadi, M. Munandar, R. Juanda, and R. N. Ilham, "Increasing Business Supporting Capacity In Msmes Business Group Tempe Bungong Nanggroe Kerupuk In Syamtalira Aron District, Utara Aceh Regency," *Iripitage J.*, vol. 2, no. 2, pp. 65–68, 2022.
- [2] Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 6, pp. 4322–4334, 2020.
- [3] V. Sima, I. G. Gheorghie, J. Subić, and D. Nancu, "Influences of the industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review," *Sustainability*, vol. 12, no. 10, p. 4035, 2020.
- [4] S. Wang *et al.*, "Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China," *Nat. Food*, vol. 2, no. 3, pp. 183–191, 2021.
- [5] A. Vadas and L. Ferenczi, "Small urban waters and environmental pressure before industrialization: The case of Hungary," *J. Hist. Geogr.*, vol. 82, pp. 98–109, 2023.
- [6] D. Tanasi, S. Hassam, K. Kingsland, P. Trapani, M. King, and D. Cali, "Melite civitas Romana in 3D: Virtualization project of the archaeological park and museum of the Domus Romana of Rabat, Malta," *Open Archaeol.*, vol. 7, no. 1, pp. 51–83, 2021.
- [7] G. N. Şarlıoğlu, E. Boyacı, and M. Akca, "Information and Communication Technologies in Logistics and Supply Chain Management in Turkey: Human Resource Practices and New Challenges," in *Managing Technology Integration for Human Resources in Industry 5.0*, IGI Global, 2023, pp. 174–197.
- [8] S. Phuyal, D. Bista, and R. Bista, "Challenges, opportunities and future directions of smart manufacturing: a state of art review," *Sustain. Futur.*, vol. 2, p. 100023, 2020.
- [9] K. Valaskova, M. Nagy, S. Zabochnik, and G. Lăzăroiu, "Industry 4.0 wireless networks and cyber-physical smart manufacturing systems as accelerators of value-added growth in Slovak exports," *Mathematics*, vol. 10, no. 14, p. 2452, 2022.
- [10] Y. Liu, J. Zhu, E. Y. Li, Z. Meng, and Y. Song, "Environmental regulation, green technological innovation, and eco-efficiency: The case of Yangtze river economic belt in China," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 155, p. 119993, 2020.
- [11] I. Kim, J. Kim, and J. Lee, "Dynamic analysis of well-to-wheel electric and hydrogen vehicles greenhouse gas emissions: Focusing on consumer preferences and power mix changes in South Korea," *Appl. Energy*, vol. 260, p. 114281, 2020.
- [12] S. P. Nunes *et al.*, "Thinking the future of membranes: Perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes," *J. Memb. Sci.*, vol. 598, p. 117761, 2020.
- [13] N. Amirova, L. Sargina, and A. Khasanova, "Natural resource potential as a factor in the formation of the region's natural-economic system," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2020, p. 2011.
- [14] B. Yang, B. Liu, J. Peng, and X. Liu, "The impact of the embedded global value chain position on energy-biased technology progress: Evidence from chinas manufacturing," *Technol. Soc.*, vol. 71, p. 102065, 2022.
- [15] P. F. Borowski, "Digitization, digital twins, blockchain, and industry 4.0 as elements of management process in enterprises in the energy sector," *Energies*, vol. 14, no. 7, p. 1885, 2021.
- [16] M. A. Hossain, A. Zhumabekova, S. C. Paul, and J. R. Kim, "A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market," *Sustainability*, vol. 12, no. 20, p. 8492, 2020.
- [17] J. Santillán-Saldivar *et al.*, "Design of an endpoint indicator for mineral resource supply risks in life cycle sustainability assessment: The case of Li-ion batteries," *J. Ind. Ecol.*, vol. 25, no. 4, pp. 1051–1062, 2021.

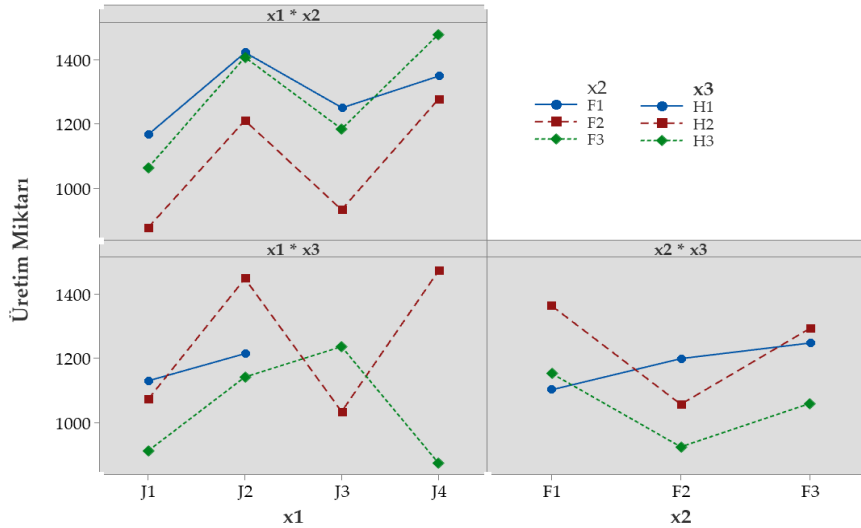
-
- [18] I. J. Agabi and J. S. Ibrahim, "Energy Evaluation and Processing Cost Reduction in Agudu Maize Processing Industry," *Int. J. Eng. Manag. Res.*, vol. 11, 2021.
- [19] P. T. Diem, N. T. Vu, H. T. Dung, and N. V. Dat, "The process of CRM system implementation at Dien May Xanh in Vietnam," *Int. J. Multidiscip. Res. growth Eval.*, vol. 2, no. 4, pp. 761–768, 2021.
- [20] C.-D. Hategan, R.-I. Pitorac, V.-P. Hategan, and C. M. Imbrescu, "Opportunities and challenges of companies from the Romanian e-commerce market for sustainable competitiveness," *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 13358, 2021.
- [21] M. Kim, X. Yin, and G. Lee, "The effect of CSR on corporate image, customer citizenship behaviors, and customers' long-term relationship orientation," *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 88, p. 102520, 2020.
- [22] R. S. Ebrahim, "The role of trust in understanding the impact of social media marketing on brand equity and brand loyalty," *J. Relatsh. Mark.*, vol. 19, no. 4, pp. 287–308, 2020.
- [23] M. M. Rounaghi, H. Jarrar, and L.-P. Dana, "Implementation of strategic cost management in manufacturing companies: overcoming costs stickiness and increasing corporate sustainability," *Futur. Bus. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [24] A. Belhadi, K. Zkik, A. Cherrafi, and M. Y. Sha'ri, "Understanding big data analytics for manufacturing processes: insights from literature review and multiple case studies," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, p. 106099, 2019.
- [25] Y. A. Atalan and A. Atalan, "Development of design of experiment optimization to obtain high-quality sugar," *İstatistik ve Uygulamalı Bilim. Derg.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [26] A. Atalan, "Türkiye Sağlık Ekonomisi için İstatistiksel Çok Amaçlı Optimizasyon Modelinin Uygulanması," *İşletme Ekon. ve Yönetim Araştırmaları Derg.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–51, 2018, [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/414076>
- [27] M. Sarkar and B. Sarkar, "How does an industry reduce waste and consumed energy within a multi-stage smart sustainable biofuel production system?," *J. Clean. Prod.*, vol. 262, p. 121200, 2020.
- [28] M.-L. Tseng, T. P. T. Tran, H. M. Ha, T.-D. Bui, and M. K. Lim, "Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: A data driven analysis," *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 38, no. 8, pp. 581–598, 2021.
- [29] E. Guzman, B. Andres, and R. Poler, "Models and algorithms for production planning, scheduling and sequencing problems: A holistic framework and a systematic review," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 27, p. 100287, 2022.
- [30] C. Ç. Dönmez and A. Atalan, "Developing Statistical Optimization Models for Urban Competitiveness Index: Under the Boundaries of Econophysics Approach," *Complexity*, vol. 2019, pp. 1–11, Nov. 2019, doi: 10.1155/2019/4053970.
- [31] Y. Ayaz Atalan and A. Atalan, "A Statistical Analysis of the Relationship Between Meteorological Parameters and the Spread of COVID-19 Cases: Comparison Between Turkey and Italy," *J. Stat. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 76–84, 2020.
- [32] D. C. Montgomery, E. A. Peck, and G. G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th ed. Wiley, 2012.
- [33] W. T. Hoyt, S. J. Leierer, and M. Millington, "Analysis and Interpretation of Findings Using Multiple Regression Techniques," *Rehabil. Couns. Bull.*, vol. 49, no. 4, pp. 223–233, 2014.
- [34] N. Günöz and A. Atalan, "Sağlık Kuruluşlarına ait Sağlık Kaynaklarının Bilgisayar Ortamında Verimliliklerinin Analiz Edilmesi ve Optimum Değerlerin Hesaplanması," *İstatistik ve Uygulamalı Bilim. Derg.*, no. 7, pp. 43–63, Jul. 2023, doi: 10.52693/jsas.1297504.
- [35] M. P. Jenarathanan and R. Jeyapaul, "Optimisation of machining parameters on milling of GFRP composites by desirability function analysis using Taguchi method," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 4, pp. 22–36, Mar. 2018, doi: 10.4314/ijest.v5i4.3.
- [36] Y. Ayaz Atalan, M. Tayanç, K. Erkan, and A. Atalan, "Development of Nonlinear Optimization Models for Wind Power Plants Using Box-Behnken Design of Experiment: A Case Study for Turkey," *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 6017, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12156017.

Ek-A

Bağımlı değişkenler üzerinde etkili olan kategorik değişkenlerin etkileşimli ana etki grafikleri Şekil A1'de ve Şekil A2'de gösterilmiştir.



Şekil A1. Üretim Maliyeti üzerinde etkili olan kategorik değişkenlerin etkileşimli ana etki grafiği



Şekil A2. Üretim Miktarı üzerinde etkili olan kategorik değişkenlerin etkileşimli ana etki grafiği

EK-B

Kategorik veri türlerine göre elde edilen 36 farklı regresyon denklemleri Tablo B1 ve Tablo B2'de paylaşılmıştır.

Tablo B1. Üretim maliyetine göre regresyon denklemleri

x1	x2	x3			
J1	F1	H1	y1	=	3277 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F1	H2	y1	=	2517 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F1	H3	y1	=	2593 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F2	H1	y1	=	2651 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F2	H2	y1	=	1890,9 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F2	H3	y1	=	1967 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F3	H1	y1	=	2469 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F3	H2	y1	=	1708 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J1	F3	H3	y1	=	1784 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F1	H1	y1	=	2879 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F1	H2	y1	=	2118 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7

J2	F1	H3	y1	=	2194 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F2	H1	y1	=	2253 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F2	H2	y1	=	1492 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F2	H3	y1	=	1568 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F3	H1	y1	=	2070 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F3	H2	y1	=	1310 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J2	F3	H3	y1	=	1386 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F1	H1	y1	=	3351 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F1	H2	y1	=	2590 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F1	H3	y1	=	2666 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F2	H1	y1	=	2725 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F2	H2	y1	=	1964 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F2	H3	y1	=	2040 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F3	H1	y1	=	2542 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F3	H2	y1	=	1782 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J3	F3	H3	y1	=	1858 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F1	H1	y1	=	3500 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F1	H2	y1	=	2740 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F1	H3	y1	=	2816 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F2	H1	y1	=	2875 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F2	H2	y1	=	2114 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F2	H3	y1	=	2190 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F3	H1	y1	=	2692 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F3	H2	y1	=	1931 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7
J4	F3	H3	y1	=	2007 - 0,68 x4 + 8,48 x5 + 234,3 x6 + 368,6 x7

Tablo B2. Üretim Miktarına göre regresyon denklemleri

x1	x2	x3			
J1	F1	H1	y2	=	944 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F1	H2	y2	=	1122 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F1	H3	y2	=	929 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F2	H1	y2	=	680 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F2	H2	y2	=	858,4 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F2	H3	y2	=	665 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F3	H1	y2	=	852 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F3	H2	y2	=	1030,5 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J1	F3	H3	y2	=	837 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F1	H1	y2	=	1264 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F1	H2	y2	=	1442 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F1	H3	y2	=	1249 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F2	H1	y2	=	1000 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F2	H2	y2	=	1178 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F2	H3	y2	=	985 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F3	H1	y2	=	1172 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F3	H2	y2	=	1350,4 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J2	F3	H3	y2	=	1157 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J3	F1	H1	y2	=	1071 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J3	F1	H2	y2	=	1250 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7
J3	F1	H3	y2	=	1056 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7

J3	F2	H1	y2	=	$807 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J3	F2	H2	y2	=	$986 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J3	F2	H3	y2	=	$792 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J3	F3	H1	y2	=	$979 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J3	F3	H2	y2	=	$1158 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J3	F3	H3	y2	=	$964 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F1	H1	y2	=	$1334 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F1	H2	y2	=	$1512 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F1	H3	y2	=	$1319 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F2	H1	y2	=	$1070 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F2	H2	y2	=	$1248 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F2	H3	y2	=	$1055 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F3	H1	y2	=	$1242 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F3	H2	y2	=	$1420 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$
J4	F3	H3	y2	=	$1227 + 4,95 x4 - 8,60 x5 + 119,7 x6 - 147,9 x7$

Research Article

Received: date: 11.01.2024
Accepted: date: 18.04.2024
Published: date: 30.06.2024

The Impact of Budget Revenue and Expenditure Forecasting Errors on Inflation in Turkey: An Analysis of the 1975-2021 Period

Berat Kara ^{1*}

¹ Istanbul Medeniyet University, Department of Public Finance; berat.kara@medeniyet.edu.tr

* Doctoral Student, Istanbul University, Public Finance PhD Program

Orcid: 0000-0002-6948-2197

Abstract: The forecasts embedded in the state budget both influence and are influenced by economic indicators. The divergence of budget forecasts from reality or the occurrence of inaccuracies due to various reasons significantly affects specific economic indicators. In the majority of cases, inaccurate forecasts lead to deviations in certain economic indicators. This study addresses this issue within the context of Turkey for the period 1975-2021. Budget forecasts in Turkey often yield inaccurate results. The Prais-Winsten regression method is employed to analyze whether errors in revenue and expenditure have any impact on inflation. The analysis reveals that expenditure errors have an inflationary impact. This situation is consistent with the tendency in Turkey for expenditure errors to result in higher-than-forecasted. While there are studies in the literature examining the impact of inflation on forecasting errors, there is a notable gap in research focusing on the reverse scenario. This study aims to fill this gap and contribute significantly to the existing literature.

Keywords: Revenue Forecasting Error, Expenditure Forecasting Error, Inflation, Turkey, Prais-Winsten

1. Introduction

The state budget, a foundational document for the upcoming fiscal year and subsequent periods, serves as a comprehensive projection of forecasted revenue, expenditure, and the equilibrium between the two. These forecasts encapsulate the financial strategies and objectives of the government, and their efficacy is gauged by the precision and realism of the budget forecasts. The realism of these forecasts is appraised through the quantification of deviations from actualized values.

The formulation of the budget requires a strategic orientation to support macroeconomic development and optimizing the judicious utilization of public resources [1]. Specifically, budget forecasts must be precise, reliable, and encompass meaningful components within a designated time frame, with a focus on clarity, comprehensibility, and implementability [2]. Governments articulate their fiscal policy outlook through budget forecasts, fundamentally composed of predictions regarding revenue, expenditure, and budgetary balance. There is a particular emphasis on the pivotal roles played by revenue and expenditure forecasts in outlining annual budgets and establishing objectives [3].

Effectively managing the public economy necessitates the development of prudent budget plans, intrinsically linked to the intricate interplay between macroeconomic variables, fiscal policy dynamics, and the relationship between budgetary revenues and expenditures. Unbiased, comprehensive, and accurate information is not only imperative for the formulation of budget plans but also crucial for the timely and effective implementation of fiscal policy measures [4].

Forecasting errors, in many instances, exert adverse effects on various macroeconomic variables, with inflation holding a distinct position¹. The literature underscores inflation as a significant factor contributing to inaccuracies in budget forecasts [5] [6] [7] [8] [9]. Maintaining inflation at a predictable and acceptable level is, therefore, imperative. Consequently, a comprehensive study addressing all facets of inflation becomes paramount.

Inflation's significance extends beyond its impact on budget forecasts to include its susceptibility to forecasting errors. Unrealistically prepared forecasts can have varied implications for inflation over the fiscal year. Exceeding budgeted expenditures may trigger an expansive effect in the market, leading to an inflationary upswing. Conversely, underspending in comparison to the planned budget may exert contractionary effects, mitigating inflation. Similar scenarios unfold in revenue forecasts, where surpassing anticipated revenue can curb inflation, while significantly falling short of forecasted revenue may contribute to an inflationary surge.

Especially in developing economies such as Turkey, dealing with inflation adds to the challenges already presented by structural issues, further complicating efforts to combat inflation. Therefore, among the measures required to tackle inflation, the prevention of forecast errors that intensify inflation becomes critically important.

The existing literature primarily focuses on the impact of inflation on budget forecast errors. This study conducted an analysis to examine the impact of budget forecasting errors in revenue and expenditure on inflation in Turkey. Considering diverse factors, including data availability, the study spans the period from 1975 to 2021. Due to the presence of a unit root problem in the dependent variable and autocorrelation issues among the variables, the Prais-Winsten regression model was employed in the study. The results indicate that an increase in expenditure forecasting error contributes to an inflationary effect. On the other hand, it did not identify a relationship between revenue forecast errors and inflation.

2. Materials and Methods

In numerous countries with emerging economies grappling with economic and political vulnerabilities, such as Turkey, the propensity for budget forecasts to exhibit inaccuracies is a recurrent phenomenon. The existing literature has extensively delved into the causes and consequences of these forecasting errors within the Turkish context, as evidenced by studies such as those conducted by Bağdigen (2002; 2005), Aslan and Bilge (2009), Özcan (2017), Özcan and Tosun (2014), Yılmaz (2019), Erdoğan and Yorulmaz (2019), Ünsal et al. (2020), and Yaşa et al. (2020) [10-18]. Despite the comprehensive exploration of various aspects of forecasting errors, a notable gap exists in the literature, as none of these studies has undertaken an analysis to ascertain whether forecasting inaccuracies exert an influence on inflation dynamics. Recognizing this gap, the present study endeavors to contribute to the existing body of knowledge by specifically scrutinizing the impact of forecasting inaccuracies on inflation, thereby providing a nuanced understanding of this intricate relationship and enhancing the comprehensiveness of the literature on economic forecasting and inflation dynamics in Turkey.

The data in this study have been compiled from sources including the Central Bank of the Republic of Turkey, the Ministry of Treasury and Finance of Turkey, and the Presidency of Strategy and Budget. Information pertaining to the data is presented in the table below.

Table 1. Abbreviations and Explanations

Data	Abbreviation	Source	Explanation
Inflation	INF	The Central Bank	Annual inflation rate.
Expenditure Forecasting Error	EXP	The Ministry of Treasury and Finance	Current year expenditure forecasting error.
Revenue Forecasting Error	REV	And	Current year revenue forecasting error.

¹ Instances in which the government deviates from systematically planned budget forecasts are, of course, exceptions to this. For example, when a government seeks to engender an expansive or contractionary effect in the economy, straying from budget forecasts can yield results that are not adverse but, on the contrary, remedial in addressing issues.

Lagged Expenditure Forecasting Error	ELG	The Presidency of Strategy and Budget	Previous year expenditure forecasting error.
Lagged Revenue Forecasting Error	RLG		Previous year revenue forecasting error.

The calculation of errors has been methodically executed by assessing the ratio of the deviation amount of the actual outcomes from the forecasted values². To further fortify the credibility of the interpretation of the relationship and the robustness of the analytical outcomes, the incorporation of data from the previous year has been deemed imperative. This strategic inclusion is motivated by the intention to avoid incongruence with existing studies in the literature that posit inflation as a consequence of forecasting errors. By incorporating data from the preceding year, the analysis aims to provide a comprehensive perspective on the temporal dynamics of the observed relationship, thereby ascertaining whether the impact of errors on inflation persists over a period longer than one year.

Prior to delving into the intricacies of the analyses, it is imperative to present a visual representation of the relationships between the pertinent data points. To this end, A table containing the data and a series of graphs have been meticulously crafted to illustrate the interplay and trends among the variables, laying a solid foundation for the subsequent analytical exploration.

Table 2. Inflation and Current and Prior Revenue & Expenditure Forecasting Errors in Turkey

PERIOD	INF	EXP	ELG	REV	RLG	PERIOD	INF	EXP	ELG	REV	RLG
1975	19.8	10.6	0.3	19.0	1.3	1999	68.8	2.7	4.6	3.9	8.1
1976	16.4	5.3	10.6	11.1	19.0	2000	39	0.4	2.7	1.7	3.9
1977	28	9.9	5.3	14.0	11.1	2001	68.5	40.0	0.4	4.3	1.7
1978	47.2	35.7	9.9	34.4	14.0	2002	29.7	14.9	40.0	5.1	4.3
1979	56.8	55.5	35.7	51.1	34.4	2003	18.4	1.6	14.9	1.7	5.1
1980	107.2	49.0	55.5	37.9	51.1	2004	9.3	7.1	1.6	5.4	1.7
1981	36.8	4.7	49.0	2.0	37.9	2005	7.72	6.8	7.1	9.1	5.4
1982	27	2.2	4.7	7.2	2.0	2006	9.65	2.8	6.8	7.8	9.1
1983	30.5	12.1	2.2	9.3	7.2	2007	8.39	0.3	2.8	0.7	7.8
1984	49.7	23.0	12.1	26.8	9.3	2008	10.06	1.6	0.3	1.8	0.7
1985	44.2	13.7	23.0	17.1	26.8	2009	6.53	3.0	1.6	14.1	1.8
1986	30.7	9.4	13.7	0.4	17.1	2010	6.4	2.1	3.0	7.0	14.1
1987	55.1	11.3	9.4	0.6	0.4	2011	10.45	0.1	2.1	5.4	7.0
1988	75.2	0.8	11.3	7.8	0.6	2012	6.16	2.5	0.1	0.1	5.4
1989	68.8	13.2	0.8	6.9	7.8	2013	7.4	0.1	2.5	3.9	0.1
1990	60.6	4.3	13.2	3.1	6.9	2014	8.17	1.3	0.1	4.1	3.9
1991	71.1	22.2	4.3	7.8	3.1	2015	8.81	5.6	1.3	5.4	4.1
1992	67.9	6.4	22.2	0.4	7.8	2016	8.53	1.4	5.6	1.1	5.4
1993	71.4	18.2	6.4	3.7	0.4	2017	11.92	3.8	1.4	4.0	1.1
1994	125.5	8.3	18.2	2.5	3.7	2018	20.3	6.6	3.8	7.0	4.0
1995	76	22.2	8.3	1.0	2.5	2019	11.84	3.0	6.6	1.7	7.0
1996	79.8	10.6	22.2	1.7	1.0	2020	14.6	8.5	3.0	7.5	1.7
1997	99.1	21.9	10.6	8.1	1.7	2021	36.08	15.5	8.5	27.3	7.5
1998	69.7	4.6	21.9	8.1	8.1						

² [(Actual-Forecast) / Forecast] * 100

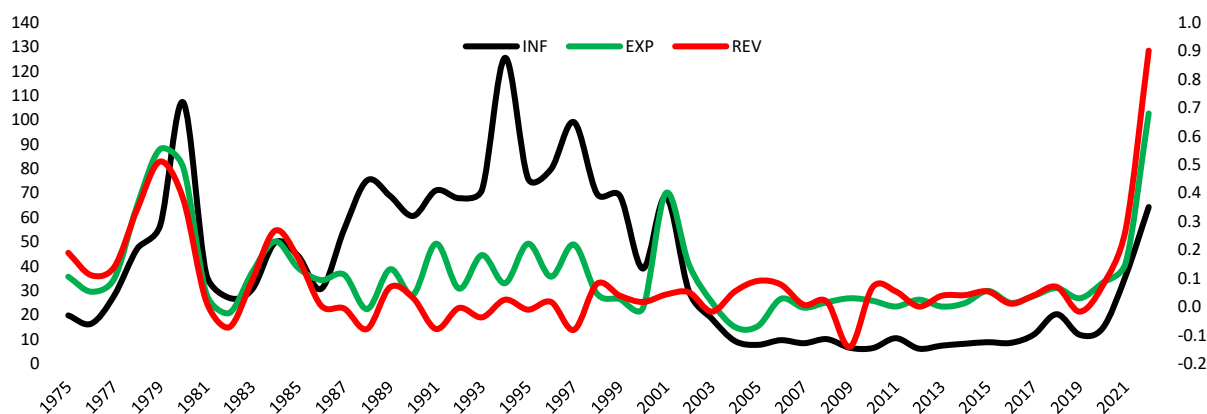


Figure 1. Inflation and Current Forecasting Errors

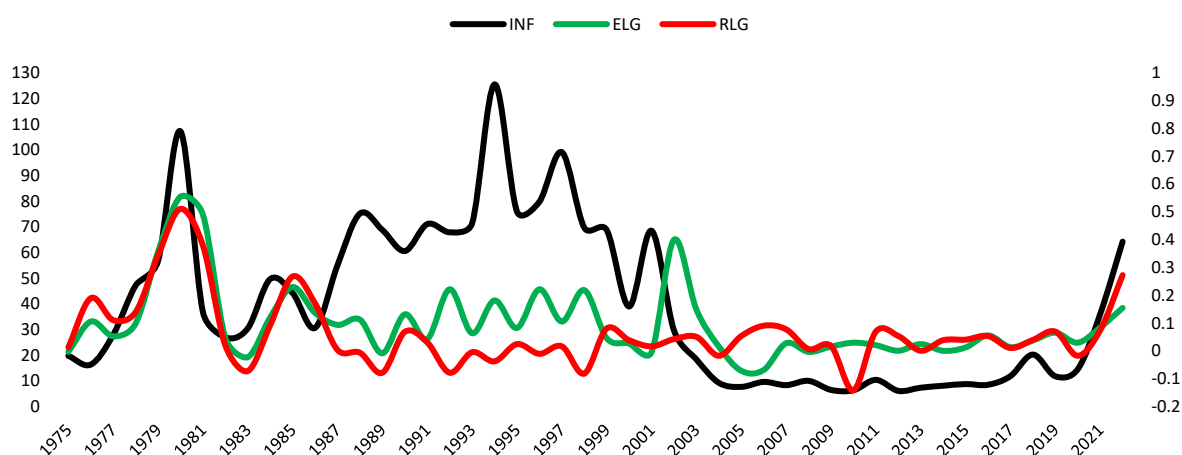


Figure 2. Inflation and Previous Year Forecasting Errors

The graphical representations elucidate a discernible correlation between the errors of both the current year and the previous year and the fluctuations in inflation. Notably, there are intervals where the errors of the current year exhibit a parallel movement with inflation, while in distinct instances, a discernable association is identified between the errors of the previous year and inflation. This variability can be attributed to the unique circumstances that Turkey undergoes during the specified period under investigation. The diverse factors contributing to economic instability in particular periods serve as the underlying cause for the observed dissimilarity in the graphical trends. However, beyond the graphical depiction of this phenomenon, it becomes imperative to bolster these observations econometrically. In doing so, a comprehensive understanding of the intricate dynamics governing the relationship between errors and inflation can be achieved, adding depth and rigor to the analytical framework of the study.

The data were subjected to regression analysis using the "Stata 15" software. The descriptive statistics of the data are presented in the table below.

Table 3. Descriptive Statistics

	INF	EXP	ELG	REV	RLG
Mean	39.17468	0.10783	0.104596	0.087681	0.082149
Median	30.5	0.066	0.064	0.054	0.054
Maximum	125.5	0.555	0.555	0.511	0.511
Minimum	6.16	0.001	0.001	0.001	0.001

Std. Dev.	31.05588	0.125474	0.126188	0.106692	0.10357
Skewness	0.786601	1.979992	2.010532	2.251743	2.489634
Kurtosis	2.785776	6.678169	6.742629	7.981393	9.286918
Jarque-Bera	4.936675	57.20369	59.09511	88.31234	125.957
Probability	0.084726	0	0	0	0
Sum	1841.21	5.068	4.916	4.121	3.861
Sum Sq. Dev.	44365.51	0.724209	0.732481	0.52363	0.493426
Observations	47	47	47	47	47

The unit root test results for the series are presented in the table below.

Table 4. Unit Root Tests Results

Phillips–Perron (PP) At Level						
		INF	EXP	ELG	REV	RLG
With Constant	t-Statistic	-2.2676	-4.1018	-4.25	-2.6424	-3.5588
	Prob.	0.1865	0.0024***	0.0015***	0.0921*	0.0106**
With Constant & Trend	t-Statistic	-2.8841	-5.6357	-7.6201	-2.472	-4.0718
	Prob.	0.1769	0.0001***	0.0000***	0.3399	0.0129**
Without Constant & Trend	t-Statistic	-1.1061	-3.1139	-3.0946	-2.6652	-2.6358
	Prob.	0.24	0.0025***	0.0027***	0.0088***	0.0095***
Phillips–Perron (PP) At First Difference						
		INF	EXP	ELG	REV	RLG
With Constant	t-Statistic	-9.5351	-12.7746	-14.9941	-6.0448	-9.6773
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
With Constant & Trend	t-Statistic	-9.4945	-12.5259	-14.6721	-6.5291	-10.112
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
Without Constant & Trend	t-Statistic	-9.6579	-13.2935	-15.1813	-6.2718	-9.4968
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
Augmented Dickey–Fuller (ADF) At Level						
		INF	EXP	ELG	REV	RLG
With Constant	t-Statistic	-1.828	-4.0716	-4.1397	-3.8095	-3.934
	Prob.	0.3626	0.0026***	0.0021***	0.0055***	0.0044**
With Constant & Trend	t-Statistic	-3.0603	-4.7305	-4.9557	-4.2136	-3.8306
	Prob.	0.1279	0.0022***	0.0011***	0.0091***	0.0259**
Without Constant & Trend	t-Statistic	-0.9642	-1.5535	-1.2862	-1.5969	-2.2738
	Prob.	0.2944	0.1118	0.1799	0.103	0.0238**
Augmented Dickey–Fuller (ADF) At First Difference						
		INF	EXP	ELG	REV	RLG
With Constant	t-Statistic	-9.1081	-8.0672	-7.2382	-6.8915	-6.7717
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
With Constant & Trend	t-Statistic	-9.0428	-7.9605	-7.1674	-6.8764	-6.6752
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
Without Constant & Trend	t-Statistic	-9.2125	-8.156	-7.3304	-6.9821	-6.8504
	Prob.	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***

Note: (*) Significant at the 10%; (**) Significant at the 5%; (***) Significant at the 1%.

* MacKinnon (1996) one-sided p-values [19].

Due to the non-stationarity of the dependent variable, inflation, and the presence of autocorrelation issues among the variables, it was decided to use the Prais-Winsten regression in the study. The Prais-Winsten model is considered the most suitable regression model for datasets containing non-stationary variables and error terms exhibiting changing variance and autocorrelation in the literature.[20-39]

The Prais-Winsten method is an enhanced version of the Cochrane-Orcutt regression method. In this method, instead of using the Ordinary Least Squares method to estimate the parameters of the regression, the Generalized Least Squares method is applied, assuming that errors follow a first-order autoregressive process. Unlike the Cochrane-Orcutt method, the Prais-Winsten model is able to preserve the first observation and prevent the loss of one of the observations (Prais and Winsten, 1954). Given the relatively small number of observations in the study and its more advanced nature, this method has been deemed appropriate for preference.

The method in question overcomes autocorrelation by considering the "rho" value and error correlation coefficient, and it performs a transformation based on the difference between the original value and the rho value and lag value or previous value, obtaining a new value free from autocorrelation issues through specific calculations while taking the first observation into account to obtain a general observation of the sample. Whether the model eliminates autocorrelation is measured by the Durbin-Watson statistic. A value approaching 2 indicates that autocorrelation issues have been addressed.

Following deciding on the model to be used, the regression analysis was conducted. In the analyses, inflation was modeled as the dependent variable, while revenue and expenditure forecasting errors, along with their one-period lagged forms, were included as independent variables in the model. The results of the regression analysis are presented in the table below.

Table 5. Prais-Winsten Regression Analysis Results

INF	Coefficient	Standard Error	t	P>t	[95% Conf. Interval]	
EXP	99.92515	35.48951	2.82	0.007***	28.35372	171.4966
ELG	64.55501	35.98199	1.79	0.080*	-8.00959	137.1196
REV	26.66801	45.80905	0.58	0.564	-65.71475	119.0508
RLG	-2.816602	49.40126	-0.06	0.955	-102.4437	96.81053
rho			0.6376967			
Durbin-Watson statistic (original)			0.761675			
Durbin-Watson statistic (transformed)			1.817363			
Number of Observations			47			
F (4, 43)			7.83			
Prob > F			0.0001			
R-squared			0.4213			
Root MSE			19.741			

(*) Significant at the 10%; (**) Significant at the 5%; (***) Significant at the 1%

*MacKinnon (1996) one-sided p-values [19].

As can be seen from Table 4, the (p) and R² values indicate the validity of the established model. The Durbin-Watson statistic approaching 2 demonstrates that autocorrelation issues have been resolved in the model.

Based on the findings derived from the statistical analysis, it is discerned that EXP and ELG exhibit a statistically significant impact. Notably, errors in forecasting expenditure manifest considerable effects on the inflationary dynamics. Considering that EXP is significant at the 1% level and ELG is significant at the 10% level, it is observed that the current year's expenditure forecast error is much more effective than the previous year's forecast error on inflation. When we look at the revenue forecast error, it is

understood that both the current year's and the previous year's forecast errors have no impact on inflation.

When consolidating these outcomes, it becomes evident that the observed relationship between forecasting errors and inflation conforms to theoretical expectations. Specifically, in the context of Turkey, the proclivity for expenditure forecasting errors to predominantly manifest as *higher-than-anticipated expenditures* frequently precipitates inflationary outcomes, owing to the expansive impact of public expenditures on the economy. Indeed, the evidence attests that in Turkey, expenditure forecasting errors exhibit an inflationary proclivity. Moreover, both current-year and prior-year forecasting errors exhibit an equivalent effect on inflation, suggesting a sustained influence persisting for a minimum of two years.

Assessing the econometric robustness of the model, it is ascertained that both the P-value, R-Squared value, and Root MSE value attain statistically commendable levels. Furthermore, as elucidated earlier, the coefficients of the variables align with the extant theoretical literature and yield statistically significant results. Nevertheless, to assert the successful establishment of the model, various additional tests necessitate undertaking. The outcomes of the multicollinearity test conducted for this purpose are delineated in the tables immediately succeeding the correlation matrix table below.

Table 6. Correlation Matrix

	INF	EXP	ELG	REV	RLG
INF	1				
EXP	0.5175 0.0002	1			
ELG	0.4456 0.0017	0.4474 0.0016	1		
REV	0.1783 0.2306	0.7373 0.0000	0.3795 0.0085	1	
RLG	0.1882 0.2053	0.4900 0.0005	0.7523 0.0000	0.5776 0.0000	1

Table 7. Multicollinearity Tests Results

Variable	VIF	1/VIF
REV	3.03	0.330521
EXP	2.70	0.370293
RLG	2.50	0.399413
ELG	2.39	0.418703
Mean VIF		2.65

As can be observed from Table 6, the results of the Multicollinearity (VIF) test indicate that there is no issue of multicollinearity in the model. This is evident as none of the values in the first column exceed 10, and none of the values in the second column are below 0.10.

3. Conclusion

The state budget stands as a paramount document within modern economies, and particularly in developing and deemed fragile economies like Turkey. It is acknowledged as a critical instrument due to its role in guiding economic decisions and shaping the fiscal landscape of the future. The forecasts embedded in the budget, beyond being a reflection of the economic outcomes of the past period, assume the character of a guiding document providing insights into the contours of the forthcoming economic landscape. Functioning as a guiding beacon for economic decision-makers, the budget is heavily influenced by the prevailing economic conjuncture and economic indicators. Consequently, the

budget, viewed as an outcome of these factors, concurrently serves as an instrument for addressing certain challenges that arise within the economic conjuncture and economic indicators.

In this context, the budget, influenced by the economic environment and indicators, becomes an indispensable tool for resolving various issues. Notably, the achievement of this resolution is often realized through the medium of forecasts embedded within the budget.

Although budget forecasts are heavily influenced by macroeconomic indicators, it is crucial to recognize that these forecasts also exert an impact on the indicators themselves. The significance of this impact becomes more pronounced, particularly when budget forecasts yield inaccurate results. This reciprocal relationship between budget forecasts, macroeconomic indicators and economic conjuncture is a natural outcome. Indeed, the utilization of the budget as a tool to influence macroeconomic indicators, as mentioned above, is reflective of the inherent characteristic and scope of its impact.

The inherent relationship between budget forecasts and macroeconomic indicators underscores the intricate interplay between these elements. Furthermore, when budget forecasts are inaccurately realized, the repercussions reverberate through the macroeconomic landscape, influencing economic indicators and the overall economic conjuncture. This dynamic interaction exemplifies the multifaceted nature of the budget, extending beyond its role as a predictive tool to a more active participant in shaping the economic landscape.

In the context of this study, the aforementioned scenario has been examined within the scope of Turkey for the period spanning from 1975 to 2021. The selection of this timeframe is primarily predicated upon the economic robustness of the data and its econometric validity, coupled with the frequency of publication. The consideration of this timeframe is contingent upon the availability of data reflecting the economic health and the econometric soundness, in addition to the regularity of publication.

To undertake this analysis, diverse datasets sourced from various official channels were compiled, and a rigorous examination of these data ensued through the application of the regression method. This analytical approach was chosen to discern and interpret the intricate relationships between budgetary forecasting errors and their subsequent impact on inflation within the specified temporal framework.

Within the analysis, inflation has been modeled as the dependent variable, while forecasting errors in income and expenditure for both the current year and the preceding year have been modeled as independent variables. The statistical analysis reveals that expenditure forecasting errors yielded significant results in the model. The analysis results have shown that while the forecast errors of current year and past year expenditure have an inflation-enhancing effect, both the forecast errors of current year revenue and the forecast error of the previous year's revenue have no impact on inflation.

The observed relationship aligns with theoretical expectations, indicating that expenditure forecasting errors tend to drive inflation in Turkey due to higher-than-anticipated expenditures' impact. The weaker but still significant and effective impact of the forecast error in expenditure from the previous year compared to the forecast error in expenditure for the current year demonstrates that the effect of expenditure forecast errors on inflation begins to decrease after one year.

In summary, the analysis results indicate that forecasting errors, consistent with theoretical expectations, exert a significant influence on inflation in Turkey. In this study, this phenomenon has been analyzed with a one-year lag. However, the significance of the lagged values emerging even after one year suggests that the relationship persists for a minimum of two years. Considering this inference, it is believed that conducting analyses with additional lagged values in future studies will contribute significantly to the literature.

Author Contributions: All authors contributed equally to this study.

Funding: This research did not receive external funding.

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

References

- [1] P. Ulla, "Assessing Fiscal Risks through Long-Term Budget Projections," *OECD Journal on Budgeting*, vol. 6, no. 1, pp. 127-187, 2006.
- [2] W. J. Stevenson, *Operations Management*, 11 ed., New York: The McGraw-Hill Irwin, 2012.
- [3] T. Leal, J. J. Pérez, M. Tujula and J.-P. Vidal, "Fiscal Forecasting: Lessons from the Literature and Challenges," *Fiscal Studies*, vol. 29, no. 3, p. 347-386, 2008.
- [4] V. Botrić and M. Vizek, "Forecasting Fiscal Revenues in a Transition Country: The Case of Croatia," *Zagreb International Review of Economics & Business*, vol. 15, no. 1, pp. 23-36, 2012.
- [5] W. M. Gentry, "Do State Revenue Forecasters Utilize Available Information?," *National Tax Journal*, vol. 42, no. 4, pp. 429-439, 1989.
- [6] C. M. Allan, "Fiscal Marksmanship, 1951-1963," *Oxford Economic Papers*, vol. 17, no. 2, pp. 317-327, 1965.
- [7] A. Afonso and J. Silva, "The Fiscal Forecasting Track Record of the European Commission and Portugal," *ISEG Economics Working Paper No. 37/2012/DE/UECE*, Lisbon, 2012.
- [8] L. Sedmíhradská and A. Čabla, "Budget Accuracy in Czech Municipalities and the Determinants of Tax Revenue Forecasting Errors," *Ekonomická revue - Central European Review of Economic Issues*, vol. 16, no. 4, p. 197-206, 2013.
- [9] J. Aizenman and R. Hausmann, "The Impact of Inflation on Budgetary Discipline," *Journal of Development Economics*, vol. 63, no. 2, p. 425-449, 2000.
- [10] M. Bağdigen, "How Accurate is Revenue Forecasting in Turkey? An Empirical Analysis," *Yapi Kredi Economic Review*, vol. 13, no. 2, pp. 29-37, 2002.
- [11] M. Bağdigen, "An Empirical Analysis of Accurate Budget Forecasting in Turkey," *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 190-201, 2005.
- [12] M. Aslan and S. Bilge, "Türkiye de 1950 2006 Döneminde Bütçe Gelir Gider Yönetimi Üzerine Ampirik Bir Çalışma: Tek Parti ve Koalisyon Hükümetlerinin Karşılaştırması," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 14, no. 3, pp. 265-288, 2009.
- [13] S. Özcan, "Türkiye' de 1924-2012 Yılları Arası Genel Bütçe Gelir ve Gider Tahminlerinin Doğruluğunun Değerlendirilmesi," *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 19, no. 2, pp. 701 - 724, 2017.
- [14] S. Özcan and M. Tosun, "Milli Eğitim Bakanlığı Bütçe Tahminlerinin Doğruluk İlkesi Açısından Değerlendirilmesi," *Sosyoekonomi*, vol. 22, no. 22, pp. 367-384, 2014.
- [15] E. Yılmaz, "Vergi Gelirlerinin Tahminlenmesine Yönelik Ekonometrik Model," *Vergi Dünyası*, vol. 449, pp. 38-47, 2019.
- [16] H. Erdoğan and R. Yorulmaz, "Comparison of Tax Revenue Forecasting Models for Turkey," in *34. International Public Finance Conference*, Antalya, 2019.
- [17] H. Ünsal, A. Çalışkan, D. Koçak and Y. Ertürk, "Kamu Mali Yönetimi Kapsamında Çok Değişkenli Gri Tahmin Modeli ile Vergi Gelirleri Tahmini," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 7, no. Özel Sayı, pp. 1104-1120, 2020.
- [18] A. A. Yaşa, S. Şanlısoy and A. Özen, "Bütçe Tutarlılığı ile Politik İstikrarsızlık İlişkisi: Türkiye' de 1984- 2018 Dönemi Analizi," *Sosyoekonomi*, vol. 28, no. 44, pp. 337-354, 2020.
- [19] J. G. MacKinnon, "Numerical Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests," *Journal of Applied Econometrics*, vol. 11, no. 6, pp. 601-618, 1996.
- [20] E. Mehic, S. Silajdzic and V. Babic-Hodovic, "The Impact of FDI on Economic Growth: Some Evidence from Southeast Europe," *Emerging Markets Finance and Trade*, vol. 49, no. Supplement 1: Domestic and Global Policy Issues in Emerging Economies (January-February 2013), pp. 5-20, 2013.
- [21] G. Önder and Z. Karal Önder, "Determinants of Foreign Direct Investments Outflow From a Developing Country: the Case of Turkey," *Business Management and Education*, vol. 11, no. 2, pp. 241-255, 2013.
- [22] A. Thomas, L. Spataro and N. Mathew, "Pension funds and stock market volatility: An empirical analysis of OECD countries," *Journal of Financial Stability*, vol. 11, pp. 92-103, 2014.
- [23] N. Beck and J. N. Katz, "What to do (and not to do) with Time-Series Cross-Section Data," *The American Political Science Review*, vol. 89, no. 3, pp. 634-647, 1995.
- [24] J. J. D. Langoyan and N. S. Ereno, "On the Efficiency of the Cochrane-Orcutt and Prais-Winsten Regression for AR (1) Model," in *Proceedings 2nd ISI Regional Statistics Conference*, Indonesia, 2017.
- [25] H. Bimanto, H. B. Notobroto and S. Melaniani, "Application of the Prais Winsten Method in Overcoming Autocorrelation on Life Expectation Factors," *Jurnal Biometrika dan Kependudukan*, vol. 12, no. 1, pp. 32-40, 2023.
- [26] E. Canjels and M. W. Watson, "Estimating Deterministic Trends in the Presence of Serially Correlated Errors," *The Review of Economics and Statistics*, vol. 79, no. 2, p. 184-200, 1997.
- [27] D. V. Vougas, "Prais-Winsten Algorithm for Regression with Second or Higher Order Autoregressive Errors," *Econometrics*, vol. 9, no. 3, 2021.
- [28] K. R. Fabrizio, "Institutions, Capabilities, and Contracts: Make or Buy in the Electric Utility Industry," *Organization Science*, vol. 23, no. 5, pp. 1264-1281, 2012.
- [29] A. K. Jorgenson and B. Clark, "Are the Economy and the Environment Decoupling? A Comparative International Study, 1960-2005," *American Journal of Sociology*, vol. 118, no. 1, pp. 1-44, 2012.
- [30] C. Bottomley, M. Ooko, A. Gasparrini and R. Keogh, "In praise of Prais-Winsten: An Evaluation of Methods Used to Account for Autocorrelation in Interrupted Time Series," *Statistics in Medicine*, vol. 42, no. 8, pp. 1277-1288, 2023.
- [31] R. Engle and J. G. Rangel, "The Spline-GARCH Model for Low-Frequency Volatility and Its Global Macroeconomic Causes," *The Review of Financial Studies*, vol. 21, no. 3, pp. 1187-1222, 2008.

-
- [32] B. Falk and A. Roy, "Forecasting Using the Trend Model with Autoregressive Errors," *International Journal of Forecasting*, no. 21, p. 291 – 302, 2005.
- [33] P. Mishra, "Forecasting Natural Gas Price - Time Series and Nonparametric Approach," in *World Congress on Engineering*, London, 2012.
- [34] L. Bernardelli and G. H. de Castro, "Stock Market and Macroeconomic Variables: Evidence for Brazil," *Revista Catarinense da Ciência Contábil*, vol. 19, pp. 1-15, 2020.
- [35] R. Fried and U. Gather, "Robust Trend Estimation for AR(1) Disturbances," *Austrian Journal of Statistics*, vol. 34, pp. 139-151, 2005.
- [36] S. T. Akhter and H. Imran, "Geopolitics of International Relations for Pakistan, US Political Regimes and the US Bilateral Aid to Pakistan," *GSTF Journal of Law and Social Sciences*, vol. 4, no. 8, 2014.
- [37] C. Anderson, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, 2021.
- [38] R. Çelik, A. Keskin, and A. Keskin, "Türkiye’de Ekonomik Büyüme, İşsizlik ve Enflasyonun Kayıt Dışı İstihdam Üzerindeki Etkisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı", *Journal of Social Policy Conferences*, no. 80, pp. 451–474, July 2021.
- [39] M. A. Lapré and N. Tsiriktsis, "Organizational Learning Curves for Customer Dissatisfaction: Heterogeneity Across Airlines," *Management Science*, vol. 52, no. 3, pp. 352-366, 2006.

Research Article

Received: date: 06.02.2024
Accepted: date: 04.03.2024
Published: date: 30.06.2024

Elyaf Metal Tabakalı (FML) Kompozitlerin Delinmesinde Ortalama İtme Kuvveti ve Delaminasyon Faktörü Üzerinde İşleme Parametrelerinin Etkilerinin Değerlendirilmesi ve ARAS Yöntemiyle Çok Kriterli Optimizasyonu

Ali Rıza Motorcu ^{1*}, Ergün Ekici ², Gültekin Uzun ³

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Industrial Engineering, Çanakkale, Türkiye; armotorcu@comu.edu.tr

²Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Industrial Engineering, Çanakkale, Türkiye; ergunekici@comu.edu.tr

³Gazi University, Department of Manufacturing Engineering, Ankara, Türkiye; uzun.gultekin@gazi.edu.tr

Orcid: 0000-0002-9129-8935¹ Orcid: 0000-0002-5217-872X² Orcid: 0000-0002-6820-8209³

*Correspondence: armotorcu@comu.edu.tr

Öz: Bu çalışmada bir Elyaf Metal Laminat (FML) türü olan Karbon Elyaf Takviyeli Alüminyum Laminat (CARALL) kompozitin delinmesinde işleme parametrelerinin ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerine etkileri araştırılmış ve çok kriterli olarak optimize edilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri Taguchi Metodu L18 ($1^2 \times 2^3$) ortogonal diziyeye göre gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri kontrol faktörleri olarak seçilen kesici takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı işleme parametrelerinin farklı seviyelerinde kuru olarak yapılmıştır. Bu çalışmanın iki temel motivasyonu bulunmaktadır: birincisi ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerinde kontrol faktörlerinin etkilerini ayrı ayrı belirlemek ikincisi ise aynı anda minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörünü sağlayan optimum işleme parametreleri seviyelerini çok kriterli optimizasyon yöntemi ile belirlemektir. İşleme parametrelerinin çok kriterli optimizasyonu ARAS tekniği ile gerçekleştirilmiştir. ARAS tekniği için ağırlıklandırılmış karar matrislerinin hesaplanmasında kullanılan ağırlıklar Entropi Metodu ile belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çok kriterli optimizasyon sonucunda CARALL'ın delinmesinde aynı zamanda minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerlerinin elde edilmesinde işleme parametrelerinin etki sırası takım geometrisi (%87.60), ilerleme miktarı (%8.39) ve kesme hızı (%0.28) şeklinde olmuştur. Minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerlerinin elde edilmesi için işleme parametrelerinin optimum seviyeleri standart geometri takım, 100 m/dak kesme hızı ve 0.06 mm/dev ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Elyaf Metal Takviyeli Kompozit (FML); Ortalama itme kuvveti; Delaminasyon faktörü; Taguchi metodu; Optimizasyon; Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS) Tekniği; Entropi metodu ile ağırlıklandırma

Evaluation of the Influence of Machining Parameters on Average Thrust Force and Delamination Factor in Drilling Fiber Metal Layer (FML) Composites and Multi-Criteria Optimization with ARAS Method

Abstract: In this study, the effects of machining parameters on the average thrust force and delamination factor in drilling Carbon Fiber Reinforced Aluminum Laminate (CARALL) composite, a type of Fiber Metal Laminate

(FML), were investigated and optimized with multi-criteria. Machinability tests were carried out according to the Taguchi Method L18 ($1^2 \times 2^3$) orthogonal array test design. Machinability experiments were performed dry at different levels of machining parameters, such as cutting tool geometry, cutting speed, and feed rate, which were selected as control factors. This study has two main motivations: the first is to determine the effects of control factors on the average thrust force and delamination factor separately, and the second is to determine the optimum processing parameter levels that provide the minimum average thrust force and delamination factor simultaneously with the multi-criteria optimization method. Multi-criteria optimization of processing parameters was carried out with the ARAS technique. The weights used in calculating the weighted decision matrices for the ARAS technique were determined by the Entropy Method. As a result of the multi-criteria optimization performed, the order of effect of the machining parameters in obtaining the minimum average thrust force and delamination factor values in the drilling of CARALL was as follows: tool geometry (87.60%), feed amount (8.39%) and cutting speed (0.28%). The optimum levels of the machining parameters were determined as a standard geometry tool, 100 m/min cutting speed, and 0.06 mm/rev feed rate to obtain the minimum average thrust force and delamination factor values.

Keywords: Fiber Metal Reinforced Composite (FML), Average thrust force, Delamination factor, Taguchi method, Optimization, Addition Rate Assessment (ARAS) technique, Weighting with Entropy method

1. Giriş

Havacılık endüstrisinde uçakların ağırlığını azaltmanın bir yolu olarak, alüminyum ve titanyum alaşımlarına alternatif malzeme arayışları elyaf metal laminatlar (FML) kompozitlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır [1]. FML'ler, alternatif ince metal katmanlarından ve elyaf takviyeli epoksi katmanlardan oluşan kompozitlerin otoklav tekniği kullanılarak bir araya getirilmesinden yapılır [2]. FML yapılar genel olarak kullanılan elyaf türüne göre adlandırılır. Karbon elyaf takviyeli alüminyum laminatlar CARALL, cam elyaf alüminyum takviyeli epoksiler GLARE ve Aramid takviyeli alüminyum laminatlar ARALL olarak isimlendirilirler. Bir yolcu uçağında, montaj amacıyla parçaların üzerine bağlantı elemanları için ortalama 1.5-3 milyon arasında delik açılmaktadır. Delme sırasında kompozitlerde delaminasyon sorunu, Al ve Ti gibi metal alaşımlarında çapak oluşmaktadır. Havacılık endüstrisinde jetlerin yaklaşık %60'ı kompozitlerdeki delaminasyondan kaynaklanmaktadır [3,4]. Literatürde geleneksel elyaf takviyeli kompozit yapıların delinmesinde kesici takım geometrisinin [5-9] ve işleme parametrelerinin [10-12] etkileri birçok kişi araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir. Fakat FML'lerin delinmesi elyaf ve metal katmanların farklı işlenebilirlik özellikleri nedeniyle daha karmaşıktır. Literatürde FML'nin delinebilirliğini değerlendirmek üzere Ekici vd. CARALL kompozitin delinmesinde delaminasyon oluşumunu farklı hesaplama yaklaşımlarını kullanarak incelemişlerdir [13]. Ekici vd. CARALL kompozitlerin delinmesi üzerine yaptıkları diğer bir çalışmalarında, delme parametreleri ve kesici takım kaplama koşullarının delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde Gri İlişkisel Analiz (GRA), ağırlıkları belirlemek için ise Temel Bileşen Analizini (PCA) kullanmışlardır [14]. Giasin vd. 6 mm çapında TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanarak tek yönlü (UD), 2B ve 3B kalite GLARE kompozitler üzerinde delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar elyaf yöneliminin kesme kuvvetleri üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını ve benzer kesme şartlarında 3B kalitenin yüzey pürüzlülüğünün kalite 2B'ye göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, hem ilerleme miktarının hem de devir sayısının delik kalitesi ve kesme kuvvetleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir [15]. Park vd. GLARE'in Yüksek Hız Çeliği (HSS), kobalt ve karbür takımlarla delinmesinde delme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme miktarı) delik yüzeyi kalitesi, delaminasyon boyutu, tork, ve itme kuvvetine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, ilerleme miktarının malzemenin kesilmemiş kalınlığı üzerindeki girintiyi önemli ölçüde etkilediği ve metal-prepreg ara yüzünde delaminasyonun başlangıcı üzerinde daha büyük bir etkiye yol açtığı belirtilmektedir. İlerleme miktarının artması nedeniyle kesici takımın iş parçasına daha hızlı bir şekilde nüfuz etmesi, kesici takımdaki delik sapmalarını ve titreşimleri artırarak daha yüksek dairesellik hatalarına neden olmuştur [16]. Ekici vd. CARALL kompozitin farklı geometri matkaplarla kesme parametrelerinin seviyelerinin değişimine bağlı olarak delinmesinde çıkış delaminasyonu ve kesilmemiş elyaf oluşumunu incelemişlerdir. Araştırmacılar ileri ve kapsamlı bir delaminasyon değerlendirmesi için çok haritalı bir görüntü işleme modeli (MMIPM)

geliştirilmişlerdir. Çalışmada ayrıca delaminasyon ve kesilememiş elyaf faktörünün (UCF) çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmek için PROMETHEE-GAIA yöntemi kullanılmıştır [17].

Bir araştırmada kontrol faktörleri ile kalite karakteristikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi oldukça elzem ve gereklidir. Bu çalışmada, Taguchi Metodu kullanılarak kontrol faktörleri ile kalite karakteristikleri arasındaki ilişkiler belirlenmiş, CARALL'ın delinmesinde kesici takım geometrisi ve işleme parametrelerinin çıkış parametreleri (yani kalite karakteristikleri); ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Böylelikle literatürde CARALL'ın işlenmesinde çok kısıtlı olarak çalışılmış olan kesici takım geometrisinin etkisinin belirlenmesiyle CARALL'ın işlenebilirliğine ciddi katkılar sağlanmış, bu konudaki yeni yapılacak çalışmalara öncülük edilmiştir. Bir malzemenin işlenebilirlik oranını belirleyen unsurların belirlenmesinde birçok çıktı parametresi (bağımlı değişken) bulunmaktadır ve giriş parametreleri ise (kontrol faktörleri/bağımsız değişkenler) çıktı parametreleri üzerinde farklı oranlarda etkili olmaktadır. Bir iş parçası işlendiğinde o malzemenin işlenebilirliğini tanımlayan/belirleyen ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü vd. tüm kriterlerin/karakteristiklerin en uygun değerlerinin aynı anda sağlanması gerekmektedir. Bu kalite karakteristiklerinin aynı anda, bir bütün olarak değerlendirilmesi ise çok kriterli optimizasyon teknikleri ile sağlanabilmektedir. Fakat literatürde CARALL'ın işlenebilirliğinin çok kriterli optimizasyon yöntemleri ile değerlendirildiği yeterli bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada CARALL'ın farklı geometri ile takımlarla delinmesinde işleme parametrelerinin ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerindeki araştırılmıştır. Delik delme işleminde minimum ortalama itme kuvveti (F_t) ve delaminasyon faktörü (D_f) değerleri için işleme parametrelerinin çok kriterli optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. İşleme parametrelerinin çok kriterli optimizasyonu Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sistematik optimizasyon çalışması sonucunda doğruluk ve güven seviyesi yüksek sonuç ve bulgularla literatürdeki bu eksiklik giderilmiştir. Bu araştırmanın bulgu ve sonuçların CARALL'ın işlenebilirlik veri tabanlarının gelişimine katkı sağlayacağı, yapılacak bilimsel ve akademik çalışmalara kaynak olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal Ve Yöntem

CARALL'ın işlenmesinde kontrol faktörleri olarak seçilen işleme parametrelerinin ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkilerini belirlemek ve işleme parametrelerinin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışma ve bulgularının değerlendirilmesinde kullanılan materyal ve yöntemler bu başlık altında verilmiştir.

2.1. İş Parçalarının Üretimi, Kesici Takımlar, CNC Dik İşleme Merkezi ve Delme Deneyleri

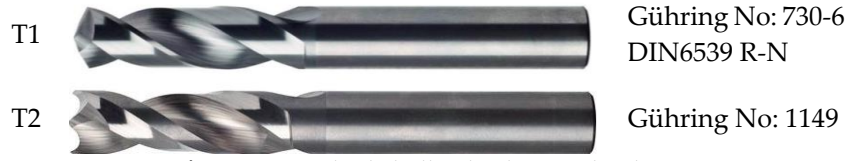
Deneysel iş parçası olarak kullanılmak üzere CARALL kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen CARALL malzemesi her biri üç kat 245 g/m² dokuma karbon kumaştan meydana gelen beş kat elyaf katmanı ve 0.5 mm kalınlığa sahip dört kat Al 5754 alaşımı katmanından oluşmaktadır (Figür 1).



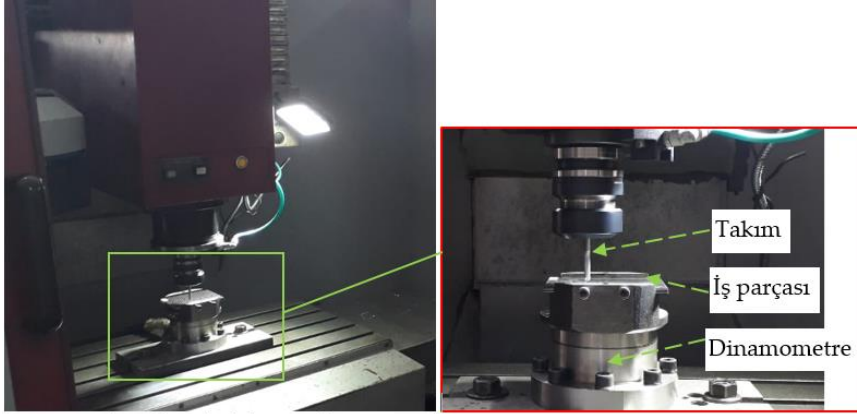
Figür 1. CARALL numunenin kesit görüntüsü.

Karbon elyaf-Al ara yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla Al 5754 alaşımı 400 mesh zımpara ile mekanik olarak zımparalanmış ve daha sonra saf su kullanılarak yüzeyler durulanarak kirlerden arındırılmıştır. Metal ve elyaf tabakalar arasında mekanik kitlenmenin geliştirilmesi yüzeydeki mikro gözeneklerin varlığını arttırmak ile mümkündür. Bu nedenle zımparalama işleminden doğan yüzey kirlilerinin giderilmesi ve yüzeyin düzenli mikro gözenek yapısına getirilmesi için sülfürik asit anotlama işlemi uygulanmıştır. Karbon elyaf ve alüminyum katmanlar Figür 1'de sunulan sıralama ile dizilerek 15 ton yük altında 125 °C'de 1 saat preslenmiştir.

Delme deneylerinde Gühring firmasından temin edilen 6 mm çapında ve toplam boyu 66 mm olan kaplamasız karbür matkaplar kullanılmıştır. T1 kodlu takım, 118° uç ve 30° helis açısında, T2 kodlu takım ise matkap çevresinde iki çıkıntılı kenar ile karakterize edilmektedir (Figür 2). Deneyler kuru delme şartlarında dik işleme merkezinde (Johnford VMC 850 marka) gerçekleştirilmiştir (Figür 3).



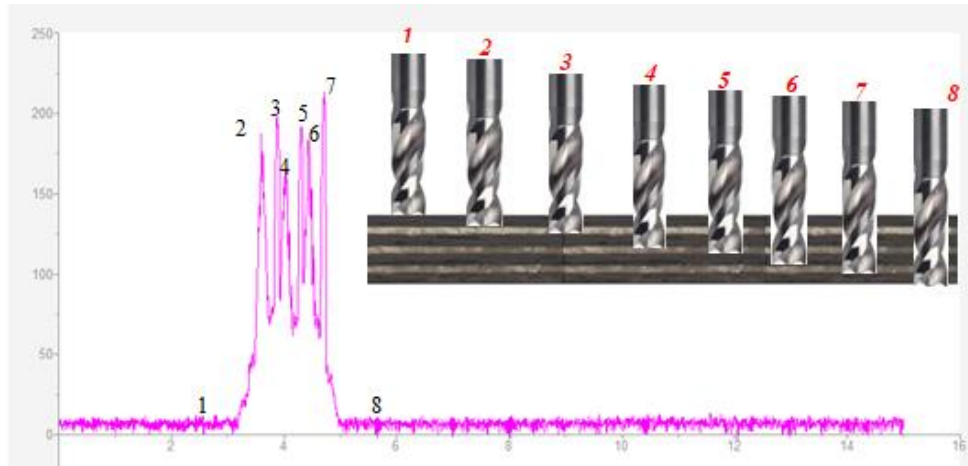
Figür 2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar.



Figür 3. Delme deneyleri düzeneği.

2.2. İtme Kuvvetinin Ölçülmesi ve Delaminasyon Faktörünün Belirlenmesi

İtme kuvvetlerinin ölçümünde Kistler 9272 tipi dinamometre kullanılmıştır. İtme kuvveti verilerinin analizinde ise Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Matkap ucunun CARALL tabakaya temas etmesi ile başlayan ve delik çıkışına kadar süren itme kuvvetinin değişimi Figür 4'te sunulmuştur. İtme kuvveti değerleri için en yüksek üç nokta alüminyum tabakanın delinmesinde elde edilirken kalan dört yükseliş karbon tabakalarda meydana gelmiştir. Delme sürecinde oluşan itme kuvveti değişimlerinin ortalaması dikkate alınmış ve bu çalışmada ortalama itme kuvveti incelenmiştir.



Figür 4. Dynoware yazılımı itme kuvveti sonuçları ve delme sürecinde takımın konumları.

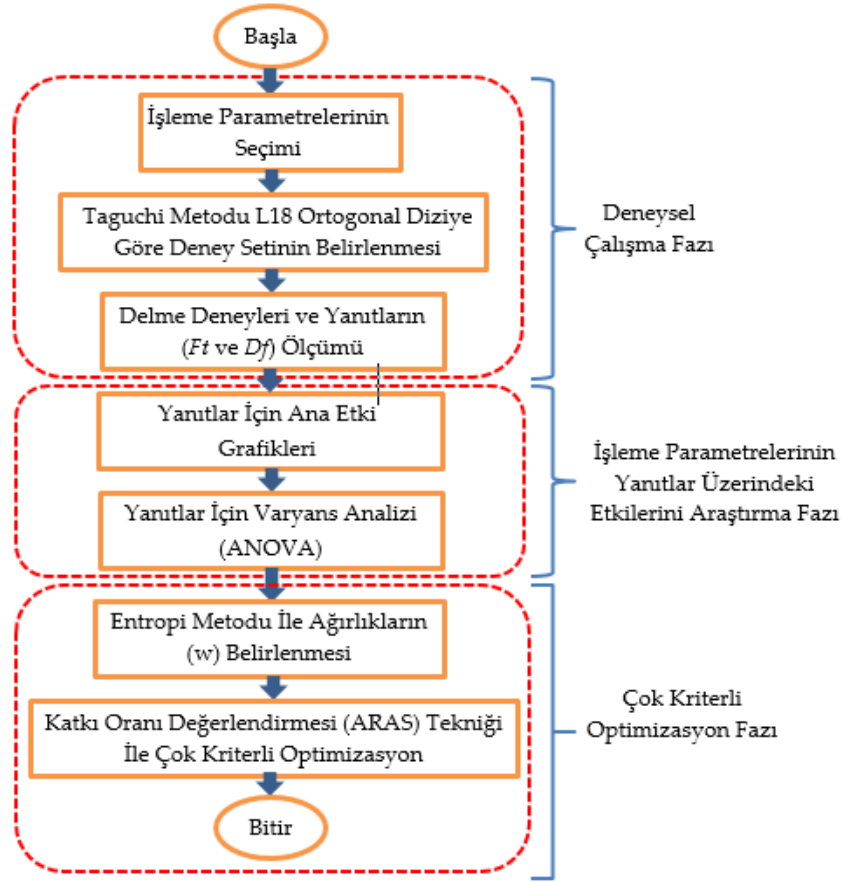
FRP'nin üstün mekanik ve termal özelliklerinden bağımsız olarak çok katmanlı yapının delinmesinde delaminasyon başlıca olmak üzere çentik ve elyaf kopması sıklıkla karşılaşılan ve bileşenleri tehlikeye atan kalıcı kusurlardır. Delik çıkış bölgesindeki delaminasyon hasarı itme kuvvetinden direkt olarak etkilenmektedir. Çünkü itme kuvveti, delaminasyon, mikro çatlamların ve diğer hasarların ana nedenidir. CFRP laminatlarının delinmesinde, takımın itme kuvveti laminalar arası kesme mukavemetini aşarsa, laminat kalınlığı içinde herhangi bir noktada iki bitişik elyaf tabakasının kopmasına neden olabilir [18, 19]. Bu durum, azaltılmış kesilmemiş laminat kalınlığının delme etkisine

karşı daha düşük dirence sahip olduğu, matkabın çıkış aşamasında daha kritik hale gelir ve Dışarı Doğru İtme Delaminasyonu olarak adlandırılır [18]. Delaminasyon faktörü birçok araştırmacı tarafından farklı şekilde incelenmiştir [20-22]. Fakat literatürde en kolay ölçüm yöntemi olan ve yaygın olarak kullanılan geleneksel delaminasyon boyut ölçümü esas alınarak Eşitlik 1’de sunulan en büyük delik hasar çapının (D_{max}) nominal delik çapına (D) oranı olarak belirlenmiştir. Delik çıkışında oluşan delaminasyon ölçümleri Dino-Lite optik mikroskop yardımıyla gerçekleştirilirken delaminasyon faktörün belirlenmesinde Dinocapture programı kullanılmıştır.

$$F_d = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$

2.3. İşleme Parametreleri, Deneysel Tasarım, İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon Prosedürleri

Bu çalışma için benimsenen süreç akış şeması Figür 5’te gösterilmektedir. Figür 5’te görüleceği üzere bu çalışma üç fazdan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci fazını deneysel çalışma faaliyetleri içermektedir. Bu fazda, CARALL kompozitin farklı geometri kesici takımlarla delinmesinde kontrol faktörleri olarak kesici takım uç geometrisi (T), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarı (f) seçilmiş ve Tablo 1’de verilen seviyelerinde işlenebilirlik (delme) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma deseninin belirlenmesinde sistematik bir yaklaşım sunduğu ve deneysel çalışma maliyetlerini azalttığı için Taguchi metodu kullanılmış ve en uygun ortogonal dizi olan L18 ($1^2 \times 2^3$) seçilmiştir.



Figür 5. Delme deneyleri, analiz ve optimizasyon çalışmaları akış diyagramı.

Tablo 1. Kontrol parametreleri ve parametre seviyeleri

Sembol	İşleme Parametreleri	Seviyeler		
		1	2	3
T	Takım geometrisi	Standart (T1)	Özel (T2)	-
V	Kesme hızı, (m/dak)	65	78	100
f	İlerleme miktarı, (mm/dev)	0.06	0.078	0.1

Araştırmanın ikinci fazı işleme parametrelerinin Ft ve Df üzerindeki etkilerini belirlemek ve işleme parametrelerinin her birinin seviyelerinin değişimine bağlı olarak Ft ve Df 'nin nasıl değiştiğini tespit etmekle ilgilidir. CARALL'ın delik delme işlemi sonrasında işleme parametrelerinin kalite karakteristikleri/yanıtlar (Ft ve Df) üzerindeki ana etki derecelerini belirlemek için Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA, %95 güvenilirlik seviyesinde ve %5 anlamlılık seviyesinde gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler ve değerlendirmeler Minitab 18 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın son fazı olan Çok Kriterli Optimizasyon Fazında (MOO) CARALL'ın delinmesinde aynı anda kalite karakteristikleri olarak seçilen minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerlerini sağlayan optimum işleme parametrelerini belirlemek için Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS) Çok Kriterli Karar Verme Tekniği kullanılmıştır. ARAS tekniğinin uygulama aşamalarında gerekli olan Ağırlıklandırılmış Karar Matrisinin elde edilmesi için kalite karakteristiklerinin önem dereceleri (ağırlıkları) Entropi metodu ile belirlenmiştir. Her iki tekniğin uygulama adımları aşağıdaki alt başlıklarda sunulmuştur.

2.3.1. Deneysel Tasarımı ve İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada CARALL'ın farklı geometriye kesici takımlarla delinmesinde en düşük ortalama itme kuvveti (Ft) ve delaminasyon faktörü (Df) değerlerini elde etmek için sinyal-gürültü oranını (S/N) hesaplamada "daha küçük en iyi" yaklaşımı seçilmiş ve işleme parametrelerinin Ft ve Df üzerindeki etkileri yansıtan ana etki grafiklerinin çizdirilmesinde kullanılmıştır. Taguchi metodunda elde edilen deney sonuçları S/N oranına dönüştürülmektedir. Sinyal, istenen değeri belirtirken gürültü, istenmeyen değeri temsil etmektedir. Ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörünün minimum olması gerektiğinden, "daha küçük en iyi" kriterine göre S/N oranları Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

Bu Eşitlikte, n gözlem sayısını y ise gözlenen verileri temsil etmektedir.

2.3.2. Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS) Tekniği İle Çok Kriterli Optimizasyon

Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS), çok kriterli bir karar verme yöntemlerinden biridir [23-26]. Bu teknikte, birçok özneliteğe dayalı olarak en iyi alternatifi seçilir ve her bir alternatifin fayda derecesi belirlenerek alternatiflerin nihai sıralaması yapılır. ARAS tekniği, nicel ölçümlere ve fayda teorisine dayanmaktadır. Fayda fonksiyonu değeri, bir alternatifin diğer alternatiflere göre göreceli verimliliğini belirler [23-26]. Telafi edici yöntemlerden biri olan ARAS, nitel nitelikler nicel niteliklere dönüştürülür ve nitelikler bağımsızdır. Bu tekniğin adımları sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

a) 1. Adım-Karar matrisinin elde edilmesi: ARAS tekniğinin ilk adımı alternatiflerin kriterlere ait skorlarının gösterildiği karar matrisinin elde edilmesidir. ARAS tekniğinde her bir kriter için optimal değerlerden oluşan bir satır da karar matrisinde bulunmaktadır [23-26]. m sayıdaki alternatiften ve n sayıdaki kriterden oluşan bir X karar matrisi Eşitlik 3'teki gibi ifade edilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 0,1, \dots, m \quad j = 0,1, \dots, n \quad (3)$$

Bu Eşitlikte; x_{0j} j . kriterin optimal değeri, x_{ij} ise i . alternatifin j . kriterde gösterdiği performans değeridir. Karar probleminde kriterlere ait optimal değer, kriterin fayda (daha yüksek daha iyi) özelliği göstermesi durumunda Eşitlik 4; maliyet (daha düşük daha iyi) özelliği göstermesi durumunda ise Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanır [23-26].

$$x_{0j} = \max_i x_{ij} \quad (4)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij} \quad (5)$$

b) 2. Adım-Normalizasyon İşlemi ve Normalize Edilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: “Normalizasyon” işlemi; kriter değerlerin oldukça geniş aralıklarda bulunuyorsa verilerin daha küçük aralıklara çekilmesi için yapılan bir dönüştürme işlemidir [24]. ARAS tekniğinde x_{ij} değerleriyle normalize karar matrisi oluşmaktadır. x_{ij} değerleri ise kriterin maliyet ya da fayda özelliği durumuna göre hesaplanır. Kriter değerlerinin maksimum olması (fayda durumu) isteniyorsa normalize değerler Eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^n x_{ij}} \quad (6)$$

Kriter değerlerinin daha düşük olması (maliyet durumu) isteniyorsa iki adımda normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. İlk adımda Eşitlik 7 yardımıyla performans değerleri fayda durumuna dönüştürülür, ikinci adımda ise normalize değerler Eşitlik 8 ile hesaplanır [24].

$$x_{ij}^* = \frac{1}{x_{ij}} \quad (7)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=0}^m x_{ij}^*} \quad (8)$$

Normalize değerlerin hesaplanmasıyla Eşitlik 9’da gösterilen \bar{X} normalize karar matrisi elde edilmiş olur.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \dots & \bar{x}_{0j} & \dots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \dots & \bar{x}_{ij} & \dots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mj} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 0,1, \dots, m \quad j = 0,1, \dots, n \quad (9)$$

c) 3. Adım-Ağırlıklandırılmış ve Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Elde Edilmesi: Bu adımda, saptanan w_j kriter ağırlıkları (önem dereceleri) kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi \hat{X} oluşturulur. Her bir kriterin önem derecesi (w_j) 0 ile 1 aralığında olmalı ve ağırlıkların toplamı ise en fazla 1 olmalıdır. Eşitlik 10’da görüldüğü üzere normalize değerlerin ağırlık değerleriyle çarpılmasıyla \hat{x}_{ij} ağırlıklandırılmış normalize değerler elde edilir [23-26].

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot w_{ij} \quad (10)$$

Hesaplanmış olan \hat{x}_{ij} ağırlıklandırılmış normalize değerler ile Eşitlik 11 ile ifade edilen matris formundaki \hat{X} ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir.

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \dots & \hat{x}_{0j} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \dots & \hat{x}_{ij} & \dots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \dots & \hat{x}_{mj} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 0,1, \dots, m \quad j = 0,1, \dots, n \quad (11)$$

d) 4. Adım-Optimallik Fonksiyon Değerlerinin Belirlenmesi: Son adımında her bir alternatif için optimallik fonksiyon değeri skorları Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanır ve alternatifler gözden geçirilerek değerlendirilir. Bu eşitlikte, S_i ; i . alternatifin optimallik fonksiyon değeridir [23-26].

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad i = 0,1, \dots, m \quad (12)$$

Hesaplanan daha büyük s_i değerleri daha optimal alternatifleri işaret etmektedir. Fayda dereceleri K_i alternatiflere ait s_i değerlerinin s_0 optimal fonksiyon değerine bölünmesiyle elde edilir (Eşitlik 13) [23-26].

$$K_i = \frac{s_i}{s_0} \quad i = 0,1, \dots, m \quad (13)$$

(0,1) aralığında değer alan K_i oranları kullanılarak alternatiflerin fayda fonksiyonu değerlerinin göreceli etkinliği hesaplanabilmektedir. Bunun için değerler büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin değerlendirilmesi yapılır [23-26].

2.3.3. Entropi Metodu İle Ağırlıklandırma

Entropi metodu, kriterlerin önem derecelerinin yani ağırlık vektörlerinin nesnel olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Entropi metodu, verilere göre hesaplanan daha güvenilir, nesnel ve objektif bir

ağırlıklandırma metodudur. Bu metot öznel yargılara göre kriterlerin ağırlıkların yanlış belirlenmesi ihtimalini ortadan kaldırır. Entropi Ağırlıklandırma metodunda veri setlerindeki tezatlıklardan en ideal ağırlık değerleri oluşmaktadır. Kriterlerin ağırlık değerleri alternatiflerin kriterlere göre sonuçlarının ne oranda farklı olacağı ile yani zıtlığının yoğunluğu ile hesaplanır. Zıtlık durumu ne kadar fazla ise ilgili kriterce ilişkilendirilen ve aktarılan bilgi de o derece fazladır. Tam tersi olarak; eğer bir kriter için alternatiflerin benzerliği ne kadar olursa o kriterin karar verme aşamasında etkisi daha fazla olacaktır [27].

Bir önceki alt başlıkta da bahsedildiği üzere, ağırlıklandırma işleminde normalleştirilmiş karar matrisindeki her bir değer bulunduğu kriterinin ağırlık katsayısı ile çarpılır. Kriterlerin önem derecesine göre ağırlık katsayılarının belirlenmiş olması ARAS metodunun nesnel yönünü açığa çıkaracaktır. Bu şekilde daha güvenilir bir ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiş olunur. Bu metotta da önem derecesi katsayıları toplamı 1'e eşit olmalıdır. Entropi metodunu uygulamakla sonuçların sıralamasının güvenilirliği artırılmış olur. Entropi metodunda ağırlıklandırılmış karar matrisi Eşitlik 14 yardımıyla hesaplanır [27]. Bu denklemde r_{ij} ; normalleştirilmiş karar matrisi R_{ij} 'dir.

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij} \quad j = \overline{1, n} \quad (14)$$

Eşitlik 14'te her bir kriterin entropi değeri e_j olup j . kriterin ağırlık değerini temsil etmektedir. Ağırlık vektörü $W = w_j$ Eşitlik 15 ile hesaplanır ve $\sum_{i=1}^n w_j = 1$ 'dir [27].

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_{p=1}^n (1-e_p)} \quad j = \overline{1, n} \quad (15)$$

Ağırlıklar da belirlendikten sonra son işlem olarak w_j değerleri ile normalize edilmiş matris çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi $N = V_{ij}$ elde edilir [27].

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, bu çalışma için benimsenen süreç akış şemasında (Figür 5) gösterilen ikinci ve üçüncü faz çalışmalarının sonuçları sırasıyla sunulacak ve tartışılacaktır. İlk alt başlıkta işleme parametrelerinin yanıtlar/performans karakteristikleri üzerindeki ana etkileri ile ilgili sonuçlar sunulacak ve tartışılacaktır. İkinci alt başlıkta ise çok kriterli karar alma tekniğinin kullanılması sonucu elde edilen optimizasyon sonuçları değerlendirilecektir.

3.1. İşleme Parametrelerinin Yanıtlar Üzerindeki Etkileri

CARALL kompozitin işleme parametrelerinin farklı seviyelerine bağlı olarak delinmesi sonrasında ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla ana etki grafikleri çizilmiştir. Buna ek olarak, işleme parametrelerinin (kontrol faktörlerinin) kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki % etki derecelerini araştırmak amacıyla Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. L18 ortogonal dizisine uygun olarak gerçekleştirilen delme deneyi sonuçları ve "en düşük en iyi" seçeneğine göre hesaplanan S/N oranları Tablo 2'de verilmiştir. CARALL'ın farklı geometri kesici takımlarla delinmesinde ortalama 94.063 N ortalama itme kuvveti ve ortalama 1.292 delaminasyon faktörü değerleri elde edilmiştir.

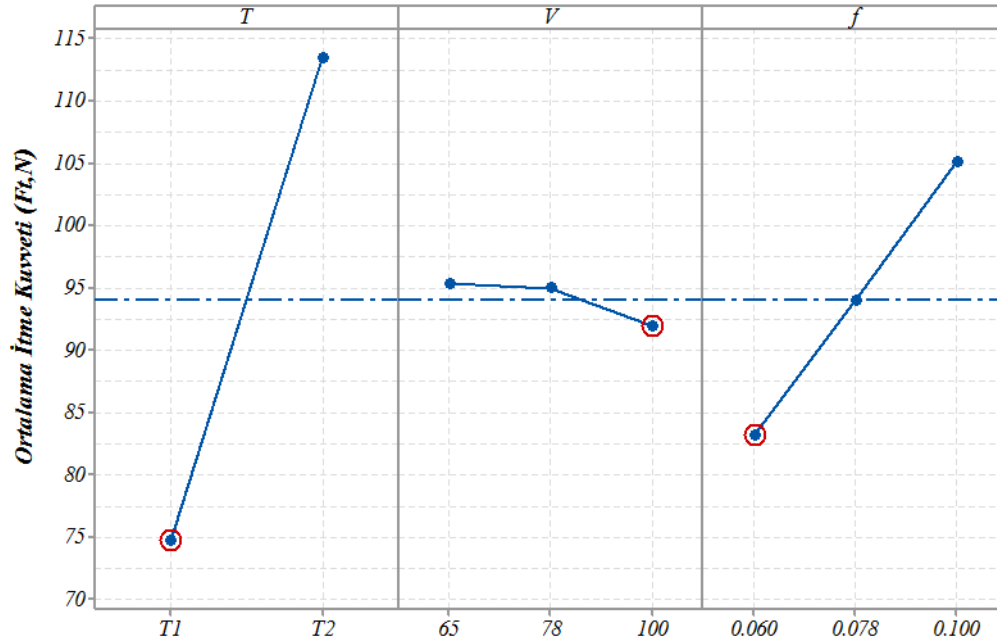
Tablo 2. L18 ortogonal dizi deney desenine göre deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

Deney No	T	V (mm/dak)	f (mm/dev)	Deneysel sonuçlar		S/N Oranları	
				Ft (N)	Df	Ft (dBA)	Df (dBA)
1	T1	65	0.060	69.115	1.059	-36.79	-0.50
2	T1	65	0.078	78.550	1.085	-37.90	-0.71
3	T1	65	0.100	86.400	1.043	-38.73	-0.36
4	T1	78	0.060	68.820	1.058	-36.75	-0.49
5	T1	78	0.078	73.890	1.103	-37.37	-0.85
6	T1	78	0.100	83.810	1.112	-38.47	-0.92
7	T1	100	0.060	64.900	1.091	-36.24	-0.76
8	T1	100	0.078	67.038	1.074	-36.53	-0.62
9	T1	100	0.100	79.950	1.038	-38.06	-0.33
10	T2	65	0.060	97.070	1.231	-39.74	-1.80
11	T2	65	0.078	114.107	1.228	-41.15	-1.79
12	T2	65	0.100	126.670	1.548	-42.05	-3.80
13	T2	78	0.060	98.880	1.604	-39.90	-4.10
14	T2	78	0.078	111.900	1.668	-40.98	-4.44
15	T2	78	0.100	132.380	1.335	-42.44	-2.51
16	T2	100	0.060	100.040	1.556	-40.00	-3.84
17	T2	100	0.078	118.260	1.557	-41.46	-3.84
18	T2	100	0.100	121.360	1.867	-41.68	-5.42
Maksimum				132.380	1.867		
Minimum				64.900	1.038		
Ortalama				94.063	1.292		

3.1.1. Ortalama İtme Kuvveti

CARALL kompozitin farklı geometrili kesici takımlarla delinmesi sonrasında ortalama itme kuvveti için ana etki grafikleri Figür 6'da sunulmuştur. Figür 6'dan ilk olarak görüleceği üzere; ortalama itme kuvveti üzerinde işleme parametrelerinin etki sırası kesici takım ucu geometrisi (T), ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V) şeklindedir. CARALL tabakalı kompozitin delinmesi farklı işlenebilirlik özelliklerine sahip alüminyum ve karbon tabakalı yapılar nedeniyle oldukça karmaşıktır. Alüminyum sünek katmanların işlenmesinde sıklıkla kesici takım sıvanması iş parçasında ise çapak oluşumu gözlenmektedir. Karbon elyafın kırılğan yapısı ve aşındırıcı doğası elyaf takviyeli tabakalı yapılarda elyaf kırılması, yırtılma ve delaminasyon oluşumu şeklinde kendini göstermektedir. Takım geometrisi tabakalı yapıların işlenmesinde farklı etki ortaya koymaktadır. Alüminyumun sünek işlenebilirliği nedeniyle literatürde sıklıkla uç açısı üzerine odaklanılmıştır. Elyaf takviyeli kompozit yapılarda ise uç geometrisinin yanı sıra özel geometrili takımlar ile ciddi araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan standart T1 kodlu takımın kesme kuvveti üzerinde pozitif etki ortaya koyduğu belirgin bir şekilde görülmüştür. T2 kodlu takım ise itme kuvvetini ciddi bir şekilde arttırmıştır. Bu durum T2 kodlu takımın taç şeklindeki çıkıntılı kesme kenar geometrisinin sünek alüminyum katmanların delinmesinde ilave bir kuvvet artışına sebep olmasıdır [17]. Düşük kesme hızının belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Kesme hızının 78 m/dak değerinden 100 m/dak değerine arttırılmasıyla azda olsa itme kuvvetlerinde bir düşüş görülmüştür. Artan kesme hızının özellikle sünek malzemelerde takım sıvanmalarını azalttığı kesme bölgesinde artan sıcaklıkların malzemenin plastik deformasyonunu kolaylaştırdığı yaygın olarak bilinmektedir [28]. Ayrıca literatürde elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delinmesinde artan kesme hızının itme kuvvetini azalttığı rapor edilmiştir [29]. Bu durum yüksek kesme hızının alüminyum malzemenin plastik deformasyonunu kolaylaştırması

olarak yorumlanır. Artan ilerleme miktarına paralel bir şekilde itme kuvvetinde ciddi bir artış görülmüştür. Artan ilerleme miktarı birim zamanda kaldırılan talaş kesitinin artışı İtme kuvveti artışının ana nedeni olarak görülmektedir [28].



Figür 6. Ortalama itme kuvveti için ana etki grafiği.

İşleme parametrelerinin ana etkilerinin ve etkileşimlerinin ortalama itme kuvveti üzerindeki etkisini yansıtan ANOVA sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Gerçekleştirilen ANOVA'nın (%95 güven seviyesinde) korelasyon katsayısı (R^2) 99.33 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayısının yüksek çıkması işleme parametrelerinin ortalama itme kuvveti üzerindeki ana etkileri ile etkileşimlerinin etkilerinin yüksek bir doğrulukla açıklanmış olduğunu göstermektedir. Ortalama itme kuvveti üzerinde istatistiki olarak anlamlı etkisi olan parametreler sırasıyla kesici takım geometrisi (%79.23) ve ilerleme miktarı (%17.02) olmuştur. Kesme hızı ortalama itme kuvveti üzerinde istatistiki olarak anlamlı ($P>0.05$) bir etki oluşturmamıştır.

Tablo 3. Ortalama itme kuvveti için ANOVA sonuçları.

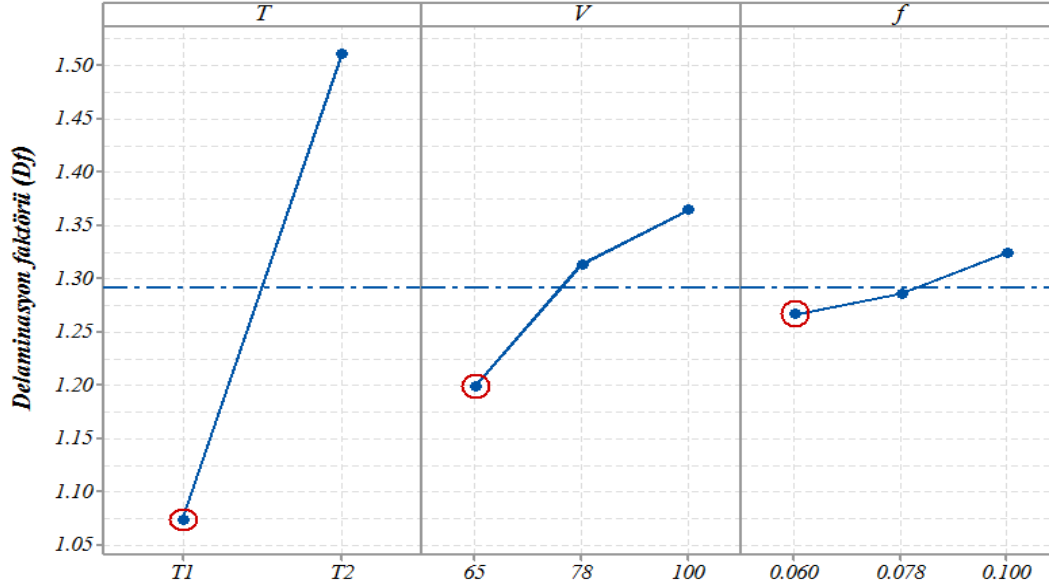
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Katkı
T	1	6735.5	6735.5	474.02	0.000	79.23
V	2	41.58	20.79	1.46	0.334	0.49
f	2	1446.5	723.25	50.9	0.001	17.02
T*V	2	48.04	24.02	1.69	0.294	0.57
T*f	2	133.7	66.85	4.7	0.089	1.57
V*f	4	38.83	9.71	0.68	0.640	0.46
Artık Hata	4	56.84	14.21			0.67
Toplam	17	8500.99				100

$R^2 = \%99.33$ Ayarlı $R^2 = 97.16$

3.1.2. Delaminasyon Faktörü

CARALL kompozitin farklı geometri kesici takımlarla delinmesi sonrasında Delaminasyon faktörü için ana etki grafikleri Figür 7'de sunulmuştur. Figür 7'de verilen ana etki grafiği incelendiğinde, delaminasyon faktörü üzerinde işleme parametrelerinin etki sırasının kesici takım geometrisi (T), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarı (f) şeklinde olduğu görülmektedir. V ve f'nin artırılmasıyla delik çıkışında oluşan delaminasyon oluşumu artmakta iken T1 kodlu standart geometri takımının kullanılması delaminasyon oluşumunu azaltmıştır. Delik çıkışında oluşan delaminasyonun ana nedeni son katmanlar üzerinde oluşan yüksek gerilmelerdir. Delme sürecinde takım tarafından oluşturulan

itme kuvvetleri son katmanlara gelindiğinde elyaf tabakalar arasındaki bağ mukavemetini aştığı noktada kendini gösterir. Metal ve elyaf katmanlar adheziv etkiyle birbirine bağlıdır. En alt alüminyum ve elyaf katmanlar üzerinde takımın oluşturduğu itme kuvveti metal ve elyaf tabakanın ayrışmasına neden olmakta devamında oluşan itme kuvvetini son elyaf tabakaya bırakmaktadır. Bu nedenle elyaf tabakadan ziyade metal katmanın delinme süreci daha ön plana çıkmaktadır. Özel geometrilikli takım literatürde elyaf takviyeli kompozit yapıların delinmesinde daha düşük Df elde edilmesini sağlarken [30], çalışmamızda aksine delaminasyon faktörü dolayısıyla delaminasyon oluşumu arttırmıştır. Bu durum kesici takım geometrisinin alüminyum katmanların işlenmesinde etkin rol oynayamaması ve çıkış bölgesinde oluşan yüksek itme kuvvetleri ile açıklanabilir. Delaminasyon oluşumu kesme parametrelerinden etkilenmektedir. Artan kesme hızı ve ilerleme miktarı değerleri ile delaminasyon faktörü değerleri arttığından bu işleme parametreleri kritik öneme sahiptir.



Figür 7. Delaminasyon faktörü için ana etki grafiği.

İşleme parametrelerinin ana etkilerinin ve etkileşimlerinin etkilerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkisini yansıtan ANOVA sonuçları Tablo 4’de sunulmuştur. Delaminasyon faktörü üzerinde istatistik olarak anlamlı etkisi olan parametre %70.47 katkı ile kesici takım geometrisi olmuştur. Kesme ilerleme miktarı yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistik olarak anlamlı ($P>0.05$) bir etki oluşturmamıştır. ANOVA sonuçlarının korelasyon katsayısı (R^2) 91.47 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu korelasyon katsayısı %95 güven seviyesinde, delaminasyon faktörü üzerinde işleme parametrelerinin ana etkilerinin yüksek düzeyde açıklanabildiğini göstermektedir.

Tablo 4. Delaminasyon faktörü için ANOVA sonuçları.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Katkı
T	1	0.8595	0.8595	33.04	0.005	70.47
V	2	0.08567	0.042834	1.65	0.301	7.02
f	2	0.01029	0.005146	0.2	0.828	0.84
T*V	2	0.07636	0.038182	1.47	0.333	6.26
T*f	2	0.01529	0.007643	0.29	0.76	1.25
V*f	4	0.06853	0.017132	0.66	0.652	5.62
Artık Hata	4	0.10407	0.026016			8.53
Toplam	17	1.2197				100

$R^2 = \%91.47$ Ayarlı $R^2 = \%63.74$

3.2. Katkı Oranı Değerlendirmesi (ARAS) Tekniği İle Çok Kriterli Optimizasyon Sonuçları

Bu çalışmanın iki adet yanıt/çıkış değişkeni vardır: ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü. Bu çalışmada deneysel tasarım metodu olarak kullanılan Taguchi metodu ile tek kriterli optimizasyon işlemleri sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmekte iken çok kriterli optimizasyon işlemleri için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Taguchi Metodu temelli Entropi Metoduyla Ağırlıklandırılmış ARAS metodu Çok Kriterli Optimizasyon problemini çözmek için kullanılmıştır. Bunun için Alt başlık 2.3.2’de verilen ARAS tekniği ile Entropi metodunun ilgili adımları takip edilmiş ve Eşitlik 3-15 kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve optimum sonuca ulaşılmıştır.

Birinci adımda kriterlerin maliyet ya da fayda özelliği belirlenerek Eşitlik 5 yardımıyla optimal değerler belirlenmiştir [23-26]. Her bir alternatifin F_t ve D_f değerlerinin küçük olması (maliyet durumu) CARALL kompozitin en uygun şartlarda işlenmesini sağlayacaktır. Belirlenen kriter özelliklerine göre hesaplanan optimal değerleri de içinde barındıran Karar Matrisi Tablo 5’te sunulmuştur. İkinci adımda, birinci adımdaki F_t ve D_f için belirlenen optimal değerlerin veri setine eklenmesi ile oluşturulan maliyet yönlü karar matrisi üzerinden Normalizasyon işlemi yapılmıştır. Performans skorlarının normalize edilmesi işleminde de kriterlerin özellikleri dikkate alınmış ve kriterlerin maliyet (minimizasyon) özelliği göstermesi istendiğinden Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 kullanılarak normalizasyon işlemi tamamlanmış ve Eşitlik 9’la ifade edilebilen bir Normalize Karar Matrisi elde edilmiştir (Tablo 5). Üçüncü adımda, Eşitlik 10 kullanılarak Eşitlik 11 ile ifade edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi hesaplanmış ve Tablo 5’te sunulmuştur. Entropi metoduyla F_t ve D_f için sırasıyla 0.576 ve 0.424 değerleri ağırlık değerleri olarak hesaplanmıştır. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulmasından sonra her bir alternatif için optimallik fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Bu aşamada alternatiflerin kriterlerden aldığı hesaplanmış skorlar Eşitlik 12 kullanılarak S_i değerlerine, Eşitlik 13 kullanılarak ise K_i değerlerine dönüştürülmüştür. Hesaplanan S_i ve K_i değerleri ve alternatif sıralamaları Tablo 5’te gösterilmiştir. ARAS tekniği kullanılarak işleme parametreleri alternatiflerinin optimallik fonksiyon değerleri büyükten küçüğe değerlendirilerek işleme parametreleri alternatifleri sıralanmıştır. Analiz sonuçlarına göre ilk sırada Deney No 7’deki işleme parametreleri seviyeleri yer almakta iken optimalden en uzak olan Deney No 18’deki işleme parametreleri seviyeleri son sırada yer almıştır. % olarak ifade edilen K_i değerleri her bir alternatifin optimale ne oranda benzediğini yansıtmaktadır. Bu doğrultuda en ideal işleme parametreleri seviyelerini sahip 7 nolu deney %98.1 oranla optimale yakındır. Optimale oranla sıralamada sonuncu olan 18 nolu deneyin optimallik fonksiyon değeri 0.543 olup, optimale benzerliği %54.3 olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Sonuç olarak, ARAS tekniğiyle de 7 nolu deneydeki işleme parametrelerinin seviyeleri ($T=T1$ kodlu kaplamasız standart geometri karbür kesici takım, $V=100$ m/dak, $f=0.06$ mm/dev) CARALL kompozitin farklı geometri kesici takımlarla delinmesinde minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerleri elde etmede optimal seviyeler olarak belirlenmiştir (Tablo 2 ve Tablo 5).

ARAS yönteminin son adımında hesaplanmış ve Tablo 5’te sunulan her bir deney için hesaplanmış K_i fayda dereceleri kullanılarak Taguchi metodunun “larger-is-better” yaklaşımıyla tekrar Varyans Analizi yapılmıştır. Çok kriterli optimizasyon çalışmasının son aşamasında K_i üzerinde her bir kontrol faktörünün % etkileri ANOVA ile belirlenmiştir (Tablo 6). K_i üzerinde istatistiki olarak anlamlı etkisi olan parametreler sırasıyla kesici takım geometrisi (%87.60) ve ilerleme miktarı (%8.39) olmuştur. Kesme hızının K_i üzerindeki etkisi istatistiki olarak anlamlı olmamıştır ($p>0.05$). Buna göre; CARALL kompozitin farklı geometri karbür kesici takımlarla delinmesinde ANOVA’nın korelasyon katsayısı (R^2) % 96.27 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayısının (% 96.27) %100’e yakın bir değerde elde edilmiş olması işleme parametrelerinin K_i üzerindeki etkisinin yüksek doğruluk seviyesinde belirlendiğini göstermektedir.

Tablo 5. ARAS tekniği sonuçları.

D. No	1.Adım				2.Adım				3.Adım		4.Adım			
	Karar Matrisi				Maliyet Yönlü Karar Matrisi		Normalize Karar Matrisi		Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi		Optimallik Fonksiyonu Değerleri ve Sıralama			
	Deneysel Sonuçlar		Kriter		Kriter		Kriter		Ağırlıklar (w)		S_i	K_i	$K_i\%$	Sıralama
	$Ft(N)$	Df	$Ft(N)$	Df	Min.	Min.	Min.	Min.	$w=0.576$	$w=0.424$				
1	69.115	1.059	69.115	1.059	0.014	0.944	0.072	0.065	0.041	0.028	0.069	0.955	57.94	4
2	78.550	1.085	78.550	1.085	0.013	0.922	0.063	0.064	0.036	0.027	0.063	0.877	66.13	7
3	86.400	1.043	86.400	1.043	0.012	0.959	0.057	0.066	0.033	0.028	0.061	0.847	83.20	8
4	68.820	1.058	68.820	1.058	0.015	0.945	0.072	0.065	0.041	0.028	0.069	0.958	61.60	3
5	73.890	1.103	73.890	1.103	0.014	0.907	0.067	0.063	0.039	0.027	0.065	0.903	67.25	5
6	83.810	1.112	83.810	1.112	0.012	0.899	0.059	0.062	0.034	0.026	0.060	0.837	87.70	9
7	64.900	1.091	64.900	1.091	0.015	0.917	0.076	0.063	0.044	0.027	0.071	0.981	67.44	1*
8	67.038	1.074	67.038	1.074	0.015	0.931	0.074	0.064	0.043	0.027	0.070	0.967	92.93	2
9	79.950	1.038	79.950	1.038	0.013	0.963	0.062	0.067	0.036	0.028	0.064	0.885	81.69	6
10	97.070	1.231	97.070	1.231	0.010	0.812	0.051	0.056	0.029	0.024	0.053	0.737	43.49	10
11	114.107	1.228	114.10 7	1.228	0.009	0.814	0.043	0.056	0.025	0.024	0.049	0.677	56.65	11
12	126.670	1.548	126.67 0	1.548	0.008	0.646	0.039	0.045	0.023	0.019	0.041	0.574	63.91	17
13	98.880	1.604	98.880	1.604	0.010	0.623	0.050	0.043	0.029	0.018	0.047	0.653	55.43	13
14	111.900	1.668	111.90 0	1.668	0.009	0.600	0.044	0.041	0.025	0.018	0.043	0.597	62.54	15
15	132.380	1.335	132.38 0	1.335	0.008	0.749	0.037	0.052	0.022	0.022	0.044	0.603	68.09	14
16	100.040	1.556	100.04 0	1.556	0.010	0.643	0.050	0.044	0.029	0.019	0.047	0.656	59.85	12
17	118.260	1.557	118.26 0	1.557	0.008	0.642	0.042	0.044	0.024	0.019	0.043	0.595	74.20	16
18	121.360	1.867	121.36 0	1.867	0.008	0.536	0.041	0.037	0.024	0.016	0.039	0.543	85.84	18

*Optimum

Tablo 6. K_i için ANOVA sonuçları.

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Katkı
T	1	0.368756	0.368756	282.06	0.000	87.60
V	2	0.001199	0.000599	0.46	0.643	0.28
f	2	0.03531	0.017655	13.5	0.001	8.39
Artık Hata	12	0.015689	0.001307			3.73
Toplam	17	0.420953				100.00

 $R^2 = \%96.27$ Ayarlı $R^2 = 94.72$

4. Sonuçlar

Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilmiş olan bir Elyaf Metal Laminat (FML) türü olan Karbon Elyaf Takviyeli Alüminyum Laminat (CARALL) kompozitin farklı geometrili takımlarla delinmesinde işlenebilirlik özelliklerini ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü açısından değerlendirmektedir. Bu deneysel araştırma ve istatistiksel analiz temelli çalışmanın iki temel motivasyonu olmuştur: Birincisi, kontrol faktörü olarak seçilen kesici takım geometrisi ile işleme parametreleri kesme hızı ve ilerleme miktarının kalite karakteristikleri (yanıt değişkenleri) olarak belirlenen ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkilerini belirlemek ve kontrol faktörlerinin optimal seviyelerini tek kriterli optimizasyon ile tanımlamaktır. Tek kriterli optimizasyon işlemleri Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. İkincisi ise minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerlerinin aynı anda elde etmesinde kontrol faktörlerinin etkilerini ve optimal seviyelerini çok kriterli olarak optimizasyon teknikleri ile belirlemektir. Bu amaca ulaşmak için Taguchi metodu temelli Entropi Metoduyla Ağırlıklandırılmış ARAS tekniği kullanılmıştır.

Deneysel araştırma ve istatistiksel analiz temelli bu çalışma sonucunda Ortalama itme kuvveti üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici takım geometrisi (%79.23) ve ilerleme miktarı (%17.02) olmuştur. Kesme hızının ve kontrol faktörlerinin etkileşimlerinin ortalama itme kuvveti üzerinde istatistiki olarak anlam etkileri olmamıştır. En yüksek kesme hızında ($V=100$ m/dak) ve en düşük ilerleme miktarında ($f=0.060$ mm/dev) daha düşük ortalama itme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Daha düşük ortalama itme kuvveti değerlerinin elde edilmesinde standart geometrili karbür kesici takımlar özel geometrili takımlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir.

CARALL kompozitin farklı geometrili kesici takımlarla delinmesinde delik çıkışında minimum delaminasyon oluşumu üzerinde en etkili kontrol faktörü kesici takım geometrisi (% 70.47) olmuş iken bunu sırasıyla %7.02 katkı oranı ile kesme hızı, %6.26 katkı oranı ile kesici takım geometrisi*kesme hızı etkileşimi ve %5.62 katkı oranı ile kesme hızı*ilerleme miktarı etkileşimi izlemiştir. Diğer kontrol faktörleri ve kontrol faktör etkileşimlerinin delaminasyon faktörü üzerinde anlamlı etkileri olmamıştır. Standart geometrili karbür kesicili takımlarla en düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinde delik delmede delik çıkışında daha düşük delaminasyon oluşumları elde edilmiştir.

CARALL kompozitlerin işlenmesinde özel geometrili karbür takımın ortalama itme kuvveti ve delaminasyon oluşumu üzerinde istenilen performansı sergileyememesi bu takımın taç şeklindeki çıkıntılı kesme kenar geometrisinin sünek alüminyum katmanların delinmesinde ilave bir itme kuvvet artışına sebep olmasına ve CARALL kompozitin alüminyum katmanlarının kesilmesinde etkin rol oynayamamasına bu nedenle de çıkış bölgesinde oluşan yüksek itme kuvvetleri sonucu artan delaminasyon oluşumlarına bağlanmıştır.

Ortalama itme kuvveti ve ortalama kuvveti üzerinde kontrol faktörlerinin ana ve etkileşimlerinin etkileri sırasıyla % 99.33 ve %91.47 oranlarında tahmin edilebilmiştir.

Çok kriterli optimizasyon işleminde ortalama kesme kuvveti ve delaminasyon faktörü için kullanılan faktör ağırlıkları sezgisel olarak değil Entropi metodu ile hesaplanmıştır. Böylelikle Entropi metodunun bir çok kriterli karar verme yöntemi olan ARAS tekniğiyle de hibrit olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Geleneksel yöntemlerin geçerli olmadığı ve kullanılamayacağı, işleme parametrelerinin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen alternatif sonuçlar içerisinde tek bir optimal yanıt sistematik bir yaklaşımla etkin ve verimli bir şekilde belirlenmiştir.

Çok kriterli Karar Verme diğer bir ifade ile Çok Kriterli Optimizasyon yöntemi olan seçilen ARAS tekniğiyle, CARAL kompozitin farklı geometrili karbür matkap kesici takımlarla işlenmesinde minimum ortalama itme kuvveti ve delaminasyon faktörü değerlerini aynı anda sağlamak için delik delme parametrelerinin optimum seviyeleri standart geometrili takım, 110 m/dak kesme hızı ve 0.06 mm/dev ilerleme miktarı olarak tespit edilmiştir.

İşlenmesi güç malzemeler grubunda yer alan FML kompozitlerin özellikle uzay, savunma ve havacılık araçlarının bileşenlerinde ticari olarak kullanım oranı giderek artmaktadır. Bu yüzden bu malzemelerin geleneksel ve geleneksel olmayan tekniklerle işlenebilirliklerinin araştırılması ve değerlendirilmesi üzerine araştırmaların sürdürülmesi elzemdir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan delik delme ise bu kompozit malzemelerin montajı için en çok tercih edilen işleme operasyonlarından biridir.

Dolayısıyla bu çalışmanın devamı ve tamamlayıcısı olarak kesici takım kaplama etkisini değerlendirmek üzere gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları sunulacak ve tartışılacaktır. Buna ek olarak delik ortalama boyutsal tamlığı, dairesellik hatası ve yüzey pürüzlüğü kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesi üzerine yapılan deneysel çalışmaların sonuçları da değerlendirilecektir.

Yazar Katkıları: Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunmuştur.

Finansman: Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBA-2019-3170 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynakça

- [1] P. Tyczyński, J. Lemańczyk, R. Ostrowski and R. Ewa S'liwa, "Drilling of CFRP, GFRP, glare type composites", *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 86, pp. 312-322, July 2014. <https://doi.org/10.1108/AEAT-10-2012-0196>
- [2] T. Sinmazcelik, E. Avcu, M.O. Bora and O. Coban, "A review: fiber metal laminates, background, bonding types and applied test methods", *Mater. Des.*, vol.32, pp. 3671–3685, August 2011. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.011>
- [3] K. Giasin and S. Ayvar-Soberanis, "An investigation of burrs, chip formation, hole size, circularity and delamination during drilling operation of GLARE using ANOVA", *Compos. Struct.*, vol. 159, pp. 745-760, January 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.015>
- [4] L. Gemi, S. Morkavuk, U. Köklü and D. S. Gemi, "An experimental study on the effects of various drill types on drilling performance of GFRP composite pipes and damage formation", *Compos. B: Eng.*, vol. 172, pp. 186-194, September 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.023>
- [5] N. Sugita, L. Shu, K. Kimura, G. Arai and K. Arai, "Dedicated drill design for reduction in burr and delamination during the drilling of composite materials", *CIRP Ann.*, vol. 68, pp. 89-92, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.094>
- [6] Z. Jia, R. Fu, B. Niu, B. Qian, Y. Bai and F. Wang, "Novel drill structure for damage reduction in drilling CFRP composites", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 110, pp. 55-65, November 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2016.08.006>
- [7] F. Su, Z. Deng, F. Sun, S. Li, Q. Wu and X. Jiang, "Comparative analyses of damages formation mechanisms for novel drills based on a new drill-induced damages analytical model", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 271, pp. 111-125, September 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.03.033>
- [8] B. Işık and E. Ekici, "Experimental investigations of damage analysis in drilling of woven glass fiber-reinforced plastic composites," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 49, pp. 861-869, December 2009. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2440-x>
- [9] N. Feito, A. Muñoz-Sánchez, A. Díaz-Álvarez and M. H. Miguelez, "Multi-objective optimization analysis of cutting parameters when drilling composite materials with special geometry drills", *Compos. Struct.*, vol. 225, pp. 1-11, October 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111187>
- [10] Z. Yu, C. Li, R. Kurniawan, K. M. Park and T. J. Ko, "Drill bit with a helical groove edge for clean drilling of carbon fiber-reinforced plastic", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 274, pp. 1-12, December 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116291>
- [11] U. Bhushi, J. Suthar and S. N. Teli, "Performance analysis of metaheuristics optimization techniques for drilling process on CFRP composites", *Mater. Today: Proc.*, vol. 28, pp. 1106-1114, June 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.091>
- [12] L. Sorrentino, S. Turchetta and C. Bellini, "A new method to reduce delaminations during drilling of FRP laminates by feed rate control", *Compos. Struct.*, vol. 186, pp. 154-164, February 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.12.005>
- [13] T. Barik, S.K. Jena, S. Gahir, K. Pal and S.K. Pattnaik, "Process parametric optimization in drilling of CFRP composites using GRA method" *Mater. Today: Proc.*, vol.39, pp.1281-1286, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.220>
- [14] E. Ekici, A. R. Motorcu and E. Yıldırım, "An experimental study on hole quality and different delamination approaches in the drilling of CARALL, a new FML composite", *FME Trans.*, vol. 49, pp. 950-961, December 2021. <https://doi.org/10.5937/FME2104950E>
- [15] E. Ekici, A. R. Motorcu and G. Uzun, "Multi-objective optimization of process parameters for drilling fibermetal laminate using a hybrid GRA-PCA approach", *FME Trans.*, vol. 49, pp. 356-366, April 2021. <https://doi.org/10.5937/fme2102356E>
- [16] K. Giasin, S. Ayvar-Soberanis and A. Hodzic, "An experimental study on drilling of unidirectional GLARE fibre metal laminates", *Compos. Struct.*, vol. 133, pp. 794-808, December 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.007>
- [17] S. Y. Park, W. J. Choi, C. H. Choi, and H. S. Choi, "Effect of drilling parameters on hole quality and delamination of hybrid GLARE laminate," *Compos. Struct.*, vol.185, pp.684-698, February 2018.
- [18] E. Ekici, A. R. Motorcu and A. Polat, "Optimization and alternative image processing approach for the comprehensive assessment of delamination and uncut fiber in drilling fiber metal laminate", *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 44, pp. 1-23, October 2022. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03806-2>
- [19] J. Babu, T. Sunny, N. A. Paul, K. P. Mohan, J. Philip and J. P. Davim, "Assessment of delamination in composite materials: A review", *Proc. Inst. Mech. Eng. Pt. B-J. Eng. Manuf.*, vol. 230, pp. 1990–2003, August 2016. <https://doi.org/10.1177/095440541561934>
- [20] L. Romoli and A.H.A. Lutey, "Quality monitoring and control for drilling of CFRP laminates", *J. Manuf. Process.*, vol. 40, pp. 16–26, April 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.02.028>

-
- [21] J. P. Davim, J. C. Rubio and A. M. Abrão, "A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates", *Compos. Sci. Technol.*, vol. 67, pp. 1939–1945, July 2007. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.10.009>
- [22] D. N. R. Da Silva, "Image processing methodology for assessment of drilling induced damage in CFRP", Dissertation, Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [23] A. Faraz, D. Biermann and K. Weinert, "Cutting edge rounding: an innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates", *Int J Mach Tools Manuf.*, vol. 49, pp. 1185–1196, December 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2009.08.002>
- [24] P. V. Kumar, J. Vivek, N. Senniangiri, S. Nagarajan and K. Chandrasekaran, "A study of added SiC powder in kerosene for the blind square hole machining of CFRP using electrical discharge machining", *Silicon*, vol. 14, pp. 1831-1849. February 2022. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01243-9>
- [25] B. F. Yildirim, "Çok kriterli karar verme problemlerinde ARAS yöntemi", *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 6, pp. 285-296. 2015.
- [26] S. S. S. Paramasivam, D. Kumaran and H. Natarajan, "Taguchi Additive Ratio Assessment (ARAS) method in multi-criteria decision making: A case study for treated drill tools performance", *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. 12, pp. 114-124, 2020.
- [27] C. Gheorghită and V. Gheorghită, "Application of multiobjective methods for optimization of machining process parameters", *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. 7, pp. 17-22, 2015.
- [28] G. Sur, A. R. Motorcu and S. Nohutçu, "Single and multi-objective optimization for cutting force and surface roughness in peripheral milling of Ti6Al4V using fixed and variable helix angle tools", *J. Manuf. Process.*, vol. 80, pp. 529-545, August 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.06.016>
- [29] A. Cicek, E. Ekici, T. Kivak, F. Kara and N. Ucak, "Performance of multilayer coated and cryo-treated uncoated tools in machining of AISI H13 tool steel-Part 2: HSS end mills", *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 30, pp. 3446-3457, March 2021. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05657-9>
- [30] J. Xu, X. Huang, J. P. Davim, M. Ji and M. Chen, "On the machining behavior of carbon fiber reinforced polyimide and PEEK thermoplastic composites", *Polym. Compos.*, vol. 41, pp. 3649–3663, June 2020. <https://doi.org/10.1002/pc.25663>
- [31] S. Liu, T. Yang, C. Liu and Y. Du, "Comprehensive investigation of cutting mechanisms and hole quality in dry drilling woven aramid fibre-reinforced plastic with typical tools", *Proc. Inst. Mech. Eng. B. J. Eng. Manuf.*, vol. 233, pp. 2471–2491, April 2019. <https://doi.org/10.1177/0954405419844855>

Research Article

Received: date: 23.02.2024
Accepted: date: 04.04.2024
Published: date: 30.06.2024

Jackknife ve Bootstrap Yöntemlerine İlişkin Bir Uygulama

Elif Biçer ¹, Hamit Mirtağoğlu ², Canan Demir ³, Sıddık Keskin ⁴ Yıldırım Demir ^{5*}

¹Independent Researcher, Ankara, Türkiye; bicerelif13@gmail.com

²Bitlis Eren University, Department of Statistics, Bitlis, Türkiye; hmirtaoglu@beu.edu.tr

³Van Yüzüncü Yıl University, Department of Health Technician, Van, Türkiye; canandemir@yyu.edu.tr

⁴ Van Yüzüncü Yıl University, Department of Basic Medical Sciences, Van, Türkiye; skeskin@yyu.edu.tr

⁵ Van Yüzüncü Yıl University, Department of Econometrics, Van, Türkiye; ydemir@yyu.edu.tr

Orcid: 0000-0002-1861-5447¹ Orcid: 0000-0003-2952-9584² Orcid: 0000-0002-4204-9756³ Orcid: 0000-0001-9355-6558⁴

Orcid: 0000-0002-6350-8122⁵

*Correspondence: ydemir@yyu.edu.tr

Öz: Örnekleme işlemi veya süreci, bilimsel araştırma yapmanın en önemli aşamalarından birisidir. Örnekleme, ana kütle içerisinde ana kütleyle daha iyi temsil edecek şekilde tesadüfi olarak daha küçük örnek birimi alma işlemine denir. Diğer bir ifadeyle, örnekleme yapmaktaki amaç, ana kütle hakkında tutarlı ve geçerli bir tahminde bulunmak için örnekleme hatasını minimuma indirmektir. Farklı kategoriler altında yer alan birçok örnekleme yöntemi bulunmaktadır. Son yıllarda ilerleyen teknoloji ile birlikte, temel örnekleme yöntemlerinin bir takım dezavantajlarının olduğu gözlenmiştir. Bu temel örnekleme yöntemlerindeki dezavantajları nedeniyle yeniden örnekleme yöntemleri geliştirilmiştir. Yeniden örnekleme yöntemleri örnek verilerini tekrar tekrar işleme tabi tutarak istatistik bilgileri sunmaktadır. Hızla gelişen teknolojiyle birlikte bu yöntemler, 1990'larda bilgisayar tabanlı yöntemler olarak uygulamadaki yerini almış ve hem parametrik hem de parametrik olmayan dağılımlar için temel yöntemlerle sınırlı kalmayıp, daha büyük veri setleri kullanarak iadeli ve iadesiz işlemler yapılabilmektedir. Bu çalışmada, yeniden örnekleme yöntemlerinden jackknife ve bootstrap yöntemleriyle; ortalaması 10 olan ana kütlede, 100 ve 300 birimlik örnekten çekildiği varsayılan n (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) hacimli (bootstrap) örneklere ait ortalama ve güven aralığı değerleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bootstrap, jackknife, yeniden örnekleme

An Application on the Jackknife and Bootstrap Method

Abstract: Sampling process is one of the most important stages of scientific research. Sampling is the process of randomly selecting a smaller sample unit from the population to better represent the population. In other words, the purpose of sampling is to minimize sampling error in order to make a consistent and valid estimation about the population. There are many sampling methods under different categories. With the advancing technology in recent years, some drawback of basic sampling methods has been revealed. Due to these drawbacks in the basic sampling methods, resampling methods have been developed. Resampling methods provide statistical information by repeatedly processing sample data and with the rapidly developing technology in the 1990s, these methods have taken their place in practice as computer-based methods. These methods are not limited to basic methods for both parametric and nonparametric distributions, but they can perform return and non-return operations using larger data sets. In this study, with jackknife and bootstrap methods, which are resampling methods, the mean and confidence interval values of n (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) volume (bootstrap) samples,

which are assumed to be drawn from a sample of 100 and 300 units from the main population with a mean of 10, were examined.

Keywords: bootstrap; jackknife; resampling

1. Giriş

İstatistik yöntemler, bir araştırmaya konu olan verilerin toplanması, toplanan verilerin düzenlenmesi ve özetlenmesiyle elde edilecek tablo ve grafiklerin yanı sıra, parametre tahmininde ve hipotez testlerinde de kullanılmaktadır. Bilimsel araştırmalarda, elde edilen sonuçlara ve sonuçların raporlanmasına göre istatistikler, tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistikler olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Tanımlayıcı istatistikler, herhangi bir karşılaştırma içermeden ana kütle veya örneğe ilişkin ortalama, standart sapma, sayı ve yüzde gibi tanımlayıcı istatistikleri sunmaktadır. Çıkarımsal istatistik ise örnekten hesaplanan istatistiklerle ana kütle parametrelerini tahmin etmeyi ve çıkarımlarda bulunmayı kapsamaktadır.

Bilimsel araştırmalarda, önemli iki kısıtlayıcı olan zaman ve araştırma maliyeti nedeniyle, çoğunlukla ana kütlelerin tamamı ile çalışmak mümkün olmamaktadır. Bunun yerine, ana kütleleri temsil edebilen ve örneklem veya örnek olarak adlandırılan daha küçük bir grupla çalışılmaktadır. Günlük yaşamda çoğu zaman ana kütlelerden örnek alınarak, bütünü daha iyi temsil edecek şekilde örnekleme yapılmaktadır. Pişmekte olan bir tencere yemekten tadım yapmak için alınan bir kaşık yemek veya kan gurubunu öğrenmek için alınan kan örneklemedir. Örnekleme işlemi veya süreci, bilimsel araştırma yapmanın en önemli aşamalarından birisidir. Örnekleme yeterli büyüklükte değilse veya yeterli büyüklükte olduğu halde, uygun örnekleme yöntemi kullanılmamışsa ya da çalışmaya alınacak deney üniteleri homojen değilse, araştırmada düşük güvenilirlik kaçınılmazdır. Bu nedenle bütün örnekleme yöntemlerinde amaç; ana kütlelerden rasgele alınan örnekten elde edilecek sonuca etki bakımından olumsuz faktörleri olabildiğince elemine etmek ve örnekleme varyanslarını azaltmaktır [1,2].

Ana kütlelerden alınan örnekten hesaplanan istatistikler yardımıyla ana kütle parametreleri (ortalama, varyans ve standart sapma, güven aralığı) tahmin edilmektedir. İyi bir tahmin ediciden aranılan ilk özellik; dağılımı, tahmin edilecek ana kütle parametresi etrafında yoğunlaşan bir tahmin edici olmasıdır. İstatistik ile parametrenin aynı olması beklenemez [3]. Ancak parametre ile istatistik arasındaki fark olan toplam hatanın düşük olması beklenir.

Toplam hata, örnekleme hatası ve örnekleme dışı hatalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örnekleme hatası, örnekten hesaplanan tahmin değeri ile parametre değeri arasındaki farktır. θ ana kütle parametresini ve $\hat{\theta}$ ise θ parametresinin tahmin edicisini göstermek üzere; olur [2].

$$\text{Örnekleme hatası} = \hat{\theta} - \theta \quad (1)$$

Örnek genişliği ve uygun örnekleme yönteminin seçimi örnekleme hatasını etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu iki önemli faktörden esinlenerek, bu çalışmada farklı örneklem genişliklerinde yeniden örnekleme yöntemlerinden olan jackknife ve bootstrap yöntemleri incelenmiştir.

2. Materyal Ve Yöntem

Ana kütlelerden bilgi toplamak yüksek maliyetli olabileceği gibi belirli bir zaman içerisinde gerçekleştirilmesi veya tüm ana kütleyle erişim de mümkün olmayabilir. İstatistik yöntemlerin amaçlarından birisi de bu gibi durumlarda örnekleme yapmaktır. Böylece örnekleme ile zaman ve işgücünden tasarruf sağlanarak maliyet düşürülmektedir [4]. İstatistik yöntemlerin bir diğer amacı da bilinmeyen ana kütle parametrelerini tahmin etmektir. Uygulamalı istatistikte, belirli bir ana kütle parametresi için tahmin ediciden yararlanılmaktadır. Bu tahmin edicinin doğruluğu tahmin edicinin, standart hata tahminleri üzerinden değerlendirilmekte ve parametre için güven aralıkları belirlenmektedir [5]. Tahmincinin, ana kütle parametresinin gerçek değerine yakın olması ya da parametre etrafında dar bir alanda değişim göstermesi istenmektedir. Bu, örneklem dağılımlarının ortalaması ve varyansıyla ölçülmektedir [6].

Bu parametreleri belirlemek amacıyla öncelikle örnekleme yapılması gerekmektedir. Farklı kategoriler altında yer alan birçok örnekleme yöntemi bulunmaktadır. Son yıllarda ilerleyen teknolojilerle birlikte;

örneklem hacmi ve örneklem seçimi ile ilgili hatalar, yanlış örnekleme yöntemlerinin kullanılması, örneklem büyüklüğünün yeterli olmaması ve veri toplamada yapılan hatalar gibi temel örnekleme yöntemlerinin bazı eksiklikleri gözlenmiştir [7]. Bu nedenle yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Bunlardan biriside yeni bir örnek grubuyla çalışılarak var olan çalışmanın tekrarlanmasıdır. Ancak bu durum; zaman, maliyet ve personel ihtiyacını yineleyeceğinden tercih edilmeyebilir. Bu durumda yeniden örnekleme yöntemleri kullanılarak, yeni bir örnek oluşturmadan daha önce, çalışılan örnek üzerinde tekrarlanabilirlik sağlanabilir. Carver, "Tekrar, bilimin köşe taşıdır." diyerek tekrarlamının önemine değinmiş ve tekrarlama ile elde edilen sonuçların güvenilirliğini test ederek, yeniden örnekleme yöntemlerine olan güveni ortaya koymuştur [8]. Böylece oluşturulan örneklerin, ana kütle için genelleştirilebilir güvenli tahminler elde edilebilen yöntemler olduğu söylenilebilir. Temel örnekleme yöntemlerindeki eksikleri gidermek üzere, yeniden örnekleme yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemler birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

2.1. Yeniden Örnekleme

Yeniden örnekleme yöntemleri, örnek verilerini tekrar tekrar işleme tabi tutarak, istatistik bilgileri sunmaktadır. Bu yöntemler, 1990'larda hızla gelişen teknolojiyle birlikte, bilgisayar tabanlı yöntemler olarak uygulamadaki yerini almıştır. Zira yöntemlerin elle hesaplanabilmesi, zaman ve maliyet açısından oldukça zahmetlidir. Bu yöntemler, tahminin yanlışlığı, güven aralığı oluşumu ve tahmin edilen parametreyle ilgili istatistik hipotezleri test etmektedir. Geleneksel yöntemlerde, normallik ve sabit varyanslılık varsayımları göz ardı edilemeyen kavramlardır. Veriler parametrik testlerin varsayımlarını sağlamadığında, yeni yöntemlerin kullanımında çekinceli davranılmakta ve geleneksel yöntemlerin kullanımı tercih edilmektedir. Ancak son yıllardaki teknolojik yeniliklerle, yeni yöntemlerin kullanımında artış olduğu söylenebilir.

Yeniden örnekleme yönteminin avantaj ve dezavantajları:

Klasik yöntemlerle, örnekten hareketle ana kütle hakkında yorumlar yapılabilir, ancak ana kütleyle ilişkin yeterli ve güvenilir bilgi elde edilemediği durumlarda bu yöntemlerin etkinliği azalabilir. Bu gibi durumlarda, ampirik yöntemlere dayalı yeniden örnekleme yöntemlerinin kullanılması daha uygun olabilir [9].

Klasik yöntemler, örneklemin tesadüfi alınması ilkesine dayanmaktadır. Yeniden örnekleme yöntemleri, hem tesadüfi ve hem de tesadüfi olmayan örnekleme yöntemlerinde kullanılabilir [10]. Ayrıca klasik yöntemler yeniden örnekleme yöntemlerine göre çok daha fazla ve katı varsayımlara sahiptir.

Yeniden örnekleme yöntemleri büyük örnek genişliklerine uygulanabilmekte ve genellikle küçük örnekler için belirgin kolaylıklar sağlamaktadır. Ana kütle alt gruplara ayrılarak çapraz geçerlik ya da bootstrap yöntemleri uygulanabilir. Böylece, büyük örneklerle yapılan araştırmalarda, reddedilmemesi gereken bir sıfır hipotezi reddedilebilir. Oysaki büyük veri setleri, alt gruplara ayrılarak elde edilecek sonuçlar kullanılabilir.

Yeniden örnekleme yöntemlerinin bir diğer amacı da simülasyon yapmaktır. Bu yöntemler, küçük örnekler kullanıldığında, daha fazla gözlem oluşturma gücüne sahip olmaları nedeniyle avantajlı olabilir [11].

İstatistikte tekrarlanabilirlik, çoğunlukla güven veren bir durumdur. Ancak daha fazla maliyet, zaman ve işgücü gereksinimi nedeniyle çoğu kez tercih edilmemektedir.

Yeniden örnekleme yöntemleri, tek bir örneğe dayalı olması ve sonuçların tek bir örnek üzerinden değerlendirilmesi nedeniyle genelleme için yeterli olmadığı yönünde eleştirilmektedir. Ancak, [12] test sonuçları kararlılığının değerlendirilmesinin çıkarımsal değil tanımlayıcı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, yeterli deneysel çalışmanın yapılmadığı durumlarda, yeniden örnekleme tahminlerinin doğruluğunun düşük olduğu belirtilmektedir. Ancak, günümüz koşullarında yüksek hızlı bilgisayarlarla bu durumun üstesinden gelinir.

Yanlılık büyük örneklerle azaltılabilir, ancak bootstrap yöntemi ile elde edilen güven aralıkları daima yanlılık göstermekte ve daha karmaşık bootstrap yöntemleri ile bu yanlılık azaltılabilmektedir. Klasik yöntemler bu soruna belirgin bir çözüm sunamazken, yeniden örneklemeyle yapılan tekrarlar, kısmen de olsa sorunu giderebilmektedir.

2.1.1. Jackknife yöntemi

Jackknife ilk olarak Maurice Quenouille (1949;1956) tarafından yanlılığı ortadan kaldırmak için önerilmiş daha sonra John W. Tukey tarafından (1958) hipotez testi ve güven aralığının istatistik anlamlılığını test etmek üzere geliştirilmiştir. Jackknife, parametre dağılımı hakkında herhangi bir bilginin olmadığı parametrik olmayan yöntemler altında daha güçlü ve güvenilir sonuçlar verdiği, dağılım hakkında bilginin olduğu durumda parametrik yöntemlere benzer sonuçlar verdiği ileri sürülen yeniden örnekleme yöntemidir [13-16].

Jackknife yöntemi, bir defada bir veya daha fazla gözlemi dışarıda bırakarak, oluşturduğu yeni veri setleriyle, ana kütle parametreleri için güven aralığı tahmininin yanı sıra istatistik testler yardımıyla yanlılık ve standart hata kestirimleri de yapmaktadır. Yeni bir örnek oluşturmada her seferinde örnekten bir gözlem alarak tekrarlamayı yapıldığından ve bu işlem defalarca kez gerçekleştirildiğinden uç noktalara karşı oldukça hassas olan yöntem genellikle ana kütle dağılımının geniş yayılım gösterdiği ya da veri setinde aşırı uç değerlerin olduğu durumda kullanılmaktadır. Her seferinde bir veriyi veya gözlemi dışarıda bırakarak aynı testin tekrarlanmasında, yöntemde birini dışarıda bırak (leave-one-out) ve birden fazla gözlemin dışarıda bırakılmasına ise "delete-d jackknife" denilmektedir [17].

Jackknife yöntemi, veri setinde her bir gözlem değerini bir kez dışarıda bırakarak geriye kalan gözlemlerden sözde değerler hesaplamaya dayanmaktadır. Bu şekilde n tane gözlemden her biri n-1 büyüklüğünde n tane farklı örnek elde edilebilir. Orijinal veri seti $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ise ve yöntemde i . gözlem dışarıda bırakıldığında elde edilen i . Jackknife örneği;

$$x_{(i)} = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

olur. Orijinal veri kümesinin ortalaması \bar{x} ve i . gözlem değeri dışarıda bırakılarak elde edilen ortalama \bar{x}_i biliniyorsa i . gözlem değeri Eşitlik (3) ile de hesaplanır [3].

$$x_i = n\bar{x} - \bar{x}_i(n-1) \quad (3)$$

Ana kütle parametresinin tahmin edicisi $\hat{\theta} = s(x)$ olarak ifade edilmekte ve Jackknife yönteminde amaç, $\hat{\theta}$ 'nin standart hatasını ve yanlılığı (bias) tahmin etmektir. Böylece yeni örneğe dayalı tahmin edici $\hat{\theta}_i = s(x_i)$ olarak ifade edilebilir. $\hat{\theta}_i$, $\hat{\theta}$ 'nin i . jackknife tekrarı olarak olmak üzere, yanlılık değeri Eşitlik (4) ile yanlılığın jackknife tahmini ise Eşitlik (5) ile ifade edilebilir.

$$Yanlılık = \hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta} \quad (4)$$

$$\widehat{bias}_{jack} = (n-1)(\hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta}) \quad (5)$$

Yanlılık değeri ve yanlılığı azaltılmış jackknife tahmini arasındaki fark pseudo (sözde) olarak tanımlanmakta ve Eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır.

$$\tilde{\theta} = \hat{\theta} - \widehat{bias}_{jack}(\hat{\theta}) \Rightarrow \tilde{\theta} = n\hat{\theta} - (n-1)\hat{\theta}_{(i)} \quad (6)$$

$\hat{\theta}_{(i)}$ her defasında dışarıda bırakılan, yani orijinal veri kümesinden silinen değerler üzerinden alınan ortalamayı göstermekte ve Eşitlik (7) ile hesaplanmaktadır.

$$\hat{\theta}_{(i)} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \hat{\theta}_{(i)} \quad (7)$$

Jackknife tahmini için standart hata;

$$\widehat{se}_{jack} = \sqrt{\frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta}_{(i)})^2} \quad (8)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Bu değer ortalamasının standart hatasının tahminine benzemekte ve n tane sözde değer, jackknife tahmin değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Buradan hareketle, sözde değerlerden bir güven

aralığı oluşturulabilir. t-dağılımının yüzdesine $(1-\alpha)$ ve serbestlik derecesine $(n-1)$ dayanan güven aralığı Eşitlik (9) ile elde edilebilir [18].

$$\tilde{\theta} = t_{n-1}^{1-\alpha} \widehat{se}_{jack} \quad (9)$$

Jackknife yöntemiyle $\hat{\theta}$ tahmin edicisinin dağılımı hakkında aralık tahmini ve çıkarım yapılmak istendiğinde, birçok durumda yeterli bilgi sağlanmayacağı gibi örnek nitelikleri düzgün olmayan $\hat{\theta}$ için tutarlı bir varyans tahmincisi de sağlanmayabilir. Bu iki durumu da içine alan jackknife yönteminin eksik yanlarının giderilmesi için Shao ve Wu (1989), yöntemin genel bir modifikasyonu olan delete-d jackknife yöntemini önermişlerdir. İlk olarak Wu (1986), her iki sorunda da gözlem aralığını geniş tutarak, her seferinde daha fazla gözlemin silinmesiyle çözüm getirilebileceğini önermektedir. Shao ve Wu (1989) ise ikinci problem için jackknife varyans tahmin tutarlılığının $\hat{\theta}$ tahmincisi düzgünlüğünün bir ölçüsüne bağlı olarak d ile bir delete-d jackknife kullanarak geri yüklediğini göstermektedir [19-21]. Delete-d jackknife, varyans tahmin etmede ve jackknife histogramı oluşturmada da kullanılabilir. Jackknife histogramı, $\hat{\theta}'$ 'nin örnekleme dağılımının tutarlı bir tahmincisi sağlamaktadır. Bu kestirimde r ve d'nin sonsuza doğru sapması tutarlılığı artırmaktadır [22].

Standart hatanın delete-d jackknife tahmini Eşitlik (10) ile gösterilmektedir.

$$se_{jack-d} = \sqrt{\frac{n-d}{\binom{n}{d}} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(s)} - \hat{\theta}_{(.)})^2} \quad (10)$$

s, $(1, 2, \dots, n)$ olmak üzere içerisinden alınan d boyutlu bir kümeyi ve $\hat{\theta}_{(s)}$, alt kümeleri kaldırılmış (s) veri kümesine uygulanan θ' 'yi ifade etmektedir. $\hat{\theta}_{(s)} = \hat{\theta}_{(x)}$, x orijinal veri kümesinden $\{x_i, i \in s\}$ dışarıda bırakılmak için geriye kalanlar bir delete-d jackknife örneğinin boyutunu temsil eden $n-d$ tane veri noktasını göstermektedir. Ayrıca; x_1, x_2, \dots, x_n içerisinden değiştirilmeden alınan $(n-d)$ boyutlu tüm alt küme s'lerin toplamı $\hat{\theta}_{(.)} = \sum \hat{\theta}_{(s)} / \binom{n}{d}$ ve $\binom{n}{d}$ ise bir seferde dışarıda bırakılan alt küme örneklerini göstermektedir. n büyük ve $\sqrt{n} < d < n$ ise jackknife örneklerinin alt küme $\binom{n}{d}$ sayıları da büyük olabilir. $\sqrt{n}/d \rightarrow 0$ veya $n-d \rightarrow \infty$ olduğunda, delete-d jackknife değerinin medyan için tutarlı olduğu söylenebilir. Böylece jackknife standart hatasının tahmini için tutarlılık elde edilmekte ve bu durum $d = \sqrt{n}$ 'den fazla ve n'den az gözlemin dışarıda bırakılmasıyla gerçekleşmektedir [18].

Delete-d jackknife yönteminin en önemli avantajı, $\hat{\theta}'$ 'nin örnek dağılımının uygun bir tahmininin yorumlanmasına yardımcı olmasıdır. Bu da delete-d jackknife'ın (yani d silme değerinin) bootstrap'a göre standart hataya daha yakın bir değer olduğunu göstermektedir. Böylece delete-d jackknife'ın bootstrap'a daha çok benzemesini sağlamaktadır.

2.1.2. Bootstrap yöntemi

Bootstrap yöntemi 1979 yılında yeniden örnekleme yöntemi olarak ileri sürülmüş ve bootstrap tahmin edicilerini kullanarak bir tahmin edicinin dağılımını tahmin etmek amacıyla geliştirilmiştir [23]. Yöntem, tek örnekten hareketle ana kütle parametresi hakkında karar vermek yerine, örnekten elde edilen değerleri ana kütle değeri olarak varsayar ve tekrardan yerine koyarak (iadel) örnek alıp, ana kütle parametresini tahmin eder. Bootstrap yönteminde asıl amaç, var olan veri setindeki gözlemlerin tesadüfi olarak yer değiştirilmesi sonucunda yeniden örnekleme ile yeni veri setleri oluşturmaktır.

Bootstrap yöntemi, ana kütle parametreleri hakkında bilgi sahibi olunmadığı ve sadece o ana kütleyle ait bir örneklemin gözlemlenebilir olduğu durumlarda, ana kütle bilinmeyen parametrelerine ilişkin tahminlerin yapılması, güven aralıklarının oluşturulması ve istatistik hipotezlerin test edilmesi işlemlerini kapsar. Efron'un bootstrap yöntemi, bilinen bir ana kütlede gözlemlenmiş olan bir örneklemin, birbirinden bağımsız ve aynı dağılımlı olması koşulu ile analitik olarak elde edilmesi güç olan çeşitli tahmin edicilerin örnekleme dağılımlarına yaklaşımda bulunarak elverişli bir yöntem olarak kullanılmaktadır [24]. Jackknife yöntemine alternatif olan yöntemin çok daha güvenilir ve kolay uygulanabilir olduğu bilinmektedir [25].

Bootstrap algoritmasının işleyişi;

1. Ana kütle parametresi tahmin edicisinin hesaplanması için ana kütlede n hacimlik bir örnek alınır.
2. Ana kütle ile ilgili hiçbir bilgi olmadığından, elde edilen bu örnek, ana kütlede en iyi tahmin edicisi kabul edilir. Bu nedenle bu örnek ana kütle gibi kabul edilerek her defasında iadeli seçimle her bir gözlemin örneğe girme olasılığı $1/n$ alınarak n hacimlik bir örneğin yeniden elde edilmesi ve bu sürecin B kez tekrarlama yapılar.
3. Her bootstrap örneği için tahmin edici hesaplanır.
4. B sayıda örnekten hareketle bu tahmin edicilerin örnekleme dağılımı elde edilir.
5. Elde edilen bu dağılımdan, dağılımla ilgili ortalama, standart sapma ve standart hata gibi önemli tahmin ediciler ile parametre tahmin değerleri elde edilir.
- 6) Bu tahminler kullanılarak ana kütle hakkında yorumlar yapılır [26].

Bu, bootstrap yönteminin işleyiş mantığını genel olarak açıklayan bir algoritmadır [1]. Yeniden örnekleme sayısı olan B, uygulamaya bağlıdır. n hacimlik bir örnekten, teorik olarak n^n sayıda bootstrap örneği oluşturmak mümkün olsada bu hem gereksiz hem de zaman kaybına neden olmaktadır [27].

Bootstrap dağılımının standart hata tahmini;

Dağılımı bilinmeyen rastgele bir örnek olduğu varsayılan $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ veri setinden oluşan gözlemlerden bootstrap standart hatası aşağıdaki algoritmayla bulunabilir.

1. $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ veri setinden, n birimlik yerine koyma yöntemiyle seçilmiş B tane birbirinden bağımsız $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$ bootstrap örneği oluşturulur.
2. "s" standart sapmayı göstermek üzere her bir örnek için standart sapma hesaplanır.

$$\hat{\theta}_{(b)}^* = s(x^{*b}) \quad b = 1, 2, \dots, B \quad (11)$$

3. \widehat{se}_B , bootstrap örneklerinin örnek standart hatası olmak üzere standart hata;

$$\widehat{se}_B = \sqrt{\frac{\sum_{b=1}^B [\hat{\theta}_{(b)}^* - \hat{\theta}_{(.)}^*]^2}{B-1}} \quad (12)$$

olarak ve burada $\hat{\theta}_{(.)}^*$ ise Eşitlik (13) ile hesaplanmaktadır.

$$\hat{\theta}_{(.)}^* = \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{(b)}^* / B \quad (13)$$

İlk aşamada gözlemlenmiş değerlerden bootstrap örnekleri oluşturulmuş ve her bir örnek için standart hata tahmin değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan standart hata tahminlerinin ortalaması bulunmuştur. Her bir standart hata tahmin değerinden, hesaplanan ortalama standart hata değerler farkının karesi alınarak, sapma miktarı elde edilmiş ve son olarak sapmaların kareleri bootstrap örnek sayısının bir eksiğine bölünerek karekökü alınmış ve standart hata değerleri elde edilmiştir [28].

Günümüzde standart bootstrap güven aralığının yerine, parametrik olmayan farklı güven aralığı oluşturma yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlerle yeniden örnekleme yapılarak örneğin ampirik dağılımı elde edilebilir. Parametre tahminlerinin ampirik dağılımı olan örnekleme dağılımının elde edilebilir olmasıyla güven aralıkları oluşturulabilmektedir [29]. Bootstrap güven aralıkları, normal yaklaşım yöntemi ve yüzdelik yöntem olmak üzere iki şekilde elde edilebilir. Bootstrap yöntemi parametrik olmayan bir yöntem olarak bilinmesine rağmen, normal yaklaşım ile bootstrap güven aralığı yönteminin, parametrik yöntemle büyük benzerlik gösterdiği söylenebilir. Normal yaklaşımla elde edilen bootstrap güven aralığı yöntemi, güçlü normallik varsayımı gerektirmektedir. Bu varsayım sağlanmadığı durumda, normal yaklaşımla elde edilen güven aralığı, parametrik olmayan yöntemlerle elde edilen güven aralıklarından daha iyi olmaz ve bu varsayımlar nedeniyle yöntem fazla tercih edilmez. Bunun yerine, yüzdelik yöntemiyle elde edilen bootstrap güven aralığı tercih edilir.

Bootstrap yöntemi, parametrenin güven aralıklarının oluşturulması için ampirik dağılım kullanmaktadır [29]. Bootstrap algoritmasındaki yinelemeler tekrar edilerek, bootstrap yöntemi ile tahmin edilmiş parametre tahminlerinin vektörü oluşturulmakta ve dağılımın yüzdelerle değerleri ortaya çıkarılmaktadır [30]. Bootstrap yüzdelerle güven aralığı yöntemi daha çok parametrik varsayımların olmadığı durumlarda kullanılmakta ve standart normal güven aralığı yönteminin aksine bilinmeyen parametrelerin dağılımı ya da bootstrap dağılımı için bu yöntemde herhangi bir normallik varsayımı aranmamaktadır.

Bootstrap yüzdelerle güven aralığı yönteminde örnekleme dağılımının parametrelerini tahmin etmek için bootstrap örnekleme dağılımının oluşturulması yeterlidir. Bu yöntemde güven aralığının sınırları $\hat{\theta}'$ 'nin bootstrap dağılımı ile belirlenmekte ve bu yöntem çarpık dağılımlarda oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Ancak örnek hacminin küçük olduğu durumlarda performansı düşmekte [31] ve bu durumda, sıfır hipotezinin reddedilme olasılığının artma ihtimali ortaya çıkmaktadır.

Bootstrap tekrar sayısının sonsuza yaklaştırılmasıyla istenilen bootstrap güven aralığı elde edilebilir. Ancak uygulamada tekrar sayısının sonsuza yaklaştırılması mümkün olmayabilir. Buna bağlı olarak sonlu bir B tekrar sayısı ve $\hat{\theta}'$ 'in dağılımı için aşağıdaki adımlar kullanılarak bootstrap yüzdelerle güven aralığı oluşturulabilir.

1. x_1, x_2, \dots, x_n örneklemeden hareketle tesadüfi örnek çekilerek $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ olarak bootstrap örneklemeleri elde edilir.
2. θ parametresine ilişkin bootstrap tahmini $\hat{\theta}^*$ hesaplanır.
3. Bu iki adım B kez tekrarlanır. B tekrardan elde edilen $\hat{\theta}^{*1}, \hat{\theta}^{*2}, \dots, \hat{\theta}^{*B}$ tahminleri kullanılarak bootstrap dağılımının (\hat{G}) kümülatif dağılım fonksiyonu elde edilir.
4. \hat{G} , $\hat{\theta}'$ 'nin kümülatif dağılım fonksiyonu olduğu varsayımı altında, $1 - 2\alpha$ yüzdelerle aralığı \hat{G}' 'nin α ve $1 - \alpha$ 'inci yüzdelerle dilimleri ile Eşitlik (14)'deki gibi tanımlanır.

$$[\hat{\theta}_{\%alt}, \hat{\theta}_{\%üst}] = [\hat{G}^{(-1)}(\alpha), \hat{G}^{(-1)}(1 - \alpha)] \quad (14)$$

5. Bootstrap dağılımının 100α 'inci yüzdeleri $\hat{\theta}^*$ olduğu için $\hat{G}^{(-1)}(\alpha) = \hat{\theta}^*$ şeklinde de ve bootstrap yüzdelerine ait aralık ise Eşitlik (15) ile de gösterilebilir.

$$[\hat{\theta}_{\%alt}, \hat{\theta}_{\%üst}] = [\hat{\theta}^{*(\alpha)}, \hat{\theta}^{*(1-\alpha)}] \quad (15)$$

2.1.3. Jackknife ve bootstrap yöntemleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar

Jackknife ve bootstrap yöntemlerinin her ikisi de aynı veri kümesinden tekrarlama yaparak örnekler elde etme temeline dayanmaktadır. Bootstrap standart hata tahmininde, sapma değerleri $\frac{1}{n-1}$ veya $\frac{1}{n}$ çarpanı ve jackknife tahmininde ise $\frac{n-1}{n}$ çarpanı ile kullanılmaktadır. $\frac{n-1}{n}$ değeri, $\frac{1}{n-1}$ veya $\frac{1}{n}$ değerinden oldukça büyük olduğundan, jackknife sapmaları Bootstrap sapmalarından daha küçük eğilime sahip olur [18].

$$\begin{aligned} & (\hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta}_{(\cdot)})^2 \\ & (\hat{\theta}_{(b)}^* - \hat{\theta}_{(\cdot)}^*)^2 \end{aligned}$$

Jackknife yöntemi, bootstrap yöntemine göre daha kolay ve daha başarılı bir yaklaşım sunmakta, ancak $\hat{\theta}$ istatistiği düzgün olmadığında (non-smooth) iyi sonuçlar vermemektedir. Zira medyan gibi düzgün olmayan bir istatistik için bootstrap yönteminin jackknife yönteminden daha tutarlı olduğu bilinmektedir. Jackknife yöntemi duyarlı ölçümler için aşırı uç değerleri veri setine dahil ettiğinden uç değerlerden etkilenmektedir. Bu nedenle istatistik ölçümler açısından medyanın güvenilirliği bu yöntemde göre güvenilir değildir. Böylece düzgünlüğün olmaması örneğin medyan ile hesaplanacak olan örnekleme hatasının jackknife tahmininde istenmeyen tutarsız durumlara neden olacaktır. Ancak bootstrap yönteminde böyle bir durum söz konusu değildir.

$\hat{\theta}'$ 'nin sadece n jackknife veri kümeleri için hesaplanması gerektiğinde, n 'nin standart hata tahmini, bootstrap tarafından yapılan tekrarlama yönteminden az ise jackknife'in tercih edilmesi daha mantıklı olur. Ancak sadece n jackknife örneklerine bakarak, jackknife θ hakkında sınırlı bilgiye ulaşır. Bu nedenle jackknife'in bootstrap'tan daha az etkili olduğu söylenebilir. Bu da jackknife'in bootstrap

yöntemine yakın bir tahmine dönüştüğü şeklinde yorumlanabilir [18]. Bootstrap yönteminde ise B tekrarlamayla N^n tane yeniden örnek oluşturulduğunda bootstrap tekrarlamayla elde edilecek birden fazla örneğin oldukça büyük işlemler gerektirdiği ayrıca zaman, maliyet ve kalifiyeli eleman durumlarını ortaya çıkaracağından verilerle ilgili bazı güncellikler zamanla önemini yitirebilir. Ayrıca jackknife yöntemi sadece n tane gözlem kullanarak elde edeceği sınırlı bilgiye rağmen, bootstrap N^n tane örnek elde ederek jackknife göre daha küçük örnekleme hatası elde etmektedir. Bu durumda bootstrap yönteminin, jackknife yöntemine nazaran daha etkili olduğu söylenebilir.

Bazı paket programların geliştirilmesi ile çoğu araştırmacı jackknife yönteminin bootstrap yönteminden sonra kullanılan kontrol amaçlı bir yeniden örnekleme yöntemi olduğunu ileri sürmüştür [3].

Son olarak jackknife yöntemi, dağılımı tahmin etmek için kullanılırken, bootstrap yönteminde böyle bir durumdan söz edilemez. Bootstrap yöntemiyle elde edilen yeniden örneklerde yeni bir bootstrap dağılımı oluşturulur. Jackknife ve bootstrap yöntemlerinde ana kütle dağılımı normal dağılım göstermiyorsa bu iki yöntem;

- Standart hatayı azaltır,
- Herhangi bir dağılım olmadan güven aralığı verir,
- Yeniden bir örnek üzerinde çalışma imkanı sağlar.

Jackknife ve bootstrap yöntemlerinden hangisinin daha kullanışlı olabileceğini anlamak için Tablo 1 kullanılabilir

Tablo 1. Jackknife ve bootstrap yöntemlerinin karşılaştırılması

Jackknife	Bootstrap
Yeniden örnekleme, belli bir gözlemden birinin dışında bırakılmasıyla yapılır	Yeniden örnekleme, eldeki gözlemlerin yerine koyarak örnekleme yapılır
İadesiz seçim yapar	İadeli seçim yapar
En fazla örnek genişliği kadar örneklem elde eder	Örnek türetme konusunda herhangi bir limit yoktur
Normal dağılım varsayımını gerektirir	Herhangi bir dağılımdan bağımsız üretilir
Daha az algoritma ve hesaplama içerir	Daha fazla algoritma ve hesaplama içerir
Her zaman aynı sonuçları sağlar	Aynı verilerin yinelenmesiyle zaman zaman farklı sonuçlar sağlar
Örnek büyüklüğü n tane gözlemden birinin dışında bırakılmasıyla geriye kalan $n-1$ tane gözlemden oluşur	Bootstrap'taki örnek büyüklüğü n 'dir
Tekrar sayısı n 'dir	Tekrar sayısı Nn 'dir
Herhangi bir dağılımın tahmin edilmesi amaçlanmaz daha çok doğrulama amacıyla iyi sonuçlar verir	Temelde bilinmeyen bir dağılımının tahmin edilmesi ve hesaplanması için tavsiye edilir
Esasen temel istatistik çıkarımlarda iyi sonuç verir	Yoğun hesaplamalarda iyi sonuç sağlar

3. Bulgular

Bu çalışmada, yeniden örnekleme yöntemlerinden olan jackknife ve bootstrap yöntemleriyle; 100 ve 300 tekrarlamayla oluşturulan örnek genişliklerinde elde edilen n birimlik örneklerden; çekilen örnek genişliği altında ortalama ve güven aralığı değerleri incelenmiştir.

Ortalaması 10 olan ana kütlede 100'lük örnekte; n değeri 10'ar birim artacak şekilde 10'dan 80'e kadar çekilen bootstrap ve jackknife örneklerinde ortalama ve güven aralıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Ortalaması 10 olan ana kütlede, 100 birimlik örnekte çekildiği varsayılan n (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) hacimli (bootstrap) örneklere ait ortalama ve güven aralığı değerlerini içeren Tablo 2 incelendiğinde;

$n=10$ olduğu durumda, gerçek ortalama 10.058 ve güven aralığı 8.376-11.740 olarak bulunmuşken, bootstrap için ortalama 10.065, güven aralığı 9.781-10.349 ve jackknife yöntemi için ise ortalama 10.058 ve güven aralığı 7.906-12.210 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre jackknife ortalamasının gerçek değerle aynı olduğu ve bootstrap ortalamasının ise yaklaşık %1'lik farkla gerçek değere çok yakın olduğu gözlenmiştir.

n=20 olduğu durumda, iki yonteme ait ortalamannın da 10 ve gercek ortalama ile aynı olduğu gözlenmiştir. Gerçek ortalama için güven aralığı 8.068-11.931, bootstrap yöntemi için 9.620-10.380 ve jackknife yöntemi için ise 6.961-13.038 olarak bulunmuştur

Tablo 2. 100 birimlik örnek genişliklerinde elde edilen sonuçlar

n	Ort _G	Ort _B	Ort _J	CI _G		CI _B		CI _J	
				L	U	L	U	L	U
10	10.058	10.065	10.058	8.376	11.740	9.781	10.349	7.906	12.210
20	10	10	10	8.068	11.931	9.620	10.380	6.961	13.038
30	10.049	10.031	10.049	8.203	11.895	9.793	10.270	7.371	12.727
40	10.127	10.123	10.127	8.155	12.099	9.882	10.364	7.018	13.236
50	10.104	10.107	10.104	8.155	12.053	9.900	10.315	7.088	13.121
60	10.107	10.115	10.107	8.155	12.060	9.933	10.297	7.067	13.147
70	10.077	10.071	10.077	8.096	12.059	9.887	10.255	6.702	13.452
80	10.052	10.053	10.052	8.034	12.070	9.904	10.201	6.799	13.305

n=30 olduğu durumda, gercek ortalama değeri 10.049 ve güven aralığı 8.203-11.895 olarak bulunmuşken, bootstrap için ortalama 10.031, güven aralığı 9.793-10.270 ve jackknife için ise ortalama 10.049, güven aralığı 7.371-12.727 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlarla, jackknife ile elde edilen ortalamannın, gercek değerle aynı olduğu, ancak bootstrap ile elde edilen ortalamannın gercek değerden yaklaşık 0.018 birimlik bir fark gösterdiği görülmüştür.

Örnek genişliği 40 olduğunda; gercek ortalama 10.127, güven aralığı 8.155-12.099, bootstrap ortalaması 10.123, güven aralığı 9.882-10.364 ve jackknife ortalaması 10.127, güven aralığı ise 7.018-13.236 olarak bulunmuştur.

Örnek genişliği 50 olduğunda, gercek değer ve jackknife ortalamaları 10.104, gercek değer için güven aralığı 8.155-12.053, jackknife için ise 7.088-13.121 olarak belirlenmiştir. Ayrıca bootstrap ortalaması 10.107 ve güven aralığı 9.900-10.315 olarak bulunmuştur.

Örnek genişliği 60 olduğunda, gercek değer ve jackknife ortalamaları 10.107, gercek değer için güven aralığı 8.155-12.060, jackknife için ise 7.067-13.147 olarak bulunmuşken, bootstrap ortalaması 10.115 ve güven aralığı ise 9.933-10.297 olarak bulunmuştur.

n=70 olduğunda, gercek ve jackknife ortalamaları 10.077, gercek ortalamaya ait güven aralığı 8.096-12.059 ve jackknife ortalamasına ait güven aralığı ise 6.702-13.452 olarak bulunmuştur. Bootstrap ortalaması 10.071, güven aralığı ise 9.887-10.255 olarak bulunmuştur.

Örnek genişliği 80 olduğunda da gercek ve jackknife ortalamalarının (10.052) birbirlerine eşit oldukları, bootstrap ortalamasının (10.053) ise bunlardan biraz farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca gercek, bootstrap ve jackknife ortalamalarına ait güven aralıkları sırasıyla 8.034-12.070, 9.904-10.201 ve 6.799-13.305 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre tüm örnek genişliklerinde, jackknife ortalamalarının benzer örnek hacmindeki gercek ortalama değeriyle aynı olduğu ve bootstrap ortalamasını ise bunlara çok yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm örnek genişliklerinde jackknife güven aralıklarının gercek değer güven aralıklarına göre geniş bir aralığa, bootstrap güven aralıklarının ise daha dar bir aralığa sahip olduğu gözlenmiştir.

Ortalaması 10 olan ana kütlede 300 birimlik örnekte; n değeri 10'ar birim artacak şekilde 10'dan 80'e kadar çekilen bootstrap ve jackknife örneklerinde ortalama ve güven aralıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. 300 birimlik örnek genişliklerinde elde edilen sonuçlar

n	Ort _G	Ort _B	Ort _J	CI _G		CI _B		CI _J	
				L	U	L	U	L	U
10	9.960	9.954	9.960	7.963	11.958	9.508	10.400	6.529	13.391
20	10.042	9.960	10.042	7.988	12.096	9.589	10.332	6.753	13.330
30	10.079	10.083	10.079	8.067	12.091	9.704	10.461	6.372	13.785

40	10.028	10.022	10.028	8.069	11.987	9.735	10.309	6.675	13.381
50	9.947	9.947	9.947	7.959	11.935	9.727	10.166	6.755	13.139
60	10.003	10.007	10.003	8.024	11.983	9.824	10.191	6.921	13.086
70	10.006	10.007	10.006	7.997	12.014	9.849	10.164	7.029	12.983
80	9.995	9.990	9.995	8.025	11.964	9.843	10.137	7.106	12.883

Ortalaması 10 olan anakütleden 300 birimlik örnekten çekildiği varsayılan n (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) hacimli (bootstrap) örneklere ait ortalama ve güven aralığı değerlerini içeren Tablo 3 incelendiğinde; bütün örnek genişliklerinde gerçek ve jackknife ortalamalarının aynı örnek genişliğinde birbirlerine eşit olduğu gözlenmiştir.

$n=10$ olduğu durumda; ortalama 9.960, gerçek ortalama güven aralığı 7.963-11.958 ve jackknife ortalama güven aralığı 6.529-13.391 olarak bulunmuşken, bootstrap ortalama 9.954 ve güven aralığı 9.508-10.400 olarak bulunmuştur.

Örnek genişliği 20 olduğunda; ortalama değer 10.042, gerçek ortalama güven aralığı 7.988-12.096 ve jackknife ortalama güven aralığı 6.753-13.330 olarak belirlenirken, bootstrap ortalama değeri 9.960 ve güven aralığı ise 9.589-10.332 olarak belirlenmiştir.

$n=30$ olduğu durumda; gerçek ortalama ile jackknife ortalaması 10.079 ve bootstrap ortalaması ise 10.038 olarak bulunmuştur. Ayrıca güven aralığı gerçek ortalama için 8.067-12.091, bootstrap için 9.704-10.461 ve jackknife için ise 6.372-13.785 olarak bulunmuştur.

40 örnek genişliğinde gerçek ve jackknife ortalaması 10.028, gerçek ortalama için güven aralığı 8.069-11.987 ve jackknife ortalaması için güven aralığı 6.675-13.381 olarak belirlenirken, bootstrap ortalaması 10.022 ve güven aralığı ise 9.735-10.309 olarak belirlenmiştir.

50 örnek genişliğinde üç ortalamasının da birbirine eşitken, gerçek ortalama için güven aralığı 7.959-11.935, jackknife ortalaması için güven aralığı 6.755-13.139 ve bootstrap ortalaması için güven aralığı ise 9.727-10.166 olarak belirlenmiştir.

Örnek genişliği 60 olduğunda; gerçek ve jackknife ortalama değerleri 10.003, gerçek ortalama için güven aralığı 8.024-11.983 ve jackknife için güven aralığı 6.921-13.086 olarak, bootstrap ortalama değeri 10.007 ve güven aralığı ise 9.824-10.191 olarak belirlenmiştir.

$n=70$ olduğu durumda; gerçek ortalama ile jackknife ortalaması 10.006 ve bootstrap ortalaması ise 10.007 olarak bulunmuştur. Ayrıca güven aralığı gerçek ortalama için 7.997-12.014, bootstrap için 9.849-10.164 ve jackknife için ise 7.029-12.983 olarak bulunmuştur.

80 örnek genişliğinde gerçek ve jackknife ortalaması 9.995 olarak ve bu iki ortalamaya ait güven aralıkları ise sırasıyla 8.025-11.964 ve 7.106-12.883 olarak belirlenmişken, bootstrap ortalaması 9.990 ve buna ait güven aralığı ise 9.843-10.137 olarak belirlenmiştir.

Bu veriler ışığında, tüm örnek genişliklerinde, jackknife ortalamalarının benzer örnek hacmindeki gerçek ortalama değeriyle aynı olduğu ve bootstrap ortalamasını ise bunlara çok yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca tüm örnek genişliklerinde jackknife güven aralıklarının gerçek değer güven aralıklarına göre geniş bir aralığa, bootstrap güven aralıklarının ise daha dar bir güven aralığına sahip olduğu gözlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Örnekleme yöntemleri, istatistik biliminin gelişmesi ve bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte son 50-60 yıl içerisinde her geçen gün daha da yaygın kullanılmaktadır.

Modern çağın getirmiş olduğu kolaylıklar sayesinde, bilgisayar kullanımının artmasıyla birlikte, yeniden örnekleme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Paket programların kullanımıyla birlikte, bir istatistiğin dağılımını tahmin etmek için normal dağılım şartı yerine, hem normal hem de normal olmayan dağılımlar için yeniden örnekleme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. [25] çalışmasında; doğrudan kuramsal hesap, monte carlo ve taylor yöntemleri ile bootstrap dağılımını elde etmeyi açıklamıştır. Ayrıca örnek hacmini artırmadan ana kütle parametresi ile tahmin edici arasındaki sapmanın azalacağından bahsetmiştir. Bu bağlamda örnek hacminin farklı örnekleme yöntemleriyle de araştırıldığında örnek hacminin belli bir sayıdan sonra anakütle parametresi ile tahmin edici

arasındaki sapmanın azalacağı belirlenmiştir [32]. [33]; tahmin edicinin, parametre için doğru bilgi taşıyıp taşımadığına cevap aramak üzere, standart sapmanın bootstrap tahminini ele almışlardır. Ayrıca jackknife yöntemi ile bootstrap yöntemleri arasındaki ilişkiyi de incelemişlerdir. Bootstrapta güven aralığı yöntemlerine değinerek, bootstrap tekrar sayısının büyük olması gerektiğini vurgulamışlardır. [34] ise farklı bootstrap güven aralıklarını ele almışlardır. [35] bootstrap tekrar sayısında azaltmaya giderek daha etkili bootstrap hesaplamaları yapmış ve bootstrap tekrar sayının, 50 ile 200 arasında olmasının yeterli olduğunu belirtmiştir. jackknife standart sapma değerlerinin nasıl tahmin edileceğini açıklamıştır.

Bootstrap ve jackknife yöntemlerini karşılaştırmak için ortalaması 10 olan ana kütlede 100'lük ve 300'lük örneklerden alınan örneklerin ortalama değerleri incelendiğinde; tüm (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) örnek genişliklerinde jackknife ortalamalarının gerçek ortalamalarla aynı ve bootstrap ortalamalarının ise gerçek ortalamalardan farklı ancak bunlara çok yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca 100'lük ve 300'lük örnek genişliklerinde örneklerin güven aralıkları incelendiğinde; gerçek değere göre bootstrapın güven aralığı daha dar bir aralıkta, jackknife'nin güven aralığının ise oldukça geniş bir aralıkta olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, bootstrap yöntemi jackknife yöntemine göre tahmin hatalarının daha az olması ve daha dar bir aralıkta güven aralığı vermesi, varyanslarının da daha küçük çıkmasını sağlamaktadır. Ayrıca 300'lük örnek genişliklerinden çekilen örneklere ait güven aralıklarının 100'lük örnek genişliklerinden çekilen örneklere ait güven aralıklarından çok az büyük ve genel olarak bu farkların çok küçük olduğu söylenebilir. Böylece, daha güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla çekilen örnek genişliğini artırmak maliyetli ve güç işlemler ortaya çıkarabilmektedir. Kullanımı oldukça kolay olan bootstrap tekrarları yoluyla bu maliyetli ve güç işlemlerden kurtulabilir.

Yazar Katkıları: Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunmuştur.

Finansman: Bu araştırma dışarıdan fon almadı.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynaklar

- [1] D. Topuz, "Regresyonda yeniden örnekleme yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi," Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002, Niğde.
- [2] Y. A. Özdemir, S. T. Şahin Tekin ve A. Esin, "Çözümlü örneklerle örnekleme yöntemlerine giriş," Seçkin Yayıncılık, 2015, Ankara.
- [3] M. Yay, "Bootstrap ve jackknife yöntemlerinin otomotiv sanayi üzerine uygulanması," Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2003, İstanbul.
- [4] B. Çil, "İstatistik gözden geçirilmiş 2. baskı," Detay Yayıncılık, 2000, Ankara.
- [5] M. R. Chernick, "Bootstrap methods: a guide for practioners and researchers," John Wiley and Sons Inc, 2008, New York.
- [6] R. Tarı, "Ekonometri gözden geçirilmiş 9. baskı," Umuttepe Yayınları, 2014, Kocaeli.
- [7] K. Sümbüloğlu ve K. Sümbüloğlu, "Biyostatistik 7. baskı," Hatiboğlu Yayınevi, 1997, Ankara.
- [8] R. P. Carver, "The case against statistical significance testing," Harvard Educational Review, 48, 1978, pp. 378-99.
- [9] P. Diaconis and B. Efron, "Computer intensive methods in statistics," Scientific American, 248:5, 1983, pp. 116-131.
- [10] S. S. Edgington, "Randomization tests (3rd ed.)," Taylor & Francis, 1995, New York.
- [11] S. D. Peddada and T. Chang, "Bootstrap confidence region estimation of the motion of rigid bodies," Journal of the American Statistical Association, 91:433, 1996, pp. 231-241.
- [12] X. Fan and L. Wang, "Comparability of jackknife and bootstrap results: an investigation for a case of canonical correlation analysis," Journal of Experimental Education, 64, 1996, pp. 173-189.
- [13] M. H. Quenouille, "Approximate tests of correlation in time series," Journal of The Royal Statistical Society, 11, 1949, pp. 18-44.
- [14] M. H. Quenouille, "Notes on bias in estimation," Biometrika, 61, 1956, pp. 353-360.
- [15] J. W. Tukey, "Bias and confidence in not-quite large samples," The Annals of Mathematical Statistics, 29, 1958, p. 614.
- [16] F. Şahin, "Jackknife ve bootstrap parametre tahmin yöntemlerinin etkinliğinin araştırılması," Anadolu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1993, Eskişehir.
- [17] H. Friedl and E. Stampfer, "Jackknife resampling," Encyclopaedia of Econometrics, 2, 2002, pp. 1089-1098.
- [18] B. Efron and R. J. Tibshirani, "An Introduction to the bootstrap," Chapman and Hall, 1993, New York.
- [19] J. Shao and C. Wu, "A general theory for jackknife variance estimation," The Annals of Statistics, 17:3, 1989, pp. 1176-1197.
- [20] C. F. J. Wu, "Jackknife, bootstrap and other resampling methods in regression analysis (with discussions)," The Annals of Statistics, 14:4, 1986, pp. 1261-1350.
- [21] C. F. J. Wu, "On the asymptotic properties of the jackknife histogram," The Annals of Statistics, 18:3, 1990, pp. 1438-1452.

-
- [22] J. Shao and T. Dongsheng, "The jackknife and the bootstrap," Springer-Verlag, 1995, New York.
- [23] Ş. Bülbül ve D. Altaş, "Bootstrap yönteminin model seçiminde kullanılması," III. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 1998, pp. 1037-1049, Bursa.
- [24] S. Duman, "Markow zincirlerinde bootstrap," Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006, Ankara.
- [25] B. Efron, "Bootstrap methods: another look at the jackknife," The Annals of Statistics, 7:1, 1979, pp. 1-50.
- [26] J. Fox, "Applied regression analysis, linear models and related methods," 1997, London.
- [27] R. Stine, "Modern methods of data analysis," Sage Publication, 1990, Newbury.
- [28] Ö. Atabey, "Lojistik regresyon modeli ve geriye doğru eliminasyon yöntemiyle değişken seçiminin hipertansiyon riski üzerine uygulamasında bootstrap yöntemi," Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010, Ankara.
- [29] M. K. Beşer, "Zaman serilerinde bootstrap çözümlenmeleri ve türkiye'de tanzi etkisine uygulaması," Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006, İstanbul.
- [30] U. Atalay ve C. İnal, "Geometrik ve iki terimli dağılımların parametrelerinin bootstrap tahminleri," İstatistik Konferansı, 1999, pp. 37-67, Ankara.
- [31] T. J. Diccio and J. P. Romano, "A review of bootstrap confidence intervals," Journal of the Royal Statistical Society, 50:3, 1988, pp. 338-354.
- [32] H. Eygü and M.S. Özçomak, "Multivariate statistical quality control based on ranked set sampling", Asian Social Science, 14, 2017, pp. 1-10.
- [33] B. Efron and R. J. Tibshirani, "Bootstrap methods for standart errors, confidence intervals and other measures of statistical accuracy," Statistical Science, 1:1, 1986, pp. 54-77.
- [34] T. J. Diccio and R. J. Tibshirani, "Bootstrap confidence intervals and bootstrap approximations," Journal of the American Statistical Association, 82:397, 1987, pp. 163-170.
- [35] B. Efron, "More efficient bootstrap computations," Journal of the American statistical association, 85, 1990, pp. 79-89.

Research Article

Received: date: 04.03.2024
Accepted: date: 24.04.2024
Published: date: 30.06.2024

Demand Forecast Analysis for Bagel Sales in the Food Industry

Gökhan Özdemir¹, Semih Önüt²

¹Yildiz Technical University Department of Industrial Engineering, isgokhan96@gmail.com

²Yildiz Technical University Department of Industrial Engineering, onut@yildiz.edu.tr

Orcid: 0009-0001-3780-2272¹, 0000-0002-9503-1314²

Correspondence: isgokhan96@gmail.com

Abstract: For all living things, including plants and animals, food has become the means of ensuring their growth, survival, and protection of health. Life requires eating enough food in a balanced manner in order to continue. As a result, the food industry is made up of all these food-related operations, from the lowest stages (fisheries, agriculture, and animal husbandry) to the final stages (production, execution, and maintenance). In 1995, this industry was valued at 680 billion dollars, while in 2018, it was valued at 1.5 trillion dollars. A major factor in the food industry's recent more than twofold growth in size is production and consumption. Like everything else, the food business has benefited from the unification and simpler extension of a worldwide transportation network. The goal of this programming is to make it possible for artificial intelligence to anticipate with ease both the demand for bagels for the upcoming month and the annual sales amounts of a company that manufactures, supplies, and sells bagels. The CNN (Convolutional Neural Network) and LSTM (Long Short Term Memory) neural networks were used in the research as estimates of artificial intelligence. The prediction findings' accuracy was assessed using the Mean Squared Error (MSE) and Root Mean Square Error (RMSE). Software tests of the artificial intelligence techniques CNN and LSTM have shown nearly identical accuracy results. As a result, improvements in the findings of the precise estimation of the amount that may be sold will benefit sustainability, profitability, and market competition.

Keywords: demand forecasting, artificial intelligence, food industry, software

1. Introduction

Every living person, including even plants and animals, needs food to maintain their health, sustain their lives and ensure their development. Consuming balanced and sufficient amounts of food is a necessity for the continuity of life. Therefore, all the processes of these foodstuffs, starting from the lowest level (agriculture, animal husbandry, and fishing), through activities such as production, distribution, processing, until they are delivered to the end consumer, constitute the food sector. While the commercial value of this sector was 680 billion dollars in 1995, it reached 1.5 trillion dollars in 2018. Distribution as well as production and consumption plays a major role in the fact that the volume of the food industry has more than doubled in a few years. The existence of a global transportation network and the ease and spread of its use have made a positive contribution to the food industry, as in every sector.

Bagel; it has great importance in our eating habits because it is economical, satisfying, delicious and easily accessible. As a result of the research conducted on the nutrition of students at all levels from primary school to university, bagel took the first place among the products examined in almost all

studies. Studies have shown that bagel, which can be consumed at every meal, is the first choice of those working in other jobs. If we look at the bagel industry in our country, bagels and similar products can be sold in bakeries where production is carried out, as well as in mobile carts at points determined by the municipalities of the bakeries. Or certain people can make sales by traveling in a certain region [1].

Today, with increasing competitive conditions, almost all companies are trying to maximize their revenues. For this reason, they try to increase their profits and reduce their losses. In such a situation, in order to minimize losses, managers must make an analysis of future demands in order to make decisions more easily without experiencing uncertainty and to reduce risks. While performing this analysis, studies are generally carried out based on demands from previous periods.

One of the most important decisions to be made or investments to be made in businesses is the future sales of the goods or services to be produced. These sales quantities are called demand. As a result of determining this future demand through analysis, the decisions to be taken with the information obtained in the business will be more accurate, the investments to be made will be planned more soundly, and the risks will be reduced as much as possible. A feasibility study is required for the products or services to be produced in businesses in today's economy, it is determined whether the product or service can be sold in the market and, accordingly, it is estimated how much demand the product or service will receive. In the stage of making these predictions, the outputs obtained as a result of demand forecast analysis using a certain amount of data provide information that can be considered reliable in the decision-making stage.

Artificial intelligence-based methods are powerful methods for solving complex problems. The most commonly used artificial intelligence methods in demand forecasting are artificial neural networks, fuzzy logic and genetic algorithm. Artificial neural networks work and learn in a way similar to the human brain. By drawing conclusions from past data, it can make similar inferences when faced with similar situations. Therefore, it can produce more successful solutions than traditional methods. Learned information is stored in the connections between neurons. That is, the information is distributed within the network. Many basic processing units evaluate this information separately. This ensures that, unlike traditional methods with a single central processor, the entire system is not affected when an error occurs in one unit. Therefore, the system has a flexible structure and damage to one part of the network does not affect the entire system. Thanks to its self-learning ability, the system can generalize when a situation occurs that it has not encountered before. This also means that when there is missing or incorrect data, it can be replaced by generalization.

In this study, in the demand forecast analysis for the food sector, it is argued that parameters such as the day of the week, sales price, weather, humidity rate, Dollar and Euro exchange rates, gram and ounce prices of gold, bitcoin price, interest rate, weekly expenditure amount and fear index affect the demand. In addition, when the literature is examined, it has been seen that artificial intelligence methods can make more accurate predictions and it has been argued that realistic predictions can be made with the help of artificial intelligence.

In this study, predictions were made using LSTM and CNN methods, which are among the demand forecasting methods with artificial intelligence. An estimate was made for a one-month period using one-year data on the bagel product produced by a business operating in the food industry. It was found that both artificial intelligence methods made close predictions as a result of their low error rates.

As a result of many literature studies, it has been seen that there are demand forecasting studies using artificial intelligence methods. In this study, a demand forecast was made for bagel, which is produced daily and should be consumed daily, in order to contribute to the literature. Since bagel uses a lot of raw materials during its production and must be consumed within a few hours after cooking, it is of great importance to make consistent demand forecasting. In addition, it is difficult to forecast demand because it is affected by rain, humidity, wind, both during production and consumption, its redness or whiteness, its price, and sales quantities are affected by weather events.

2. Literature Summary

In their study, Özüdoğru and Görener (2015) made a demand forecast for syringes, angiocath, patches and gloves using data received from a hospital in Istanbul between 2009 and 2014. It has been said that especially in the healthcare sector, the distress caused by not having the product needed and the high cost of unnecessary stock materials can lead to major problems. In this forecasting study in the health sector, where few studies have been conducted, a statistical program called Minitab17 was used and time series methods were applied to the data, thus the most appropriate forecasting method was found. By looking at the Average Absolute Error, Average Square Error and Average Absolute Percent Error values, it was seen that the most appropriate forecasting methods were the 5-Month Moving Average method and the Additive Holt-Winters Method. The predicted values were calculated by taking the average of the results of these two methods [2].

Sarı (2016) made sales demand prediction of engine bearings using Artificial Neural Networks. It has been observed that factors such as dollar exchange rate, gross domestic product, number of vehicle parks and interest rate affect sales demand. The results obtained were compared with the prediction results made with regression analysis and time series, and it was seen that the prediction made with artificial neural networks was closer to reality. In addition, the Average Absolute Percentage Error value was much lower in the predictions made with artificial neural networks compared to others [3]. Bayramoğlu, Pabuçcu and Boz (2017) tried to determine Turkey's energy demand between 2016 and 2030 with the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) method, one of the artificial intelligence techniques. It has also been stated that the ANFIS model produces very successful results in many fields, especially engineering. As a result, it was observed that the energy consumed per unit of output remained approximately the same from 2016 to 2030. This situation has been explained as countries will increase their use of renewable energy resources. The energy demand forecast for Turkey in the study showed that our country will switch to more environmentally friendly sources, on the grounds that the amount of energy consumed per unit of income does not increase [4].

Yiğiter, Sarı and Başakın (2017) predicted stock closing prices with artificial neural networks and fuzzy logic inference systems. In the study, stock closing prices between 2006 and 2016 were estimated using multiple linear regression, artificial neural networks and fuzzy logic methods. It has been observed that predictions made with artificial neural networks and fuzzy logic methods produce more realistic results than predictions made with regression analysis. It has been said that new models to be established with the help of these methods will help to make more accurate decisions [5].

Haliloğlu and Tutu (2018) determined the factors affecting electricity consumption in Turkey and developed a demand forecast model that would ensure supply-demand balance using the Multiple Least Squares Method (EKK). As a result of comparing the monthly prediction made with the established model with the actual daily values, it was seen that the monthly deviations were very low. When the prediction result made with the established model and the actual total consumption amount are compared, Turkey's total consumption was calculated almost correctly [6].

Yıldırım (2019) conducted Demand Forecast Analysis with Artificial Neural Networks, which has become increasingly important in recent years. He worked in a company that imports walnuts in the food industry. In practice, Feed Forward Backpropagation Neural Network, which is frequently preferred in prediction studies, was used and its model was created in the Matlab R2019 program. Exchange rate, inflation, competitor, customer and price variables were added as input to the artificial neural network and as a result, the network outputs and real values were quite close. In the application, single, binary and Winters' exponential correction methods were also used and Mean Square Error and Mean Absolute Percent Error values were calculated. According to the results, it was seen that the Artificial Neural Networks method was better than other methods [7].

Nasuhoglu (2019) made predictions for 100 drugs using data between 2015 and 2018 in a pharmacy in Istanbul. Artificial Neural Networks, Moving Average, Exponential Smoothing, Binary Exponential Smoothing and Holt-Winters Methods were used. The results were checked by the Mean Square Error method. According to the results, it was seen that Artificial Neural Networks made the closest prediction [8].

In their study, Nebati, Taş and Ertuş (2021) made a demand forecast in electricity consumption using the electricity usage amounts in Turkey. They did this by using regression analysis and time series techniques. As a result, it was seen that the estimated values were close to the real values [9].

Çoban and Demir L (2021) made demand prediction for products in a food business using artificial neural networks and support vector regression methods. As a result, it has been seen that the artificial neural networks method can make better predictions than the support vector regression method [10].

Bilisik (2021) made a demand forecast for a company importing walnuts. It has been observed that the artificial neural network model gives the best results in the prediction made using multiple regression, 3-way, 4-way, 6-way moving averages, single, double and winters method exponential smoothing methods and artificial neural networks method [11].

In this context, after the sample studies examined, it was seen that artificial intelligence is not used much in demand forecasting and a few new studies have been conducted. It has been observed that there are not many demand forecasting applications in the food industry, and especially in the food industry, applications where demand forecasting is made using artificial intelligence are rare. For these reasons, this study was conducted to make a demand forecast using artificial intelligence in the food industry.

3. Demand Forecasting with Artificial Neural Networks

Artificial intelligence is generally the imitation of the cognitive learning process of the human brain in a virtual environment. It is used to solve complex problems and has been observed to generally give the most appropriate results. It is possible to produce solutions to problems thanks to the technique of gaining ideas by using historical data and learning by example. They are computer programs written to use a mathematical formula that can adapt parameters to examples in the simplest and shortest way, without going into technical details. It has human concepts such as perception, thinking, decision-making, and obtaining information. It tries to minimize the disadvantages of traditional computers by trying to imitate the human brain [7].

There are many basic processing units in artificial intelligence. All of these units are connected to each other, but the operations they perform individually are different. However, the transactions carried out by the units separately are ultimately considered as a whole. This situation also allows parallel operation, unlike classical algorithms. Therefore, problems can be resolved much faster [7].

Artificial intelligence-based methods are powerful methods for solving complex problems. The most commonly used artificial intelligence methods in demand forecasting are artificial neural networks, fuzzy logic and genetic algorithm. Artificial Neural Networks (ANN) are very flexible and powerful tools due to their ability to learn and generalize. The fuzzy logic method is widely used especially in interpreting data based on experience or non-numerical data. The state of uncertainty or imprecision is defined as blurriness. It is used in cases where there are no exact values and approximate thinking is used. Linguistic expressions such as big and small are used and everything takes values between 0 and 1. It is suitable for systems that are difficult to express with mathematical models. Genetic algorithm, another frequently used method, is used to calculate complex problems that are difficult to solve. In the genetic algorithm, each point in the solution is called a chromosome and a new entity is created using genetic factors such as crossover and mutation. First, in the genetic algorithm, all possible solutions are encoded as a sequence. Then, a random solution set is selected as a starting point. A fitness value is calculated for each sequence and random multiplication is performed. The fitness value is recalculated and the mutation process is applied. These processes are continued for a predetermined number of generations and the result that best suits the objective function is selected. Genetic algorithms can be used successfully in areas such as optimization, scheduling, mechanical learning, and cellular production [12].

Artificial neural networks are similar to biological neural networks and take the working principle of the human brain as an example. Artificial neural networks are widely used in the literature for different purposes such as; providing accurate soil moisture estimation [13], predicting employee turnover [14], sales forecasting for computer wholesalers [15], sales forecasting for oral-care goods [16], forecasting the temperature of a building-integrated photovoltaic panel [17], short term wind speed forecasting

[18], predicting air traffic demand [19], and so on. Artificial Neural Networks consists of many interconnected linear and non-linear elements. Artificial neurons generally consist of five parts called inputs, weights, summation function, activation function and output (Figure 1).

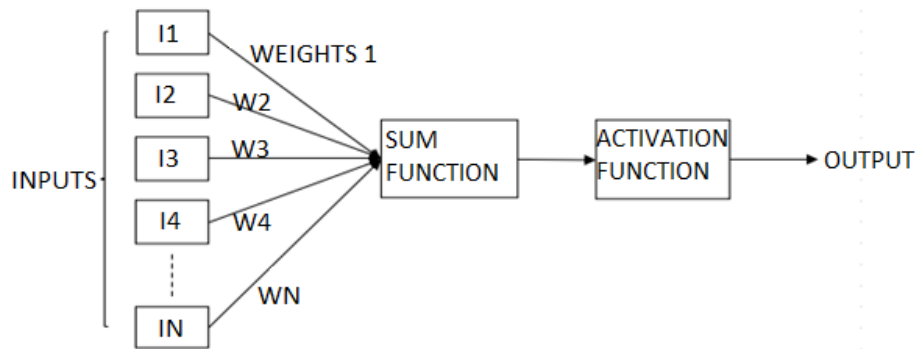


Figure 1. Artificial Nerve Cell.

The most important advantage of artificial neural networks is their ability to learn. This learning is the adjustment of weights to perform a desired function. Adjusting the weights is done with the help of examples of the problem. The weights are changed for each problem. This changing process continues until the correct weight is reached. Therefore, the most appropriate result is tried to be found by a constant trial and error method. The process stops when the error rate between the actual value and the result reaches an acceptable level. Each of these processes is called an Epoch. A high number of cycles may reduce the performance of the artificial neural network. Therefore, when choosing the number of cycles, the values between the activation function, learning method and network architecture should be chosen in the most appropriate way. ANN learning algorithms are divided into three groups: supervised, unsupervised and reinforcement learning [12].

In order for networks to work, the data that the network will process must first be collected. For this purpose, examples that have occurred before are discussed. Then, the number of layers of the network, the number of processing elements to be found in these layers, and accordingly the learning coefficient and aggregation and activation functions are determined. Weights for input values and intermediate layers are given random values between -0.1 and +0.1. Examples are selected from the learning set and shown to the network. There are output values based on input values and error values that occur accordingly. According to these values, the actual output is compared with the expected output. Finally, the weights are changed and control is regained [12].

4. Application

The demand forecasting application was carried out by using artificial neural networks and Python software by considering the annual bagel sales data of a company. Codes were written and run on Google TPUs in Colab. A sales forecast was made for the next 1-month period using 1-year historical data. In Python software, first LSTM (Long Short Term Memory) Neural Network and then CNN (Convolutional Neural Network) Neural Network were used. The resulting values were compared with each other and it was determined that similar results were found.

Deep learning technology has produced impressive time series prediction outcomes in recent years. Particularly, the long and short-term memory network (LSTM) and convolutional neural network (CNN) have shown great performance in processing temporal data. Deep learning models are appropriate for processing non-linear, smooth, and high-dimensional temporal data since they can automatically learn from patterns and properties of the data. Consequently, its application is extensive in various domains such as stock price prediction, crude oil price prediction, carbon trading price prediction, financial time-series analysis, and others. These models are capable of quite accurate prediction and have their own memory [20].

After the model is created, the Mean Squared Error (MSE) value is calculated while running the neural network and thus the margin of error is observed. In the model created based on the data, the Epoch value was randomly taken as 70 and thus it was decided that the model would be trained by making 70 iterations. Accordingly, it was understood that the MSE value was 0.1709 in the first model, and this value decreased as of the second model, that is, the model learned. As a result of approximately the 40th Epoch, it was observed that the MSE value was around 2%. Accordingly, it was concluded that the model learned in the 40th Epoch. The conclusion to be drawn here is that if there is no problem with time, the last 30 Epochs can be completed, but if there is a time constraint, there is no need for training. Since there is no time constraint in terms of this working model and each Epoch is very short, the training continued. According to the results, it is seen that the prediction of the model is close to normal. This can be seen in figure 4.

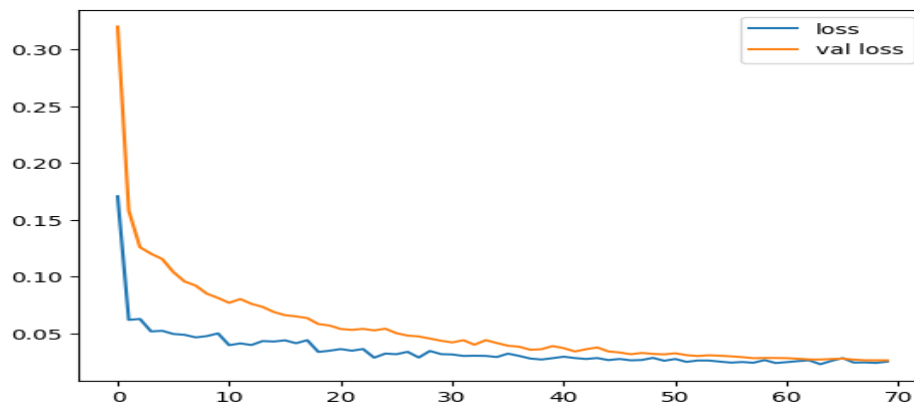


Figure 4. Model Estimated and Actual Value.

According to these results, a prediction is made in the model and the MSE value is calculated according to the result. RMSE (Root Mean Square Error) is obtained by taking the square root of this value. Thanks to the RMSE value, the success of the model can be measured. According to calculations, the RMSE value of the model is 0.1626. This value tells us that an accurate prediction was made with a margin of error of 16.26% (Figure 5).

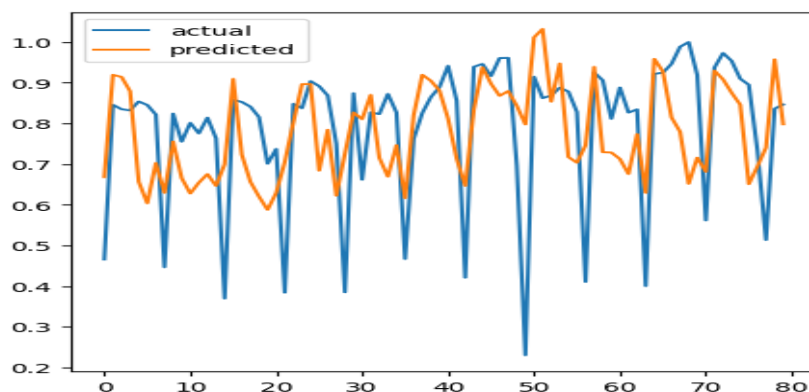


Figure 5. LSTM Estimation Results and Actual Values.

When the prediction results of the model and the actual values are compared, Figure 5 is formed. When this graph is examined, it is seen that the model cannot capture extreme points but can make generally consistent predictions. This is evident in the graph in Figure 5.

Loss and validation loss are calculated by looking at the values of the Epochs. According to the results, it is seen that the prediction of the model is similar to normal. This is clearly seen in figure 6.

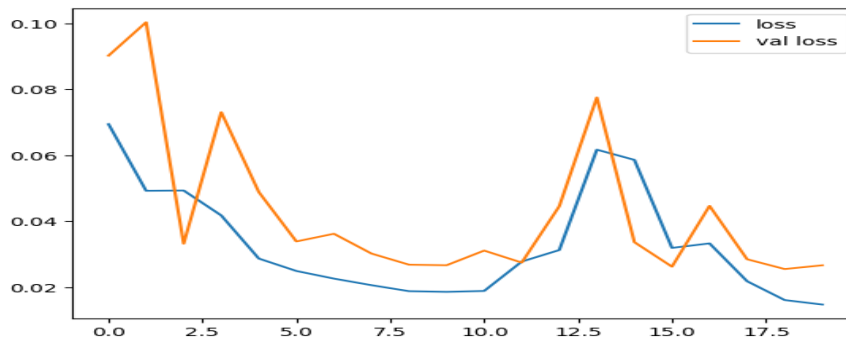


Figure 6. CNN Estimation Results and Actual Values.

According to these results, a prediction is made in the model and the MSE value is calculated according to the result. RMSE (Root Mean Square Error) is obtained by taking the square root of this value. Thanks to the RMSE value, the success of the model can be measured. According to calculations, it can be seen from Figure 6 that the RMSE value of the model is 0.1633. This value indicates that a correct prediction was made with a margin of error of 16.33%. Considering that the error rate in the LSTM model is 16.26%, it can be said that both artificial neural networks make predictions with a similar margin of error.

When the prediction results of the model and the actual values are compared, the graph in Figure 7 appears. Looking at this graph, it can be seen that the model cannot capture extreme points as in the LSTM model, but can still make consistent predictions in general.

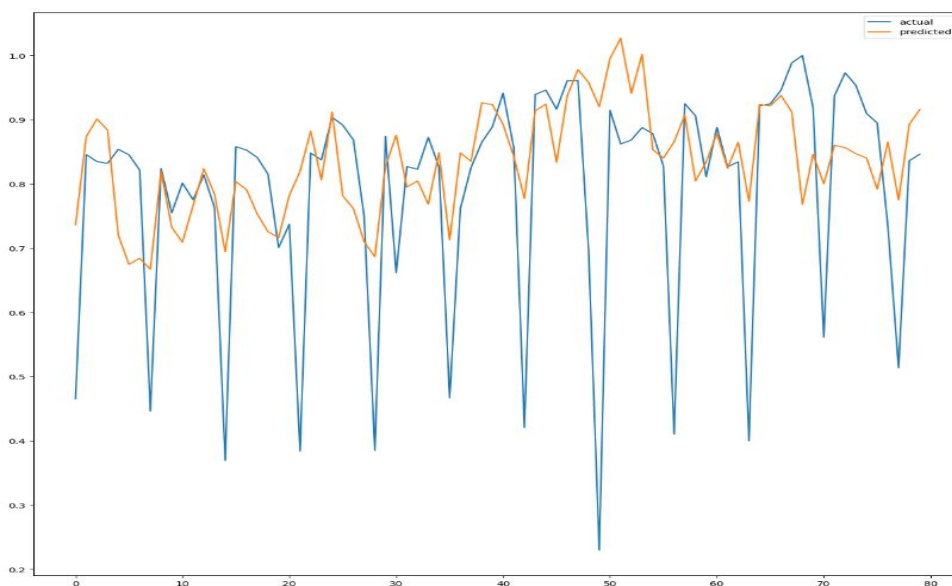


Figure 7. CNN Estimation Results and Actual Values.

It is seen that the error margins of LSTM and CNN artificial neural network models are almost the same and it is concluded that they make similar predictions. However, with LSTM each Epoch takes about 5ms, while with CNN it takes about 17ms. If there is no time restriction, both of these two methods can be used for applications.

5. Conclusions

Food is necessary for the upkeep of all living things, including plants and animals, as well as for their development and health. Life requires eating enough food in a balanced manner in order to continue. As a result, the food sector has a sizable share of this sector when taking production into account.

In these times of heightened competition, nearly every business is attempting to increase sales. They therefore make an effort to boost their earnings and lower their losses. Under such circumstances, managers have to analyze future demands to minimize losses, reduce risks, and make decisions more

readily without feeling uncertain. Demand forecast analysis is so crucial. Studies are typically conducted using data from earlier times in order to perform this analysis. Seasonal, economic, political, and other aspects should be taken into account when analyzing historical consumption data, and their effects should be taken into account when forecasting demand.

Upon reviewing the literature, it was discovered that demand forecasting research had been conducted and that artificial intelligence-based forecasts produced more reliable outcomes. Once more, the food industry is hardly ever covered by demand forecasting research, according to the literature assessment. This is the reason a corporation in the food industry performed a demand forecast study. First, a year's worth of data was used to analyze and debate the elements influencing sales. Using the data provided as input to the ANN, a prediction for the upcoming month was made. It has been noted that the predictions produced by CNN and LSTM neural networks are successfully fulfilled by artificial neural networks. Since the error rate computed as a result of the prediction was within an acceptable range, it was determined that the predictions were consistent. Based on this;

- Artificial neural networks can make consistent predictions in the food industry,
- As a result of ANN prediction, production can be made more planned,
- As a result of ANN prediction, production and consumption can be managed more easily,
- Investments can be made according to the demand resulting from ANN prediction,
- More accurate analysis can be made as a result of ANN prediction,
- According to the results of ANN estimation, stock quantities and raw material needs can be kept more easily and consistently,
- According to the ANN prediction results, it can increase competitiveness,
- According to the results of ANN prediction, it can be said that efficiency can be increased.

Author Contributions: "Conceptualization, G.Ö. and S.Ö.; methodology, G.Ö. and S.Ö.; software, G.Ö.; validation, S.Ö.; formal analysis, writing - revising and editing, G.Ö. and S.Ö.;

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

Note* This study was produced from Gökhan Özdemir's MSc thesis, which was carried out under the supervision of Semih Önüt.

References

- [1] Ünsal A., "Susamlı Halkın Tılsımı", 2010.
- [2] Özüdoğru A.G., Görener A., "Sağlık Sektöründe Talep Tahmini Üzerine Bir Uygulama", İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimleri Dergisi, 2015.
- [3] Sarı M., "Yapay Sinir Ağları Ve Bir Otomotiv Firmasında Satış Talep Tahmini Uygulaması", 2016
- [4] Bayramoğlu T., Pabuçcu H., Boz F.Ç., "Türkiye İçin Anfis Modeli İle Birincil Enerji Talep Tahmini", Ege Akademik Bakış, 2017.
- [5] Yiğiter Ş.Y., Sarı S.S., Başakın E.E., "Hisse Senedi Kapanış Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık Çıkarım Sistemleri İle Tahmin Edilmesi", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2017
- [6] Haliloğlu E.Y., Tutu B.E., "Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini", Journal of Yasar University, 2018.
- [7] Yıldırım A., "Talep Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama", 2019.
- [8] Nasuhoğlu H., "Eczacılık Sektöründe Yapay Sinir Ağları Ve Zaman Serileri Analizi İle Talep Tahmini", 2019
- [9] Nebati E.E., Taş M., Ertaş G., "Türkiye'de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021.
- [10] Çoban F., Demir L., "Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyonu ile Talep Tahmini: Gıda İşletmesinde Bir Uygulama", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 2021
- [11] Bilişik M.T., "Gıda Sektöründe Talep Tahmininde Yapay Sinir Ağları, Regresyon, Hareketli Ortalamalar Ve Winters Üstel Düzeltme Metodlarının Karşılaştırılması", Eurasian Academy Of Sciences Eurasian Business & Economics Journal, 2021
- [12] Sarı M., "Yapay Sinir Ağları Ve Bir Otomotiv Firmasında Satış Talep Tahmini Uygulaması", 2016.
- [13] Tsai P., Huang Y., Tai J., "Estimating Soil Water Content From Thermal Images With An Artificial Neural Network", CATENA, 2024.

-
- [14] Shafie M. R., Khosravi H., Farhadpour S., Das S., Ahmed I., "A Cluster-Based Human Resources Analytics For Predicting Employee Turnover Using Optimized Artificial Neural Networks And Data Augmentation", *Decision Analytics Journal*, 2024.
- [15] Lu C., Lee T., Lian C., "Sales Forecasting For Computer Wholesalers: A Comparison Of Multivariate Adaptive Regression Splines And Artificial Neural Networks", *Decision Support Systems*, 2012.
- [16] Vhatkar S., Dias J., "Oral-Care Goods Sales Forecasting Using Artificial Neural Network Model", *Procedia Computer Science*, 2016.
- [17] Zhou S., Lu W., Li W., Wang S., "Forecasting The Temperature Of A Building-Integrated Photovoltaic Panel Equipped With Phase Change Material Using Artificial Neural Network", *Case Studies in Thermal Engineering*, 2024.
- [18] Ali Y., Aly H. H., "Short Term Wind Speed Forecasting Using Artificial And Wavelet Neural Networks With And Without Wavelet Filtered Data Based On Feature Selections Technique", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024.
- [19] Alam M. S., Deb J. B., Amin A. A., Chowdhury S., "An Artificial Neural Network For Predicting Air Traffic Demand Based On Socio-Economic Parameters", *Decision Analytics Journal*, 2024.
- [20] Shi H., Wei A., Xu X., Zhu Y., Hu H., Tang S., "A CNN-LSTM Based Deep Learning Model With High Accuracy And Robustness For Carbon Price Forecasting: A Case Of Shenzhen's Carbon Market In China", *Journal of Environmental Management*, 2024.
- [21] Yılmaz M.C., Orman Z., "LSTM Derin Öğrenme Yaklaşımı İle Covid-19 Pandemi Sürecinde Twitter Verilerinden Duygu Analizi", *Istanbul University Press*, 2021
- [22] Dao F., Zeng Y., Qian J., "Fault Diagnosis Of Hydro-Turbine Via The Incorporation Of Bayesian Algorithm Optimized Cnn-Lstm Neural Network", *Energy*, 2024.

Research Article

Received: date: 20.03.2024

Accepted: date: 17.05.2024

Published: date: 30.06.2024

turkeyelections: The Most Comprehensive Initial R Package Developed on Election Results in Turkey

Ozancan Özdemir¹

¹Department of Statistics, Middle East Technical University; ozancan@metu.tr

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7850-3885>¹

*Correspondence: ozancan@metu.edu.tr

Abstract: Election results offer more than just the vote percentages of the participating parties and candidates; they also enable valuable inferences across various domains, particularly about the characteristics of the society in which the elections are conducted, thereby attributing significance to the data on election outcomes. However, within the context of Turkey, it is observed that datasets containing election results in an easily accessible and processable format are limited. Of the 45 elections held from 1946 to 2023, only data for 13 are shared by the Supreme Election Council responsible for the elections. To address this issue in such a popular field, the user-friendly turkeyelections package has been developed within the R programming language environment. This package facilitates easy access and utilization of the results of 16 elections conducted in Turkey between 1995 and 2023, on both national and provincial levels, and has been available for use since February 2024. This study presents details and usage information about the turkeyelections package, the most comprehensive database on Turkish election results developed to date. It enables easy downloading, processing, merging with other datasets, and visualization within the R environment, marking it as the first R programming language package developed for election results in Turkey.

Keywords: R programming; Turkey electoral data; Data Visualization; Open Data

1. Introduction

In the political sphere, an election is characterized as a procedure through which individuals or bodies tasked with public responsibilities are selected by a designated electorate from a pool of multiple candidates [1]. Since the shift to a multi-party framework in 1946, Turkey has conducted a total of 45 electoral events up until the second stage of the presidential elections on May 28, 2023. This total comprises 21 national or parliamentary elections, 13 local or municipal governance elections, 7 referenda, and 4 presidential elections [2]. It should be noted that the actual number of local elections held from 1946 to 2023 exceeds the 12 initially cited. However, statistical counting of local elections began with those held on November 17, 1963, following the implementation of Law No. 307 in 1963, which instituted the direct election of mayors via a simple majority system. Furthermore, Turkey's inaugural referendum occurred on July 9, 1961, while the first presidential elections permitting direct public voting were held on August 10, 2014 [2].

The 1965 parliamentary elections in Turkey employed the national remainder method for seat allocation. Subsequent elections in 1969, 1973, and 1977 favored the d'Hondt system, which was implemented without an electoral threshold. Following the 1980 military coup, significant alterations to the electoral framework were mandated by the 1982 constitution. This legal reform transitioned from the previous threshold-free d'Hondt method to a proportional representation system that included a national threshold of 10% and additional district-level thresholds. Moreover, the 1982 constitution led to the dissolution of the bicameral legislature, which consisted of the National Assembly and the Senate

of the Republic, both established by the 1961 constitution. Despite some subsequent modifications, the core principles of the electoral system have remained largely unchanged [3].

Election outcomes provide more than just the identification of winners; they also offer valuable insights into the societal context when analyzed alongside data from various domains such as economics, sociology, or social media sentiments. For instance, Akarca and Tansel explored the influence of governmental economic performance on voter behavior in Turkey by examining parliamentary and local election results from 1950 to 2004 [4]. Erener's research assessed the relationship between the consumer confidence index and the electoral performance of political parties CHP and AKP during the elections held between 2004 and 2019 [5]. Additionally, Doğan and Tokgöz investigated the impact of microeconomic factors on electoral decisions by analyzing the results of 11 parliamentary elections in Turkey from 1983 to 2018. In their study, they developed a comprehensive dataset by amalgamating information from various sources [6].

The scrutiny of election outcomes extends beyond the economic sphere, incorporating geographical analyses to discern spatial patterns in voting behavior. The 2011 parliamentary elections in Turkey, for instance, were examined from a geographical perspective to determine whether the results mirrored any specific spatial structures [3]. Gündem's research further integrated spatial statistics with electoral data by analyzing the vote percentages of political parties across provinces in the 2015 elections, utilizing a least-squared regression analysis to explore the influence of geographic location on voting patterns [7]. Similarly, Yiğit and Sezgin investigated the interplay between politics and space by reviewing general election results from 2000 to 2015, aiming to understand spatial variations in political preferences [8]. In a more focused study, Gülhan applied both OLS regression and spatial lag regression techniques to analyze the 2019 local election results in Istanbul, seeking to uncover underlying shifts in the city's political landscape [15].

The aforementioned studies highlight the critical role that electoral data analysis plays in interpreting various societal dynamics, including behavioral patterns. The availability and frequency of such studies are often contingent upon the accessibility of data. For example, in the United States, there are numerous open data platforms specifically dedicated to electoral information, facilitating extensive research. Within the context of R programming, tools like the 'election' package provide comprehensive datasets on U.S. presidential election results dating back to 1920 [16]. Similarly, the 'electionsBR' package, designed for managing Brazilian electoral data, has been utilized extensively since its introduction in 2016, with over 40,000 downloads [17].

Conversely, conducting similar research in Turkey presents significant challenges primarily due to data accessibility issues. The Supreme Election Council of Turkey only provides open data formats for 13 out of 45 election results, all post-2011. Researchers are thus compelled to manually process PDF files from the Turkish Statistical Institute or seek alternate sources to access and analyze earlier election results. The lack of a comprehensive and easily accessible electoral database in Turkey significantly impedes the ability to efficiently utilize electoral data in academic research. This limitation undoubtedly restricts the scope and ease of conducting electoral studies within the Turkish context.

To fill this gap in the literature and create a database that researchers can easily access and process, `turkeyelections` package was developed in R programming language, which is one of the most popular programming languages in social sciences, and published on the Comprehensive R Archive Network (CRAN) on February 4, 2024. This user-friendly R package is the first R programming package that provides an easy way of downloading and analyzing electoral data in Turkey. The main goal of the study is to introduce this package and give a detailed guide regarding its usage.

The content of this article consists of four parts with this introduction part. The next chapter explains the purpose of the package and gives some details about it. We exemplify the usage of this package in the third chapter. In the last chapter, the overview of this study is summarized, and the gained results from the experiments are summarized. The article is concluded by a discussion about the improvements to be made as a future direction.

2. Purpose and Content of the Package

The `turkeyelections` package, a user-friendly R package, is the first R package developed to facilitate access to processable data for research processes related to election results in Turkey, catering not only to researchers working in social sciences, particularly in political science and public administration, but also to individuals and institutions in the political research sector, including political parties. The package provides the results of general, local, and presidential elections held in Turkey from the 1995 general elections up to the 2023 general elections, over a span of 18 years, as a processable vector type, namely `data.frame` and `tibble` objects, in the R programming language environment. These results are available by vote count and percentage, both nationwide and by province. Additionally, the package facilitates easy export of this data to various databases such as Excel, through commands available in the R programming language, like `write.csv`. Lastly, the package includes functions that automatically generate graphs such as bar charts and parliament diagrams, making it easier to reach conclusions from the data. The distribution of the elections is shown in the table below.

Table 1. The Distribution of Elections in `turkeyelections` Package

General Parliamentary Election	Local Election	Presidential Election
1995	2004	2014
1999	2009	2018
2002	2014	2023 First Round
2007	2019	2023 Second Round
2011		
June 2015		
November 2015		
2018		
2023		

The process of dataset compilation from sources like the Turkish Statistical Institute and the Supreme Election Council involved diverse techniques such as web scraping using the `rvest` package and extracting data from PDF files with the `pdftools` package in R [9-10]. Post-collection, data manipulation was carried out using the `tidyverse` package in R [11]. This phase included several critical steps to ensure data integrity and usability: correcting missing observations, amending errors introduced during the scraping process, revising and creating more descriptive titles, removing potentially contaminating elements like percentage signs, and converting variables mistakenly classified as text to numerical form. These measures were essential to maintain the cleanliness and accuracy of the data, adhering to strict academic standards.

Regarding the visualization aspect, the creation of the package's logo was accomplished using the DALL-E model, an AI developed by OpenAI, named after "Denoising Autoencoder for Learned Language Embeddings." It's a generative model capable of creating images from textual descriptions, understanding natural language to produce visuals that closely match the given descriptions [13]. You can see the logo below.



Figure 1. The `turkeyelections` package logo created by DALL-E

3. Implementation and Technical Details

As mentioned above, the `turkeyelections` package provides the results of general, local, and presidential elections held in Turkey between 1995 and 2023, in a format processable by the R programming language, under two different categories: nationwide and by province.

The package was published on CRAN on February 4, 2024. It requires a minimum of R version 4.0 to function. It has been developed with the assistance of other R packages, which are also listed in the `imports` section. To install the `turkeyelections` package into the R library, these packages must also be installed. In order, these packages are `ggplot2`, `ggpol`, `stringr`, `dplyr`, `colorRamp2`, and `stats`. Detailed technical information is available in the documentation created during the package's upload process to CRAN [12]. Besides, the GitHub page of the package represents some technical details related to the package. The package contains 38 functions. While four of these functions facilitate the use of the package and the production of results, the remaining 34 are data packages names that return the election results as a tibble object in the R programming environment.

This section will discuss and exemplify the use of the four main functions within the package, which are `data_list`, `show_parliament`, `show_province_and_party`, and `show_result_for_turkey`.

The `data_list()` function does not require any arguments and can be directly applied by writing `data_list()` in the R console. This function returns a `data.frame` object consisting of 2 columns and 34 rows. The column names, `election_names`, explain whether the results pertain to the provinces or the entire country in Turkish, while the `data_name` column shows the R function name that should be used to obtain the election results corresponding to the explanations. The application of this command is shown in the figure below.

```
> data_list()
  election_names                               data_name
1 2014 Cumhurbaşkanlığı Seçimi (İllere göre sonuçlar)   cb_2014_il
2 2014 Cumhurbaşkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)         cb_2014_turkiye
3 2018 Cumhurbaşkanlığı Seçimi (İllere göre sonuçlar)   cb_2018_il
4 2018 Cumhurbaşkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)         cb_2018_turkiye
5 2023 Cumhurbaşkanlığı Seçimi 2.Tur (İllere göre sonuçlar) cb_2023_ikinci_tur_il
6 2023 Cumhurbaşkanlığı Seçimi 2.Tur (Türkiye geneli)   cb_2023_ikinci_tur_turkiye
7 2023 Cumhurbaşkanlığı Seçimi 1.Tur (İllere göre sonuçlar) cb_2023_ilk_tur_il
8 2023 Cumhurbaşkanlığı Seçimi 1.Tur (Türkiye geneli)   cb_2023_ilk_tur_turkiye
9 1995 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_1995_il
10 1995 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_1995_turkiye
11 1999 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_1999_il
12 1999 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_1999_turkiye
13 2002 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_2002_il
14 2002 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_2002_turkiye
15 2007 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_2007_il
16 2007 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_2007_turkiye
17 2011 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_2011_il
18 2011 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_2011_turkiye
19 2018 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_2018_il
20 2018 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_2018_turkiye
21 2023 Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar)   genel_secim_2023_il
22 2023 Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)        genel_secim_2023_turkiye
23 2015 Haziran Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar) genel_secim_haziran_2015_il
24 2015 Haziran Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli) genel_secim_haziran_2015_turkiye
25 2015 Kasım Milletvekili Genel Seçimi (İllere göre sonuçlar) genel_secim_kasim_2015_il
26 2015 Kasım Milletvekili Genel Seçimi (Türkiye geneli)   genel_secim_kasim_2015_turkiye
27 2004 Belediye Başkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)       yerel_secim_2004_turkiye
28 2009 Belediye Başkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)       yerel_secim_2009_belediye_turkiye
29 2009 Büyükşehir Belediye Başkanlığı Seçimi (Türkiye geneli) yerel_secim_2009_buyuksehir_turkiye
30 2009 Belediye Başkanlığı Seçimi (İllere göre sonuçlar)   yerel_secim_2009_il
31 2014 Belediye Başkanlığı Seçimi (İllere göre sonuçlar)   yerel_secim_2014_il
32 2014 Belediye Başkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)       yerel_secim_2014_turkiye
33 2019 Belediye Başkanlığı Seçimi (İllere göre sonuçlar)   yerel_secim_2019_il
34 2019 Belediye Başkanlığı Seçimi (Türkiye geneli)       yerel_secim_2019_turkiye
```

Figure 2. The output of `data_list()` function on R console

The `show_parliament()` command is a function that incorporates the use of the `ggplot2` functions and `geom_parliament` function from `ggpol` packages [19] and operates exclusively on datasets containing results for general elections across Turkey. Developed as a single-argument command that only requires the name of the dataset, it informs the user if the provided dataset is incompatible with the command by stating that the dataset does not match the command's requirements. There is no need to input the dataset as a character object within this function; merely entering the name of the dataset suffices. Below is a typical application of this function and the graph that results from it:

```
> show_parliament(genel_secim_2023_turkiye)
```

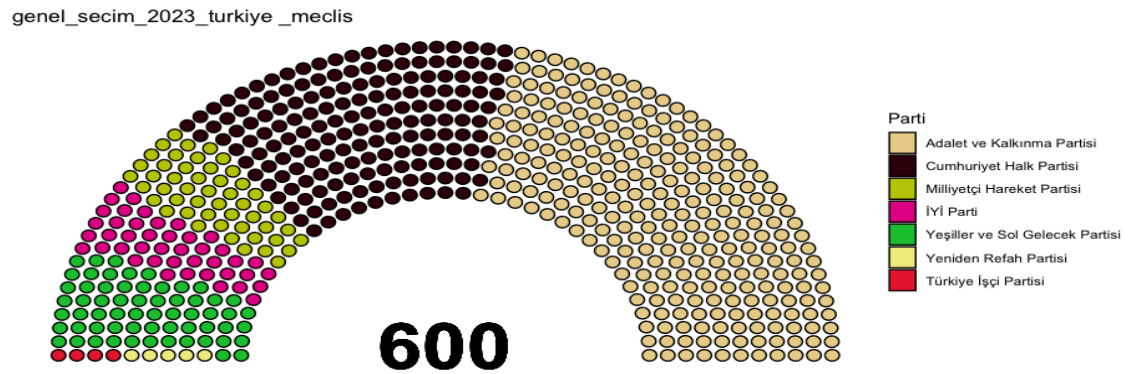


Figure 3. The output by `show_parliament()` function for the general election results in 2023 in Turkey

As seen above, the parliamentary representation of the parties from the May 2023 election results is visualized using a horseshoe (horseshoe) graph with the help of the `show_parliament()` function. The name of the dataset written inside the `show_parliament()` function is automatically displayed as the title. The total number of seats is also shown at the bottom of the plot. Since the resulting graph is a `ggplot2` object, further visual manipulations can be applied using `ggplot2` package commands such as `labs()`, `geom_text()`, allowing for desired modifications on the generated visualization [18]. For instance,

```
> p1<-turkeyelections::show_parliament(genel_secim_2023_turkiye)
> p1+ggplot2::labs(title="2023 Seçim Sonuçlarına Göre Meclis Dağılımı")
```

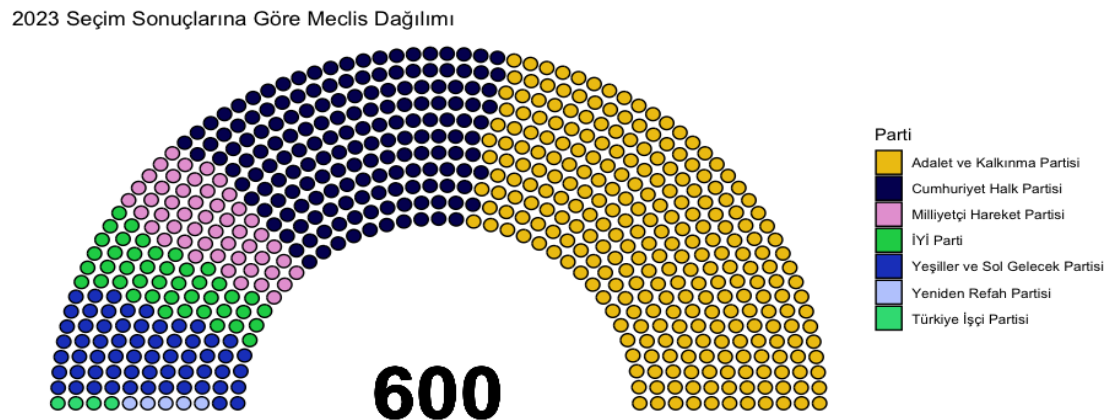


Figure 4. The output by `show_parliament()` function for the general election results in 2023 in Turkey after manipulation

As understood from these two figures, the function generates a random color for each party each time. To overcome this problem, the users can utilize the `scale_fill_manual()` function from `ggplot2` [18].

The `show_province_and_party()` command utilizes the election result data in the package to display the vote percentages a party has received in a province over the years. This command has three arguments: `province`, `party`, and `percentage`. The `province` argument specifies the name of the province

in Turkey to be examined, while the party argument specifies the name of the political party to be examined. The percentage argument is a boolean value that, when true, also displays the party's vote percentages as text on the generated graph. The default value of this argument is FALSE, but it can be changed to TRUE if desired. An example use of this command is demonstrated.

```
> show_province_and_party("Ankara","CHP",percentage = FALSE)
```

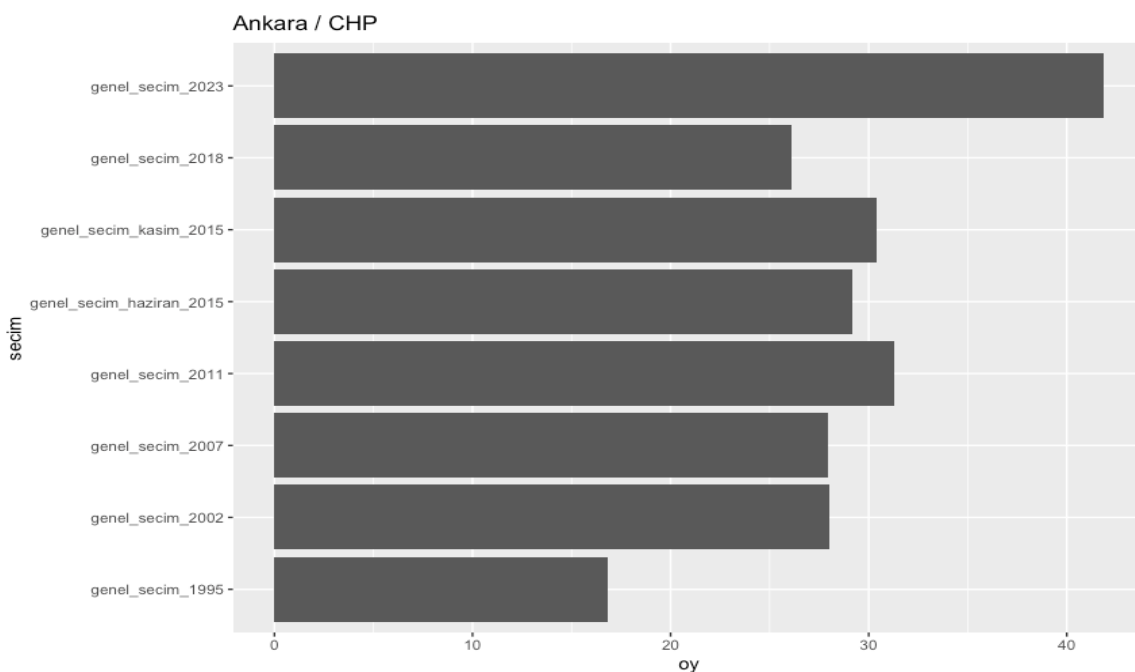


Figure 5. The output by `show_province_and_party()` function that shows the vote percentage of the Republican People Party in Ankara over time

```
> show_province_and_party("Ankara","CHP",percentage = TRUE)
```

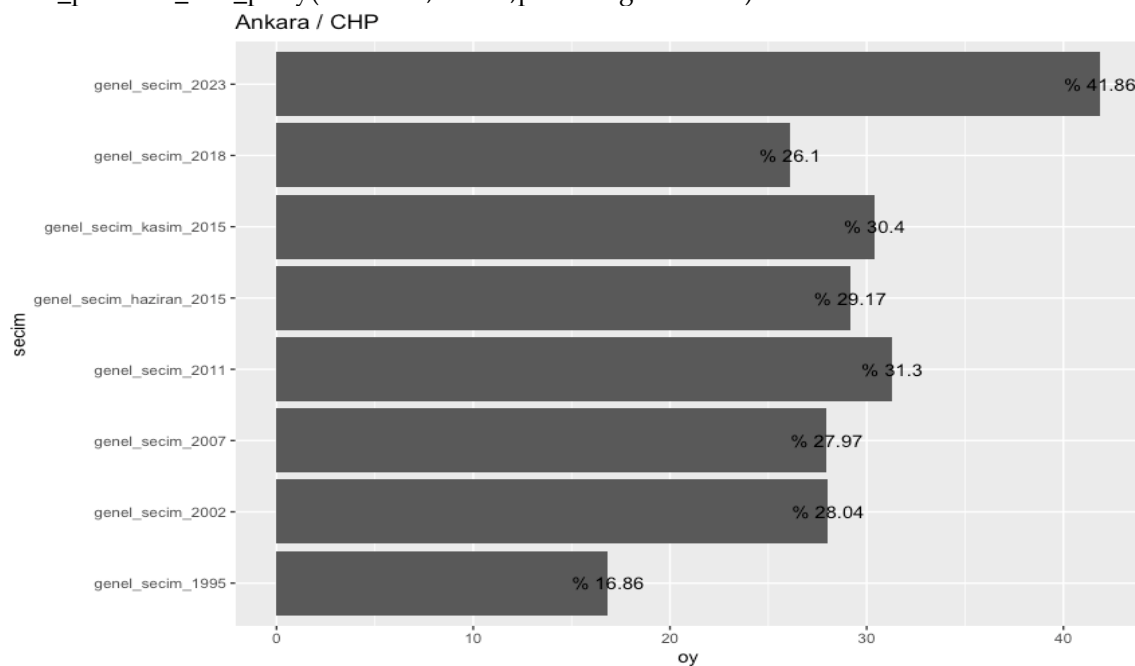


Figure 6. The output by `show_province_and_party()` function that shows the vote percentage of the Republican People Party in Ankara over time not only in bars but also in text

Just like the previous graph, since the `show_province_and_party` command returns a `ggplot2` object, this object can also be manipulated and its visual appeal enhanced using functions within the `ggplot2` package. For example,

```
> p1<-show_province_and_party("Ankara","CHP")+geom_col(fill="darkred")+labs(title = "CHP'nin
Ankara'daki Seçim Sonuçları")
> p1
```

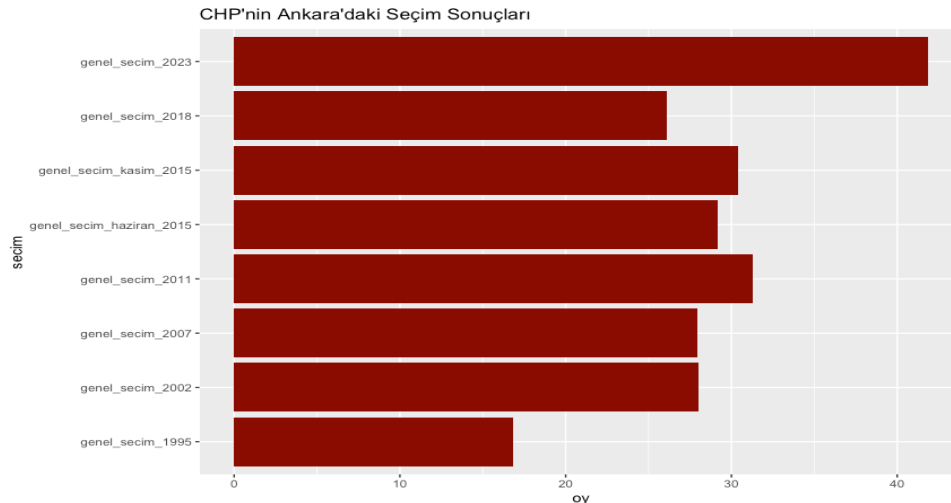


Figure 7. The output by `show_province_and_party()` function that shows the vote percentage of the Republican People Party in Ankara over time after `ggplot2` manipulation

Finally, the `show_result_for_turkey()` function displays the results of elections across Turkey. This function operates based on two arguments: the dataset and percentage. The dataset argument, like in the previous two functions, represents the name of the dataset to be examined, while the percentage argument, similar to the `show_province_and_party()` command, serves to display the vote percentages received by parties as text on the generated visual. The default value of this argument is `FALSE`, but it can be activated with the command `percentage=TRUE`. The `show_result_for_turkey()` function can be used for general, local, and presidential election results that have nationwide data. If the dataset argument used within this function does not cover nationwide results, the function will return a warning message indicating that the dataset is incorrect. An example usage is shown below.

```
> show_result_for_turkey(genel_secim_2023_turkiye)
```

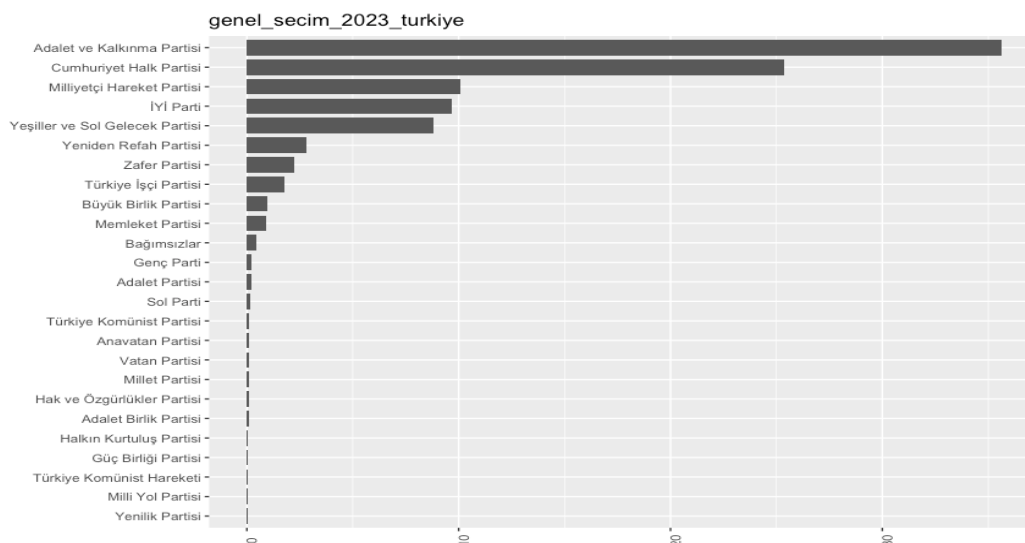


Figure 8. The output by `show_result_for_turkey()` function for the election results in 2023


```
> show_result_for_turkey(genel_secim_2023_turkiye,percentage = TRUE)
```

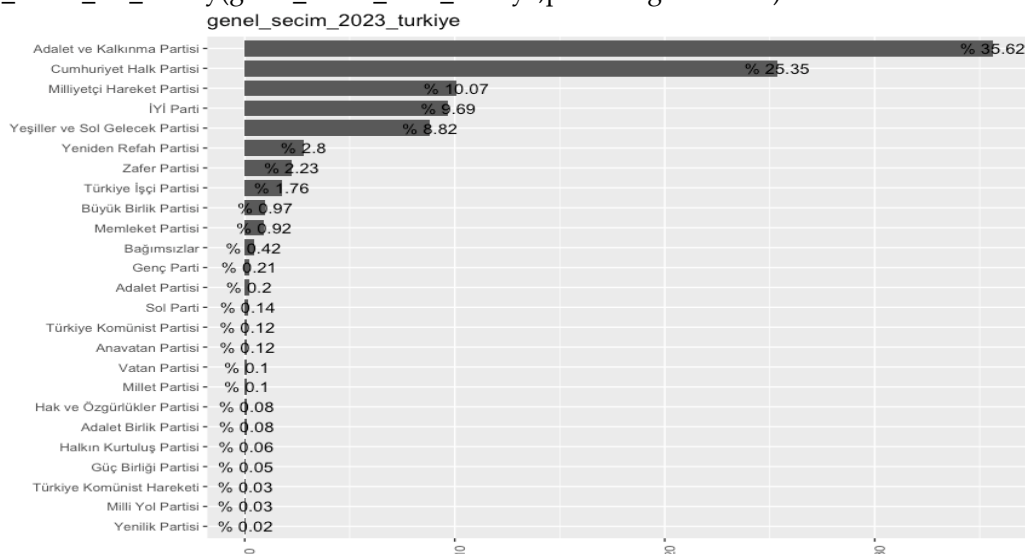


Figure 9. The output by `show_result_for_turkey()` function showing the election results in 2023 not only in bars but also in text

Like the other two graphical objects, the `ggplot2` object resulting from this command can also be manipulated with relevant commands, enhancing its visual quality.

4. Conclusion and Future Changes

The article introduces the `turkeyelections` package, the inaugural R package created in Turkey designed to provide access to a comprehensive collection of election results. This package encompasses the outcomes of 16 elections held between 1995 and 2023, which include local, general, and presidential elections, compiled into 34 datasets that cover both provincial and national results.

This package marks the first time such a significant dataset on Turkish election results has been made accessible for analysis within the R environment. Researchers can now visualize and conduct various statistical analyses thanks to the robust capabilities of the `ggplot2` framework and its extensions like the `ggplot` packages. These tools support the creation of complex visual representations of electoral data, facilitating a deeper understanding of the dynamics at play in Turkish elections.

Aimed at enhancing the accessibility and analysis of electoral data, the `turkeyelections` package provides researchers with powerful commands to streamline their workflows. Since its release on CRAN, the package has been downloaded around 500 times, reflecting its significance and utility within the academic and data analysis communities. This uptake underscores the growing interest and need for sophisticated tools to analyze election data in Turkey, promising to spur further research and insights into electoral trends and patterns

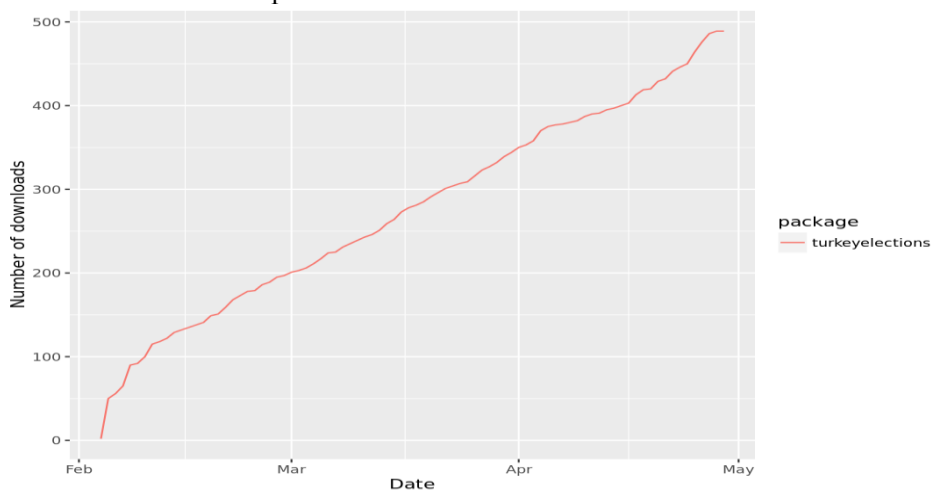


Figure 10. The cumulative number of downloads of `turkeyelections` package from CRAN [14]

While the `turkeyelections` package significantly simplifies the processing of Turkey's electoral data in the R environment, there are areas identified for future improvement. One of the primary concerns to be addressed in the subsequent development phases is the inconsistency in party names across datasets. Efforts will be made to ensure uniformity in party identifiers to enhance the reliability and analysis capabilities of the package.

Another major development will be to standardize the format of election results for elections conducted prior to 1995, beginning with the inclusion of results from the upcoming March 31, 2024, election. This step will help to create a more comprehensive and consistent dataset, facilitating longitudinal studies and trend analysis.

The scope of the local elections datasets also requires expansion. Currently, the data obtained from the Supreme Election Council includes vote details only for municipality councils, which limits the depth of analysis possible. A revision and expansion of these datasets to include additional layers of local election results will provide a richer resource for detailed local political analysis.

Furthermore, there are plans to enhance the package's functionality by introducing new features, such as the ability to generate customized maps of Turkey. These maps will highlight electoral results specific to parties and years, complementing the existing graphical outputs provided by the package. This new feature aims to visually represent electoral dynamics across different regions, offering a more intuitive understanding of electoral trends and their geographical distributions.

These improvements will not only refine the existing capabilities of the `turkeyelections` package but also expand its utility for researchers and analysts studying Turkish elections, thereby contributing to more nuanced insights into the political landscape of Turkey.

Funding: This research received no external funding.

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

References

- [1] H. S. Türk, "Seçim, Seçim Sistemleri ve Anayasal Tercih," *Anayasa Yargısı*, vol. 22, no. 1, pp. 75-113, 2006.
- [2] YSK Web Portal, "Tarihçe," 2024. [Online]. Available: <https://www.ysk.gov.tr/tarihce/1510>.
- [3] Ö. Kaya, E. Toroğlu, and F. Adigüzel, "2011 Genel Seçimlerinde Partilerin Aldığı Oy Oranlarının İlçeler Ölçeğinde Mekânsal Analizi," *Coğrafya Dergisi*, no. 31, Article 31, 2016.
- [4] A. T. Akarca and A. Tansel, "Economic Performance and Political Outcomes: An Analysis of the Turkish Parliamentary and Local Election Results Between 1950 and 2004," *Public Choice*, vol. 129, no. 1, pp. 77-105, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11127-005-9013-9>.
- [5] C. Erener, "Tüketici Güven Endeksi İle Seçim Sonuçları Arasındaki İlişki: Ak Parti Ve Chp Üzerine Ekonometrik Bir Analiz," 9 July 2021. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jeaa/issue/64041/939900>.
- [6] A. Doğan and E. Tokgöz, "Seçmen Tercihinde Ekonomik Gelişmelerin Rolü: Ekonomik Oy Verme Teorisi Bağlamında Türkiye Genel Seçimleri Üzerine Bir İnceleme," *e-gifder*, vol. 10, no. 2, pp. 1179-1205, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.19145/e-gifder.1112826>.
- [7] F. Gündem, "Türkiye'de Seçmen Davranışlarının Belirleyenleri: Mekânsal Ekonometrik Bir Yaklaşım," 2017.
- [8] H. H. Yiğit and A. Sezgin, "Türkiye'de Milletvekili Genel Seçimleri Üzerine Bir Mekânsal Bağımlılık Analizi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, no. 35, Article 35, 2019.
- [9] H. Wickham, "rvest: Easily Harvest (Scrape) Web Pages," R package version 1.0.4, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/tidyverse/rvest>, <https://rvest.tidyverse.org/>.
- [10] J. Ooms, "pdftools: Text Extraction, Rendering and Converting of PDF Documents," R package version 3.4.0. [Online]. Available: <https://docs.ropensci.org/pdftools>.
- [11] H. Wickham et al., "Welcome to the tidyverse," *Journal of Open Source Software*, vol. 4, no. 43, Article 1686, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>.
- [12] O. Ozdemir, "turkeyelections: The most comprehensive R package for Turkish Election Results," R package version 0.1.0, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/ozancanozdemir/turkeyelections>.
- [13] M. Fezari, A. Al Dahoud and A. Al-Dahoud, "Augmanting Reality : The Power of Generative AI", 2023. Available: https://www.researchgate.net/publication/370821758_Augmanting_Reality_The_Power_of_Generative_AI
- [14] ipub. 2017. "R Pkg Download Stats - Ipub." Ipub. Retrieved (<https://ipub.com/dev-corner/apps/r-package-downloads/>).
- [15] S. T. Gülhan, "The Election Day that Lasted 84 Days: Mapping the Electoral Geography of the 2019 Istanbul Metropolitan Mayoral Race", 02-Apr-2022. [Online]. Available: osf.io/preprints/socarxiv/ufvtz.
- [16] Wal, Willem M. van der. "Elections: USA Presidential Elections Data." R-Packages, 11 Dec. 2023, cran.r-project.org/web/packages/elections/index.html. Accessed 1 May 2024.

-
- [17] Silva, Denisson, et al. "ElectionsBR: R Functions to Download and Clean Brazilian Electoral Data." [www.academia.edu, www.academia.edu/30307653/electionsBR_R_Functions_to_Download_and_Clean_Brazilian_Electoral_Data](http://www.academia.edu/30307653/electionsBR_R_Functions_to_Download_and_Clean_Brazilian_Electoral_Data). Accessed 1 May 2024.
- [18] Wickham, Hadley, et al. "Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics." R-Packages, 3 Apr. 2023, cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/.
- [19] Tiedemann, Frederik. "Ggppl: Visualizing Social Science Data with "Ggplot2."" R-Packages, 8 Nov. 2020, cran.r-project.org/web/packages/ggppl/index.html. Accessed 1 May 2024.

Research Article

Received: date: 27.04.2024
Accepted: date: 02.06.2024
Published: date: 30.06.2024

Collaborative Truck/Drone Routing Problem: An Application to Disaster Logistics

Alparslan Güzey^{1*}, Mehmet Hakan Satman²

¹Department of Econometrics, Istanbul University, Istanbul, Türkiye; a.guzey@iku.edu.tr

²Department of Econometrics, Istanbul University, Istanbul, Türkiye; mhsatman@istanbul.edu.tr

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9043-304X> 1 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9402-1982> 2

*Correspondence: a.guzey@iku.edu.tr

Abstract: This study focuses on collaborative UAV/UGV routing problem in emergency logistics aiming to optimize the coordinated delivery efforts of both vehicles during disaster situations. By using a mixed integer model the study identifies the best delivery points and assigns specific drones to transport medical supplies to designated emergency assembly points. The research methodically assesses how UAV speed, UGV stops and cluster numbers affect delivery time. The results show that increasing UAV speeds and reducing stops and clusters generally lead to deliveries but achieving the time requires a careful balance due to their complex interactions. The study suggests that strategic coordination between UAVs and UGVs can significantly improve the efficiency of emergency logistics systems potentially reducing response times in disaster relief and medical supply deliveries. In conclusion the model highlights the potential for enhancements, in emergency response capabilities that could help save lives and lessen disaster impacts. Future studies should consider adapting the model for conditions and unpredictable scenarios to ensure resilience against demands.

Keywords: Disaster Logistic, Autonomous Vehicles, Traveling Salesman Problem, Routing Problem

Introduction

Natural disasters are increasing day by day around the world. Climate change is one of the primary issues contributing to the increase in these disasters. As a result, human life and development are negatively affected. Understanding the nature, stages, and components of these disasters is crucial in effectively dealing with them. Natural disasters often cause significant losses for people. Delivering aid materials to the affected regions is an essential part of disaster relief efforts. However, the post-disaster environment is challenging, and traditional ground-based material delivery is severely affected. In densely populated cities such as Istanbul, where ground transportation is disrupted, alternative disaster logistics plans are necessary. The final stage of delivering aid materials heavily relies on human transportation, which is expensive, risky, and reduces the efficiency of modern disaster relief missions. In Worldwide, there have been numerous natural disasters that resulted in major loss of life and huge financial harm. For instance, the Wenchuan earthquake in China in 2008 caused over 69,000 fatalities [1]. Similarly, in Türkiye, two earthquakes in 1999 led to more than 20,000 deaths [2] and an economic loss of approximately 9 to 13 billion dollars [3]. The two very large earthquakes of February 2023 in southern side of Türkiye caused an estimated \$34.2 billion in direct physical damages, the equivalent of 4% of the country's 2021 GDP, according to a World Bank rapid damage assessment report [4]. These disasters have had a significant impact on governments, civil society organizations, and communities. As a result, the need to develop an effective disaster prevention and relief system has been acknowledged world- wide. Countries, including Türkiye, have recognized the importance of having a well- functioning disaster coordination center based on experiences gained from past disasters,

particularly in the areas of relief supply distribution and maintaining order after a disaster. Emergency logistics is a specific type of logistics operation that focuses on the urgent provision of materials, personnel, and funding in response to serious disasters [5]. Like regular logistics operations, emergency logistics is also concerned with achieving efficiency. However, emergency logistics places greater emphasis on achieving logistics benefits through logistics efficiency. In serious disaster situations, it is essential to urgently deliver relief materials to the affected area. To ensure that this transportation can be carried out regularly, optimizing the route of emergency delivery vehicles is crucial. Through the disaster coordination center, the route scheduling of delivery vehicles becomes possible, allowing for the distribution of aid materials to assembly areas in the disaster area as quickly as possible, thereby significantly reducing pressure on the rescue operation.

In this study, we tested different scenarios for drone speeds and the number of emergency assembly points. Calculations were performed using the Julia programming language and for the visualization, Python packages were used. The model clearly shows us that there is an optimal balance between assembly point number, UAV speed and number of clusters. The results show that minimal total time depends on not only UAV speed, but also cluster and assembly point numbers. This suggests that increasing the UAV speed beyond a certain point may result in diminishing returns in terms of improving the system's performance. Overall, the results show that the UAV speed parameter is a critical factor in the system's performance and should be carefully considered when optimizing the system. However, we must also consider other parameters to achieve overall system optimization. This study shows that significant time savings can be achieved by adjusting the speed of UAVs and the number of delivery points. Optimizing these factors can lead to shorter truck travel distances, reduced UAV energy consumption, and less UAV circling time.

2. Literature Review

2.1. Humanitarian Relief Logistics

Recently, there has been significant research interest in humanitarian relief logistics and emergency logistics planning. Research field can be divided into two categories. The first category concentrates on readiness and management activities that occur before a disaster or emergency event. These activities involve aspects such as determining facility locations, pre-positioning stocks, and developing evacuation plans. The second category focuses on post-disaster or emergency event operations, including activities related to resource distribution and transportation of medical and other necessary equipment [6]. Understanding these categories helps in identifying the crucial stages in disaster logistics where UAV and UGV integration can enhance efficiency and response time.

Meeting the needs of people after a disaster is a crucial mission for emergency logistics. However, due to the sudden and unforeseeable nature of disasters, it is very difficult to meet the needs of all victims early on. In a real-time situation, planning for disaster transportation, route planning, and material transportation from storage are frequently encountered problems.

In disaster situation, planning for logistics and human transportation via air transport greatly improves the quality and efficiency of disaster relief efforts. However, poor post-disaster conditions such as seasonal conditions and weather pose serious problems for flight safety, which limits relief material transportation operations. As a result, operational tasks with transport aircraft and helicopters responsible for logistics become more difficult. With groundbreaking developments in unmanned aerial vehicles (UAV) technology today, flight costs have significantly decreased. The use of UAV's for post-disaster material delivery is considered a significant development in emergency logistics because UAV's can easily perform various tasks in disaster areas due to their different load-carrying capacities. UAV's that can operate in a coordinated manner with unmanned ground vehicles (UGV's) and can be coordinated by a disaster coordination center can significantly increase delivery efficiency.

2.2. Increased Natural Disasters and Challenges

As the threat of weather-related catastrophes, pandemics, climate change, extreme weather conditions, depletion of natural resources, and the expansion of urban areas in disaster-prone regions continues to

grow, emergency and humanitarian efforts have significantly risen. Over the past two decades, more than 7,000 natural disasters have been documented globally. The number of global disaster events between 2000 and 2022 is shown in Fig. 1 [7].

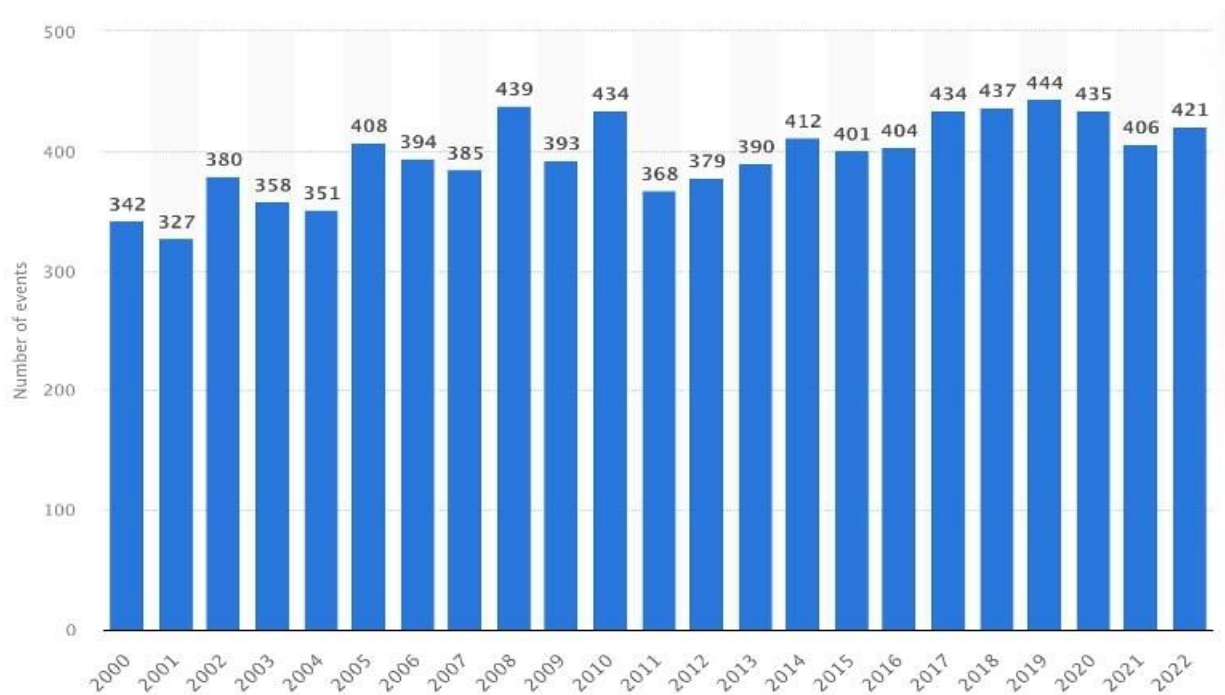


Figure 1. Global number of natural disasters events 2000–2022.

Natural disasters of significant magnitude, such as 2005 Hurricane Katrina in the USA [8], 2012 Japanese tsunami [9], 2015 Nepal earthquake [10], and 2023 Maraş earthquake in Türkiye [11], often result in emergency logistics challenges. These challenges can limit the effective management of emergency resources in affected areas. For instance, 2023 Maraş earthquake in Türkiye caused severe damage to infrastructure, which led to fatal delays in search and rescue operations and relief supplies distributions. In some cases, inefficient emergency logistics management in the affected area results in fatalities [4]. Highlighting the increasing frequency and impact of natural disasters underscores the necessity for innovative logistics solutions, such as the integration of UAVs and UGVs to improve disaster response efficiency.

The COVID-19 pandemic has also highlighted the critical role of emergency logistics and supply chain management in responding to disasters. As a result, there is growing interest among academic researchers and humanitarian logistics practitioners in emergency logistics management to ensure adequate provision of emergency and humanitarian assistance during and after a disaster [12].

Effective emergency logistics management is critical to the survival of affected individuals and the effective management of emergency and humanitarian aid. Logistics plays a crucial role in providing relief supplies and transporting beneficiaries to relief centers, such as hospitals. A recent study estimates that 73% of spending during humanitarian operations goes into logistics [13]. Therefore, logistics-centric disaster risk reduction strategies are vital to vulnerable communities. Emergency logistics differs from business logistics in terms of the end goal, dynamics, and variability of the problem. Emergency logistics practitioners must deal with highly dynamic and stochastic demand in both volumes and location. Unlike business logistics, where downstream members focus on cost and profit, in emergency logistics, they focus on survival and immediate medical attention. The lead times in emergency logistics are very short and require an efficient logistics and transportation network to support the most crucial at stake, i.e., human lives.

2.3. Role of UAVs in Disaster Management

The most important thing to pay attention to in disaster situations is to protect the lives of the disaster victims. In this context, the first 72 hours after the disaster are critically important, which means that Search and Rescue (SAR)-logistics operations must be carried out quickly and efficiently. According to Erdelj [14], UAV's perform their duties in three stages in disaster management as listed below:

- Pre-disaster readiness: operations including surveys conducted before the disaster, threshold sensing, and Early Warning Systems (EWS) [15],
- Disaster assessment stage: real-time situational awareness during the disaster and completion of damage studies for logistical planning [16],
- Post-disaster operations: including search and rescue missions, emergency material deliveries, and similar operations [17].

After the first two stages mentioned above, according to the information obtained from the disaster coordination centre, urgent delivery of materials to emergency assembly points is of critical importance in disaster response stage. Since the delivery will be done against time, it needs to be organized as quickly as possible. There are few studies on logistic planning specifically related to medical supplies using autonomous unmanned ground and air vehicles. The ability of UAVs to perform a wide range of tasks in disaster scenarios makes them ideal for integration into disaster logistics systems, enhancing overall response capabilities.

2.4. Traveling Salesman Problem (TSP) and Vehicle Routing Problem (VRP)

The Traveling Salesman Problem (TSP) and Vehicle Routing Problem (VRP) to address last-mile delivery problems are widely studied in the literature [18], [19], [20], [21], with various variants being considered to account for different operational aspects. The increase in online shopping has made fast delivery an important issue, and researchers are working to improve last-mile logistics and reduce negative externalities.

While trucks have a high capacity and long working range, they are costly and generate negative externalities such as noise and CO₂ emissions [22]. Drones, on the other hand, have several advantages, such as high travel speed and low operational costs, but they have limited payload capacity and a short operating range due to limited energy. Therefore, using drones in tandem with trucks could be an efficient way to serve customers. This logistic system can also be used for planned deliveries by autonomous ground and air vehicles in case of possible disasters in urban areas with density populations [23].

According to Raj and Murray [24], there has been increased interest towards last-mile delivery which includes the use of combinations of unmanned aerial vehicles (UAV) and unmanned ground vehicles (UGV), for instance, the flying sidekick traveling salesman problem (FSTSP) and the traveling salesman problem with drone (TSP-D). There are several versions of these problems, some with multiple trucks or drones and different objectives such as reducing time or cost.

One common assumption in the literature [25], [26], [27], [28], [29], [30] about the hybrid UAV/UGV delivery model is that UAVs have constant endurance or flight range, independent of their speed or payload. Such an assumption leads to the conclusion that increasing or decreasing UAV speed reduces the total delivery time or has no effect. In this study, we showed that difference UAV speed difference can affect cluster number and total flight time. These studies provide a foundation for understanding how to optimize the coordination between UAVs and UGVs, a core component of this research.

2.5. Real-World Applications and Case Studies

Ferrandez [31] conducted a study to evaluate the efficacy of incorporating unmanned aerial vehicles in delivery networks. The study compared the efficiency of a truck-drone network with a standalone delivery system in terms of overall delivery time and energy consumption. The findings indicated that

the in- tandem delivery system was more effective than the standalone system, and using multiple drones per truck was even more optimal in terms of energy and time savings.

Major companies like Amazon Prime Air, UPS and DHL are using drone delivery services, and they have received permission from the Federal Aviation Administration for commercial drone deliveries [32]. Now, Matternet has the Swiss aviation authority's approval to conduct complete logistics operations in different cities using their drones. These drones have the capability of transporting loads of up to 2 kilograms and 4 liters over a distance of 20 kilometers [33].

A study was conducted by Safaei et al. [5] to create a relief distribution system, and the way resources flow is illustrated in Fig 2. This system consists of four layers: suppliers, a central warehouse, a Red Crescent (RC) center, transfer depots, and affected areas. The suppliers are responsible for providing the relief items that are needed, making them a crucial part of the relief chain. The RC center has an initial inventory in their warehouse, and the transfer depots act as a link between the supply and distribution points in the network. They receive commodities and plan their distribution to the disaster victims. The real-world use cases confirm the advantages of combining aerial vehicles (UAVs) and unmanned ground vehicles (UGVs) supporting the viability of our suggested logistics approach.

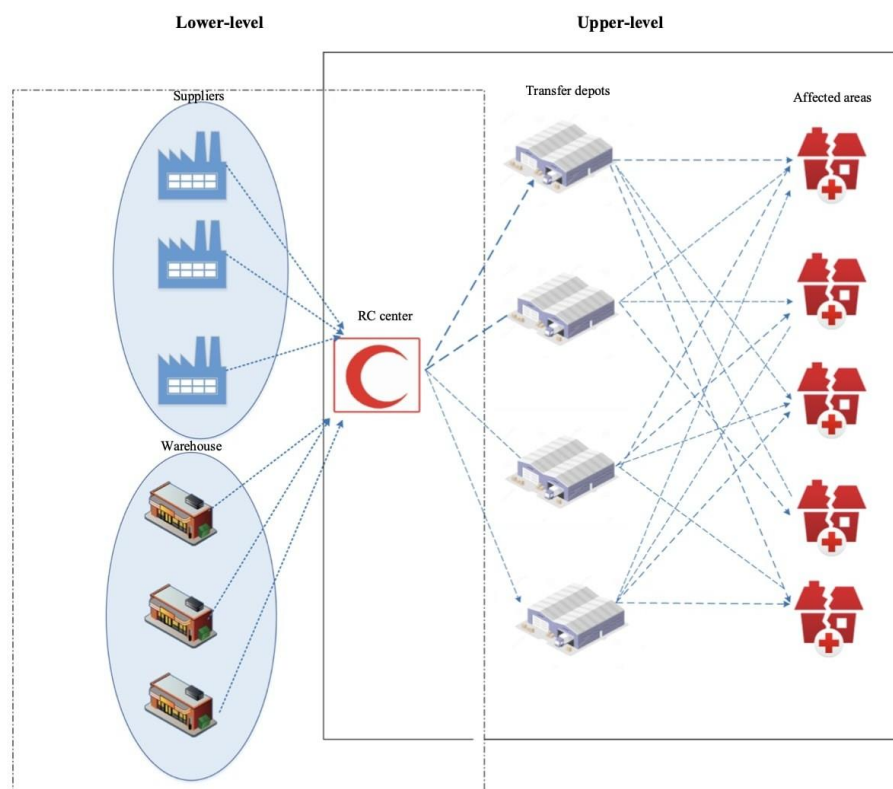


Figure 2. Structure of disaster logistic operation.

In this study, aid requests received by the disaster coordination center were collected, and the delivery of medical kits to emergency assembly points was attempted as quickly as possible using UAV/UGV from a transfer depot. In the next section, the details of the routing problem are explained.

Materials and Methods

In this section we discuss a problem related to routing for UAV/UGV operations, in emergency logistics. This model involves ground vehicles (UGVs) and unmanned aerial vehicles (UAVs) working together to streamline delivery tasks during situations. Specifically, it focuses on enhancing the efficiency of delivering kits to emergency gathering points by considering factors like UAV flight range, delivery order and operational capabilities of both UAVs and UGVs. The subsequent conversation delves into

the assumptions that guide our model, which are based on post disaster operational scenarios. It also delves into how these assumptions shape the problem-solving approach we take.

Assumptions:

Our model is built on assumptions that reflect real world challenges in post disaster logistics;

- Central Depot: There is a designated depot where all medical supplies and vehicles are located, acting as the starting and ending point for delivery routes.
- UGV Capacity: Each UGV has the capability to carry up to four UAVs, aligning with the capacity of sized ground vehicles.
- UAV Capacity: Each UAV can transport one kit due to current limitations in drone payload capacities.
- Visits: Each assembly point is attended by either a UAV or a UGV, preventing redundancy in service provision and optimizing resource utilization.
- Predefined Assembly Points: Emergency assembly points are already set, making it easier to plan the routes for both drones and ground vehicles.
- UAV Return Process: UAVs can come back to the ground vehicle at stops for recharging or reloading, making operations more flexible.
- Multiple Deployments at Once: To minimize total flight time, multiple UAVs can be dispatched from a single UGV stop simultaneously.
- Repeated Takeoffs: UAVs may be launched multiple times from the same point if necessary, maximizing their usage and efficiency.
- Operational Constraints: The range of flights and battery life limit how long UAVs can operate based on their battery capacity, reflecting world limits.
- Vehicle Speeds Consideration: The speeds of both ground vehicles (S_{UGV}) and drones (S_{UAV}) affect delivery times, recognizing their impact on efficiency.
- Load Capacities Acknowledged: The plan takes into account the carrying capacities of both ground vehicles (C_{UGV}) and drones (C_{UAV}) for distributing loads effectively.

These assumptions play a role in shaping the framework of our hybrid UAV/UGV routing challenge, where the primary objective is to plan routes that minimize overall delivery time while considering vehicle capacities, technological constraints, and the urgent nature of emergency logistics.

3.1. Defining the Problem

Based on these assumptions the hybrid UAV/UGV routing challenge aims to optimize the coordination between UAVs and UGVs for delivering emergency kits. The main depot serves as a hub for all delivery operations with UAVs and UGVs working to follow pre-determined routes efficiently reaching emergency assembly points. The aim is to reduce delivery time by addressing the operational limitations of UAVs (such as battery life and payload capacity) and UGVs (such as vehicle capacity and speed). The model utilizes integer linear programming (MILP) to determine the set of routes taking into account how UAV flight capabilities interact with UGV routing while meeting the pressing demand for medical supplies in disaster affected areas.

The following sections provide a representation of this challenge outlining indices, parameters and decision variables that capture the intricacies of emergency logistics, in urban settings.

Table 1. Indices, Parameters, and Decision Variables

Indices	Description
P	Emergency assembly point indices, where $P = \{1, 2, \dots, p_{\max}\}$ and p_{\max} is the total number of assembly points in the urban area.
Q	Stop indices, where $Q = \{1, 2, \dots, q_{\max}\}$ and q_{\max} is the total number of stops in the urban area.
R	UAV indices, where $R = \{1, 2, \dots, r_{\max}\}$ and r_{\max} is the total number of UAVs on the UGV.
W	UAV battery swapping indices, where $W = \{1, 2, \dots, w_{\max}\}$ and w_{\max} is the total number of battery swaps allowed for each UAV.

Parameters	Description
$N_{(p,q)}$	A matrix that indicates whether an emergency assembly point p should be delivered from stop q , with values "1" for yes and "0" for no.
$D_{(p,q)}$	The distance from each emergency assembly point p to the stops q in minutes.
S_{UGV}	Speed of the UGV in meters per minute.
S_{UAV}	Speed of the UAV in meters per minute.
C_{UGV}	Maximum carrying capacity of medical kits for the UGV.
C_{UAV}	Maximum carrying capacity of medical kits for the UAV.
RR_{UAV}	Recharging rate of the UAV battery in minutes per percentage of charge.

Decision Variables	Description
$M_{(p,q,r)}$	A binary decision variable indicating whether UAV r delivers a medical kit to assembly point p from stop q .
$B_{(q,r,w)}$	A binary decision variable indicating whether UAV r swaps its battery at stop q for the w -th time.
$SD_{(q,r)}$	A real-valued variable representing the total time in minutes that UAV r spends delivering and charging at stop q .
$SDM_{(q)}$	A real-valued variable representing the maximum time spent at stop q by any UAV, derived from the UAV with the longest delivery and charging time.
$SE_{(p,q,r)}$	A real-valued variable representing the charging time in minutes for UAV r after delivering to emergency assembly point p from stop q .

3.2. Problem Formulation

In this section, we explained the proposed objective function and constraints in the model related to the problem.

Constraints:

- Equation (1) ensures that each medical kit will be delivered by any UAV at any stop.

$$\sum_{p=1}^{P_{\max}} \sum_{r=1}^{R_{\max}} M_{(p,q,r)} = 1, \quad \forall p \in P \quad (1)$$

- Equation (2) ensures that UAVs only deliver to emergency assembly points within their range at each stop. Since the UAV carries a medical kit on the way to delivery, it consumes 150% (60/40) of its charging time. Therefore, the distance from the emergency collection point to the stop in terms of time must be less than 2.5 times the total flight time of 60 minutes. Since the UAV returns empty on the delivery return, it consumes as much charge as it spends time.

$$2.5N_{(p,q)}D_{(p,q)}M_{(p,q,r)} \leq 60, \forall p \in P, q \in Q, r \in R \quad (2)$$

- Equation (3) is used to obtain the charging time in minutes for UAV r to deliver to emergency assembly point p from stop q within the model, as obtained from equation (2).

$$2.5N_{(p,q)}D_{(p,q)}M_{(p,q,r)} = SE_{(p,q,r)}, \quad \forall p \in P, q \in Q, r \in R \quad (3)$$

- Equation (4) finds the total time in minutes that UAV r spends on delivering and charging from stop q .

$$\sum_{p=1}^{p_{\max}} (2N_{(p,q)} D_{(p,q)} M_{(p,q,r)} + SE_{(p,q,r)}) = SD_{(q,r)}, \quad \forall q \in Q, r \in R \quad (4)$$

- Equation (5) is used to obtain the total time in minutes that UAVs spend on delivering and charging from stop q , where the UAV with the longest charging time is considered.

$$SD_{(q,r)} \leq SDM_{(q)}, \quad \forall q \in Q, r \in R \quad (5)$$

- Equation (6) ensures that each UAV carries no more medical kits than its capacity.

$$\sum_{p=1}^{p_{\max}} M_{(p,q,r)} \leq C_{UAV}, \quad \forall r \in R, q \in Q \quad (6)$$

- Equation (7) ensures that the UGV carries no more medical kits than its capacity.

$$\sum_{p=1}^{p_{\max}} \sum_{r=1}^{r_{\max}} M_{(p,q,r)} \leq C_{UGV}, \quad \forall q \in Q \quad (7)$$

- Equation (8) ensures that the number of battery swaps for each UAV does not exceed the maximum allowed number of swaps w_{\max} .

$$\sum_{q=1}^{q_{\max}} \sum_{w=1}^{w_{\max}} B_{(q,r,w)} \leq w_{\max}, \quad \forall r \in R \quad (8)$$

- Equation (9) ensures that the flying range of each UAV does not exceed its maximum flying range after a battery swap.

$$(2,5 N_{(p,q)} D_{(p,q)} M_{(p,q,r)}) + (2,5 N_{(p,q+1)} D_{(p,q+1)} M_{(p,q+1,r)}) \leq 60 (1 + B_{(q,r,1)}), \quad \forall p \in P, q \in Q, r \in R, q < q_{\max} \quad (9)$$

- Equation (10) ensures that the total flying time of each UAV, including the time spent on deliveries and battery swaps, does not exceed the maximum allowed flying time t_{\max} .

$$\sum_{q=1}^{q_{\max}} \left(SDM_{(q)} \cdot M_{(p,q,r)} + \sum_{w=1}^{w_{\max}} B_{(q,r,w)} \cdot RR_{UAV} \right) \leq t_{\max}, \quad \forall r \in R, p \in P \quad (10)$$

- Equation (11) ensures that the UAVs can only fly from stops visited by the UGV. V_{UGV} is a binary variable that takes the value "1" if the UGV visits stop q and "0" otherwise. This ensures that UAVs can only fly from stops visited by the UGV.

$$M_{(p,q,r)} \leq V_{UGV}(q), \quad \forall p \in P, q \in Q, r \in R \quad (11)$$

- Objective Function:

The UGV and UAV collaborative logistics path optimization model aims to minimize the total distribution cost. The objective function is shown in Equation (12), which minimizes the total time spent by the UAV with the longest delivery to emergency assembly point and charging time at each stop in minutes.

$$Z_{\min} = \sum_{q=1}^{q_{\max}} SDM_{(q)} \quad (12)$$

3.3. Solution Methodology

In this section, we explain the approach we used in our model outlining how we applied clustering, routing and optimization algorithms in sequence to create a hybrid UAV/UGV routing plan, for emergency logistics.

Our research hypothesizes that by combining drones (UAVs) and ground vehicles (UGVs) in emergency logistics and applying K Means Clustering, TSP and MILP techniques we can enhance delivery speed and efficiency during disasters. Specifically, we propose that using the K Means Clustering method can help organize emergency assembly points into groups reducing travel distances for drones. The TSP algorithm aims to optimize routes for ground vehicles ensuring they take the paths to reach all cluster centers efficiently. Additionally, MILP is expected to assign delivery tasks to drones in a manner that maximizes their capabilities and flying range while minimizing delivery time. We believe this hybrid strategy will surpass single vehicle approaches – such as using drones or only ground vehicles – in terms of speed and resource management. This is because the combined system leverages on the strengths of both vehicle types; the agility of drones and the capacity/range of ground vehicles. Ultimately this integrated approach offers a more effective solution for emergency logistics, in disaster scenarios.

3.3.1. Clustering

In the first step of our solution strategy, we divide the area into clusters to optimize how UAVs are deployed from UGVs. We utilize the K Means Clustering algorithm because of its effectiveness, in grouping data points (such as emergency assembly points) into a number of clusters denoted as k , based on their proximity. This stage is crucial for simplifying operations by segmenting delivery points which helps minimize UAV travel distances and ensures coverage within their limits.

Reasoning Behind the Algorithm Choice; We opt for K Means due to its straightforwardness and efficiency in creating groupings that support the routing phase by assigning cluster centers as stops for UGVs we can strategically position them to launch UAVs thus improving delivery efficiency.

Operational Process; Following the methodology proposed by Ferrandez et al. [31], the K Means algorithm assigns emergency assembly points to the cluster center and updates these centers until convergence is achieved. This iterative process plays a role, in pinpointing optimal UAV launch sites that fall within flight ranges.

3.3.2. Routing

After we define the cluster centers, we figure out how to guide the UGVs to these centers by using the Traveling Salesman Problem (TSP). This known optimization challenge aims to find the route that visits each location once and then returns to the starting point, which is perfect, for planning out UGV paths between cluster centers.

Reason for Choice; We opt for TSP because it directly helps optimize routes ensuring that UGVs take the path through planned stops. This way we can minimize travel times. Contribute to reducing delivery times effectively.

3.3.3. Optimization

The last stage of our approach involves utilizing Mixed Integer Linear Programming (MILP) to outline the delivery tasks assigned to UAVs from each UGV location. MILP enables the representation of decision variables, like which UAV's responsible for delivering to each assembly point within a set of linear constraints (e.g., UAV capacity, flight range).

Implementation Detail: This phase determines the distribution of delivery assignments to UAVs stationed on a UGV considering factors such as battery life and payload capacity. The goal is to ensure that every emergency assembly point receives service in the time while considering the operational limitations of the UAVs.

Integration Insight: MILP complements the clustering and routing stages by offering a optimized allocation of delivery tasks effectively connecting strategic planning with tactical execution, in the hybrid UAV/UGV routing framework.

3.3.4. Combined Methodology

Our methodology combines the advantages of K Means clustering, TSP routing and MILP optimization to tackle the logistics involved in emergency deliveries. This integrated strategy not simplifies

procedures but also guarantees that deliveries are carried out within the boundaries and capabilities of the hybrid UAV/UGV system ultimately aiming to reduce total delivery time and enhance responsiveness during emergencies.

3.3.5. Flowchart

To explain how our hybrid UAV/UGV routing solution, Fig. 3. shows the process where a UGV and four UAVs start from a depot to deliver goods to emergency assembly points from six UGV stops landing on the UGV at the stop.

The flowchart in Fig. 3 shows the steps involved in our approach for emergency logistics using UAV/UGV routing. The process begins with generating coordinates for assembly points. Then applying the K Means Clustering Algorithm to divide the area into clusters for optimizing UAV deployments from UGVs. This clustering method helps simplify operations and reduce travel distances for UAVs.

Afterward we establish routes for UGVs using the Traveling Salesman Problem (TSP) to find the paths between cluster centers. This ensures that UGVs follow routes, saving time on travel. Following route planning we use Mixed Integer Linear Programming (MILP) to optimize delivery assignments for UAVs by assigning tasks based on constraints, like UAV capacity and flight range.

Finally, the methodology concludes by examining the outcomes and performance measurements assessing how quickly deliveries are made and the overall efficiency to guarantee that the suggested logistics solution works well. This thorough method is designed to cut down on delivery time and improve responsiveness, in situations.

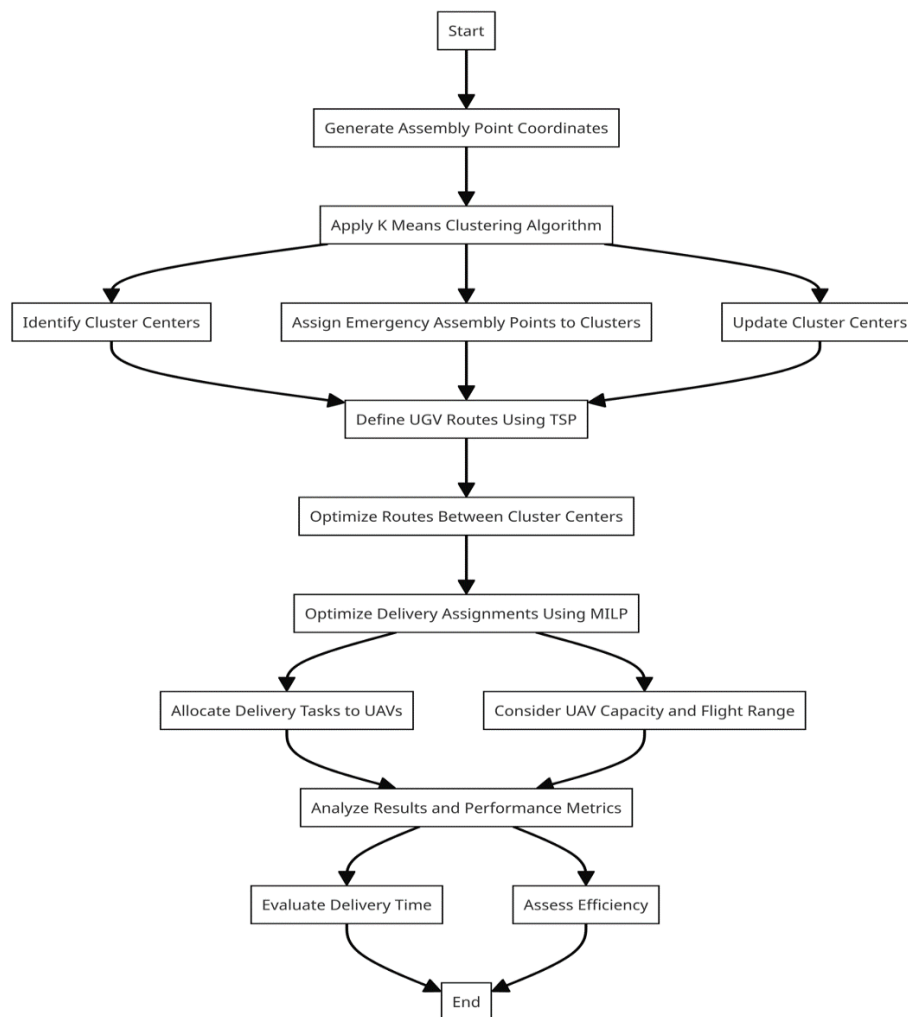


Figure 3. Flowchart of hybrid UAV/UGV routing solution.

In order to describe our hybrid UAV/UGV routing solution approach, in Fig. 4, UGV and four UAVs that left from a central depot deliver to emergency assembly points from six UGV stops, and land on the UGV at the next stop.

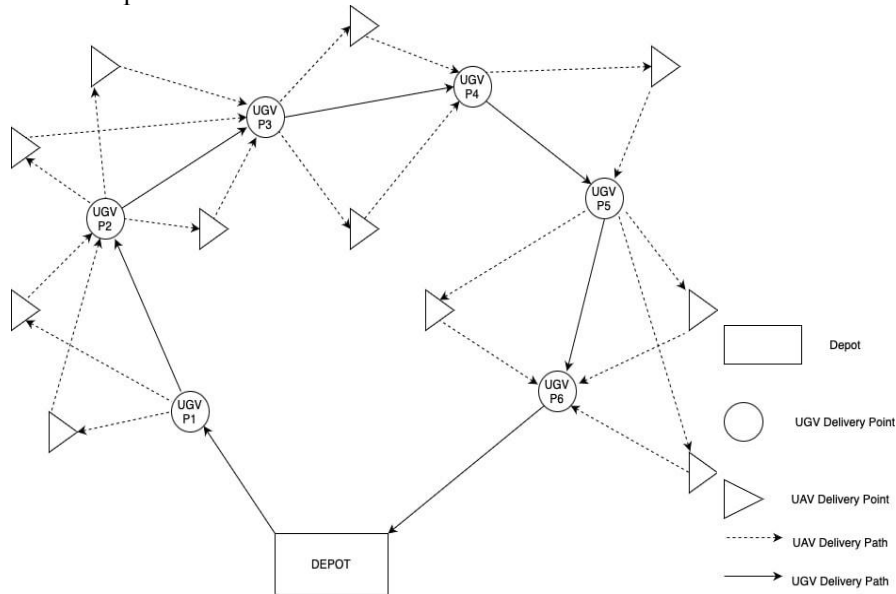


Figure 4. A sample of hybrid UAV/UGV routing solution.

The model present in this study is tested on a computer equipped with an Apple M2 Pro processor and 16 GB RAM. The Julia programming language was used for the calculations, and the Python programming language was used for the 3D visualization of the results.

For Julia calculations:

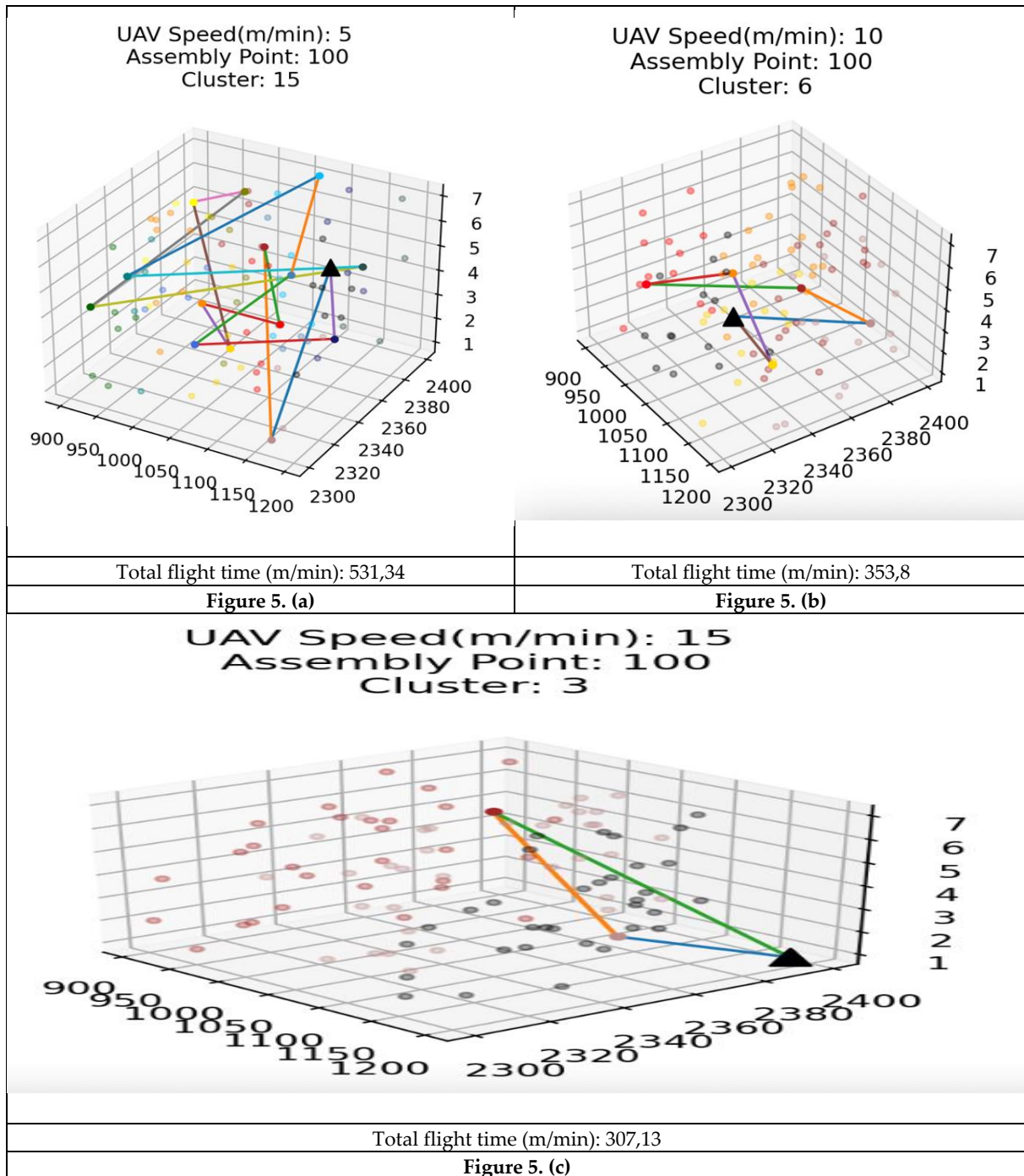
- The number of emergency assembly points is defined as 100 and 200, and the coordinates of assembly points are generated using the JuliaLang/Random.jl rand function package [34].
- The K-means clustering algorithm is used to cluster the assembly points [35]. The maximum number of iterations is set to 200. The emergency assembly points are assigned to each cluster based on their distance to the centre of each cluster.
- The time (in minutes) it takes for each assembly point to reach its assigned cluster's centroid is calculated via JuliaStats/Distances.jl distance package [36].
- For each cluster, LinearAlgebra package [34] is used to determine the optimal assembly points to be delivered by each UAV.
- The heuristic traveling salesman [37] package is used for the UGV route.
- The model is solved using the HiGHS optimizer [38]. The objective function is to minimize the total time taken to deliver to all emergency assembly points.

For Python 3D Visualization:

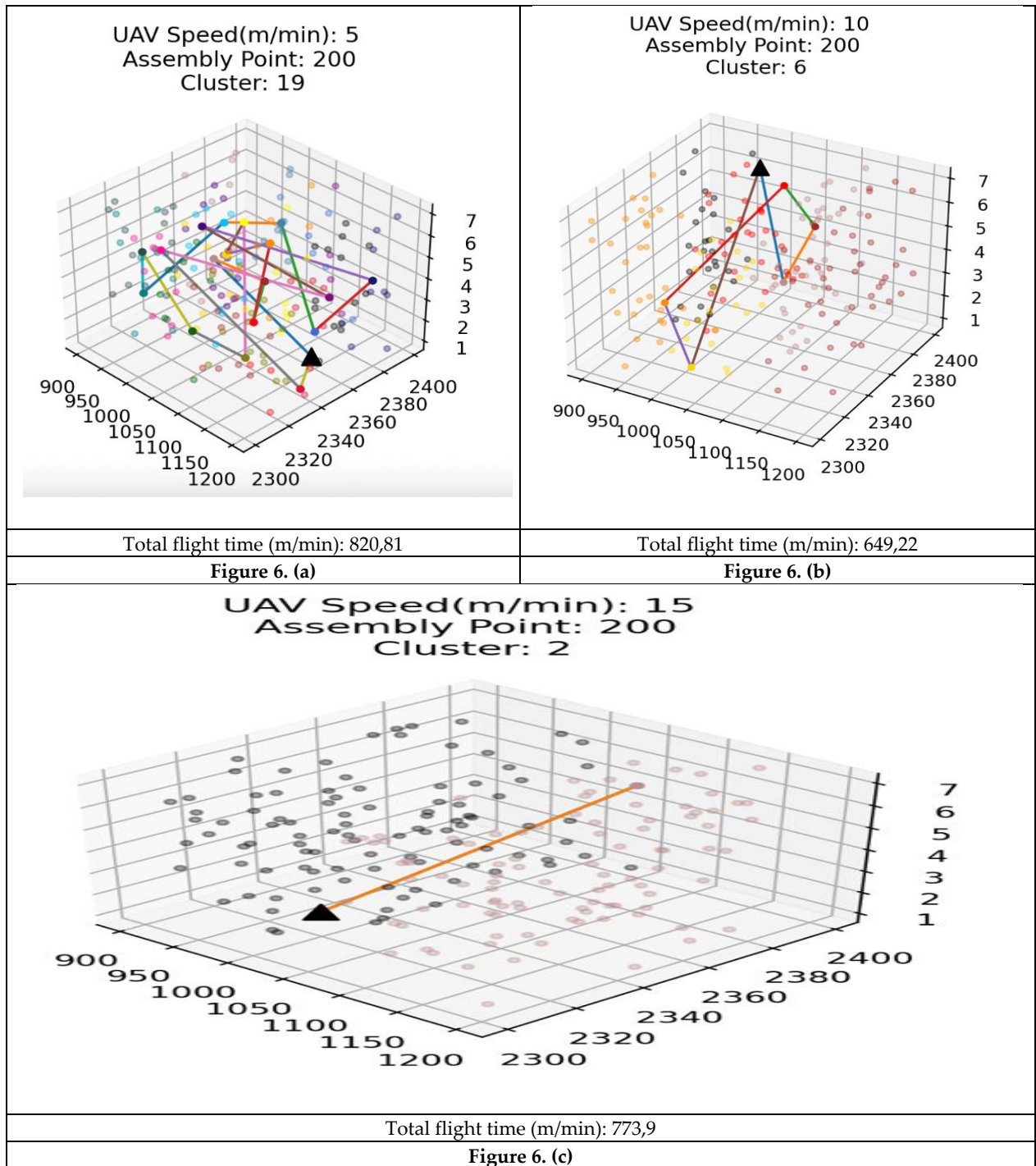
- matplotlib.pyplot [39] package is used to create the 3D scatter plots and lines,
- pandas [40] package is used to read in and manipulate the data from the Excel files,
- glob package is used to get a list of all Excel files in the current working directory.

4. Results

In the application, unmanned ground vehicle (UGV) is defined as one, and unmanned aerial vehicle (UAV) is defined as four on the UGV. The battery capacity is determined as 40 minutes with the UAV payload and 60 minutes without the payload. The flight time is defined as 10 m/min when the UAV is loaded and 15 m/min when it is empty. We tested the assembly point parameter at 100 and 200. For both scenarios, we changed the UAV speed parameter to 5 m/min, 10 m/min, and 15 m/min, conducting a total of 6 different scenarios to analyze their effects on total flight time and cluster number.



The results show that in Figure 5. (a), (b), (c), the total delivery time decreases significantly from 531 to 307 as UAV speed increases from 5 m/min to 15 m/min and cluster number and UGV stops decrease. This is an expected result since the UAV can cover more distance in a shorter time with higher speed than UGV. So, UAVs can deliver the medical kits to emergency assembly points faster.



In Figure 6. (a), (b), (c), however, the pattern is not as straightforward. Although the total delivery time still decreases as UAV speed increases from 5 to 10 in figure 6 (a) and (b), it increases again when the drone speed is set to 15 in figure 6 (c). Like figure 5, the number of clusters decreases as the UAV speed increases. The model clearly shows us that there is an optimal balance between assembly point number, UAV speed and number of clusters. In figure 6. (b) result shows that minimal total time depends on not only UAV speed, but also cluster and assembly point numbers.

Table 2. Results of testing scenarios

Scenario	Point Number	UAV Speed	Cluster Number	Total Flight Time
1	100	5 m/min	15	531 m/min
2	100	10 m/min	6	353 m/min
3	100	15 m/min	3	307 m/min
4	200	5 m/min	19	820 m/min
5	200	10 m/min	6	649 m/min
6	200	15 m/min	2	773 m/min

We summarize the model parameters and results for six scenarios in Table 2. In the first three scenarios, we defined assembly point number 100. As you can see, increasing the UAV speed from 5 m/min to 10 m/min resulted in a significant reduction in cluster number and total flight time, while increasing the UAV speed further to 15 m/min resulted in a smaller decrease in cluster number and total flight times. In the last three scenarios, we defined assembly point number 200. Increasing the UAV speed from 5 m/min to 10 m/min resulted in a significant reduction in cluster number from 19 to 6, and also a decrease in the total flight time from 820 m/min to 649 m/min. This suggests that increasing the UAV speed has a large impact on the system's performance. However, increasing the UAV speed from 10 m/min to 15 m/min did not result in as large of a reduction in cluster number or total flight time, as the cluster number only decreased from 6 to 2, and the total flight time increased slightly from 649 m/min to 773 m/min. This suggests that increasing the UAV speed beyond a certain point may result in diminishing returns in terms of improving the system's performance.

Overall, the results show that the UAV speed parameter is a critical factor in the system's performance and should be carefully considered when optimizing the system. We must consider other parameters for achieving overall system optimization.

In scenario 5, we obtained the best solution. The total emergency assembly points located at the stops, the farthest assembly point from any stop, the total time spent at the stops, the time spent by the ground vehicle and the total time is presented in Table 3. The coordinates of the emergency assembly point and the assignments of the UAVs for delivery are presented in Table 5.

Table 3. Test results of scenario 5

Stops	Assembly Points at Stop	Farthest Point at Stop	Total Time at Stop
1	28	4.3944	75.4291
2	41	5.8527	116.0542
3	47	5.3240	164.7108
4	32	4.3709	94.1934
5	30	4.3418	82.6783
6	22	4.9514	56.8706

Time spent by UGV between stops (min): 59.2853

Total time spent by UAV/UGV (min): 649.2217

In Table 5., the first column shows the number of the stop, followed by the number of assembly points located at each stop. The third column provides information about the farthest assembly point from the stop, measured in minutes. The fourth column presents the total time spent at each stop, measured in minutes. The next row provides information about the time spent by the ground vehicle between stops, which is measured at 59.28 minutes. Finally, the last row of the table shows the total time spent by both the UAV and the ground vehicle, which is measured at 649.22 minutes. We have six stops with varying numbers of assembly points. Stop 3 has the highest number of assembly points at 47, while stop 6 has the lowest at 22. The farthest assembly point at each stop ranges from 4.34 minutes to 5.85 minutes. The total time spent at each stop ranges from 56.87 minutes to 164.71 minutes. Additionally, the table provides information on the time spent by the UGV between stops, which is 59.29 minutes, and the total time of UAV/UGV operation, which is 649.22 minutes.

The coordinates of the emergency assembly points and the clusters they are assigned to are presented in Table 4. As there are a total of 200 assembly points, information on the first 10 and last 10 assembly points is provided.

Table 4. The coordinates of the emergency assembly points and the assignments of the UAVs.

AP no	X-axis	Y-axis	Altitude	Cluster	AP no	X-axis	Y-axis	Altitude	Cluster
1	1044	2301	2	6	-	-	-	-	-
2	960	2326	3	5	-	-	-	-	-
3	1145	2340	7	3	191	945	2367	6	1
4	1022	2388	6	4	192	998	2382	5	4
5	1176	2384	7	3	193	974	2389	7	1
6	1081	2307	2	6	194	914	2383	3	1
7	1200	2381	3	3	195	1193	2351	2	3
8	968	2399	6	1	196	925	2306	6	5
9	1142	2319	6	3	197	1059	2310	7	6
10	930	2329	5	5	198	928	2383	5	1
-	-	-	-	-	199	1097	2349	1	2
-	-	-	-	-	200	985	2337	5	4

5. Discussion

5.1 Comparison with Literature

Our research shows that combining UAVs and UGVs in routing can speed up deliveries by optimizing routes and tasks. This finding is consistent, with the research of Ferrandez et al. [31] who also highlighted the efficiency improvements of systems. In contrast to Raj and Murray [24] who concentrated on UAVs only our strategy harnesses the strengths of both UAVs and UGVs leading to a rounded and flexible system. A notable advantage of our approach is the use of MILP for task distribution an element in managing logistical scenarios as noted by Agatz et al. [25]. However it's worth noting that our reliance, on linear models may not entirely capture the nature of real world emergencies.

5.2 Dynamic Process and Future Research

Acknowledging the nature of disaster situations it is suggested that upcoming studies integrate factors to create scenarios effectively. For example, using random variables to model uncertain demand and supply conditions could provide deeper insights into system performance under stress. Furthermore leveraging data, from disaster responses to enhance our models and create stronger formulas could be beneficial. This strategy may aid in connecting frameworks, with real world implementations enhancing the systems ability to handle obstacles effectively.

5.3 Research Limitations

Although our research offers a method, for managing disaster logistics it does have some drawbacks. The primary constraint is the linearization of a dynamic and chaotic process. Real world disasters include variables that our existing model doesn't fully consider. Additionally assuming a speed and capacity, for UAVs as highlighted in research [25][26] may not always be accurate. It's essential to tackle these limitations in studies to create a thorough and adaptable logistics framework.

Our study highlights the benefits of using UAV/UGV systems to enhance disaster relief logistics. Through the integration of K Means Clustering, TSP and MILP techniques we have shown improvements, in efficiency. It is crucial to recognize the changing nature of disasters and the constraints of our methodology. Moving forward it is important to consider incorporating factors and actual field data to strengthen the systems resilience and effectiveness across disaster situations.

6. Conclusion

In this study, we suggested a collaborative UAV/UGV routing model with the objective function of total cost minimization, which uses multiple drones on a truck to deliver medical kits to emergency assembly

points. The main goal of using the cost function is to minimize people's waiting time for medical kits in affected areas.

The affected area is divided into sub sections by using K-means clustering method and each cluster center is defined as UGV stop. Deliveries are made from UGV stops to assembly points via UAVs. UAVs can launch multiple times from truck to deliver packages as long as its battery capability for flight range. To show how the objective function works in our proposed model, some scenarios are tested, and their results are compared with each other.

Experimental results show that the total delivery time decreases significantly when UAV speed increases and cluster number and UGV stops also decrease. This is an expected result since the UAV can cover more distance in a shorter time with higher speed than UGV. So, UAVs can deliver the medical kits to emergency assembly points faster. However, the pattern is not as straightforward. Although the total delivery time still decreases as UAV speed increases in some scenarios, it increases again when the drone speed exceeds a certain speed. The model clearly shows us that there is an optimal balance between assembly point number, UAV speed and number of clusters. The results show that minimal total time depends on not only UAV speed, but also cluster and assembly point numbers. This suggests that increasing the UAV speed beyond a certain point may result in diminishing returns in terms of improving the system's performance.

Overall, the results show that the UAV speed parameter is a critical factor in the system's performance and should be carefully considered when optimizing the system. We must consider other parameters for achieving overall system optimization.

Future research suggestions are listed here:

- To enable faster deliveries, autonomous battery replacement station for UAV's on the UGV's,
- Time window and experimental analysis of model,
- Dynamic take-off and landing on ground vehicle by UAV's,
- Delivery scenarios using multiple UAVs and UGVs,
- Testing scenarios where time minimization is not prioritized by assigning mission-criticality factors to flights,
- Dynamically determining the UAV speed according to the region and flight conditions,
- Real-time autonomous logistics management system operating in coordination with the disaster coordination center.

Author Contributions: Conceptualization, A.G. and M.H.S.; methodology, A.G. and M.H.S; software, A.G. and M.H.S; validation, A.G. and M.H.S; formal analysis, A.G. and M.H.S; investigation, A.G. and M.H.S; resources, A.G. and M.H.S; data curation, A.G. and M.H.S; writing—original draft preparation, A.G. and M.H.S; writing—review and editing, A.G. and M.H.S; visualization, A.G. and M.H.S; supervision, A.G. and M.H.S. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

Funding: This research received no external funding.

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

References

- [1] L. Zhang, Y. Liu, X. Liu, and Y. Zhang, "Rescue efforts management and characteristics of casualties of the Wenchuan earthquake in China," *Emerg. Med. J.*, vol. 28, no. 7, pp. 618–622, 2011.
- [2] H. Karaman, M. Şahin, A. S. Elnashai, and O. Pineda, "Loss assessment study for the Zeytinburnu district of Istanbul using Maeviz-Istanbul (HAZTURK)," *J. Earthq. Eng.*, vol. 12, no. S2, pp. 187–198, 2008.
- [3] A. Bibbee, R. Gönenç, S. Jacobs, J. Konvitz, and R. Price, "Economic Effects of the 1999 Turkish Earthquakes: An Interim Report," OECD, Paris, Jun. 2000. doi: 10.1787/233456804045.
- [4] R. I. E. and O. A. and D. Gunasekera James Edward and Pomonis, Antonios and Macabuag, Joshua Lee David Clifton and Brand, Johannes and Schaefer, Andreas and Romero, Roberth and Esper, Sarah and Otálora, Samuel González and Khazai, Bijan and Cox, Kerri Dionne, "Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report : February 6, 2023

- Kahramanmaraş Earthquakes - Türkiye Report (English)," Text/HTML, 2023. Accessed: Mar. 15, 2023. [Online]. Available: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail>
- [5] A. S. Safaei, S. Farsad, and M. M. Paydar, "Emergency logistics planning under supply risk and demand uncertainty," *Oper. Res.*, vol. 20, no. 3, pp. 1437–1460, Sep. 2020, doi: 10.1007/s12351-018-0376-3.
- [6] Y. Jiang and Y. Yuan, "Emergency logistics in a large-scale disaster context: Achievements and challenges," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 5, p. 779, 2019.
- [7] Statista, "Number of natural disasters worldwide 2022," Statista. Accessed: Mar. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/510959/number-of-natural-disasters-events-globally/>
- [8] T. Gabe, E. H. Falk, V. W. Mason, and M. McCarty, "Hurricane Katrina: Social-demographic characteristics of impacted areas," Congressional Research Service, The Library of Congress Washington, DC, 2005.
- [9] A. Suppasri *et al.*, "Damage characteristic and field survey of the 2011 Great East Japan Tsunami in Miyagi Prefecture," *Coast. Eng. J.*, vol. 54, no. 1, pp. 1250005–1, 2012.
- [10] K. Goda *et al.*, "The 2015 Gorkha Nepal earthquake: insights from earthquake damage survey," *Front. Built Environ.*, vol. 1, p. 8, 2015.
- [11] W. Chen, G. Rao, D. Kang, Z. Wan, and D. Wang, "Early Report of the Source Characteristics, Ground Motions, and Casualty Estimates of the 2023 M w 7.8 and 7.5 Turkey Earthquakes," *J. Earth Sci.*, pp. 1–7, 2023.
- [12] O. K. Kwon, "How is the COVID-19 pandemic affecting global supply chains, logistics, and transportation?," *J. Int. Logist. Trade*, vol. 18, no. 3, pp. 107–111, 2020.
- [13] "Logistics Cluster." Accessed: Mar. 16, 2023. [Online]. Available: <https://logcluster.org/preparedness>
- [14] M. Erdelj and E. Natalizio, "UAV-assisted disaster management: Applications and open issues," in *2016 international conference on computing, networking and communications (ICNC)*, IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [15] F. He and J. Zhuang, "Balancing pre-disaster preparedness and post-disaster relief," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 252, no. 1, pp. 246–256, 2016.
- [16] D. P. Coppola, *Introduction to international disaster management*. Elsevier, 2006.
- [17] S. Chowdhury, A. Emelogu, M. Marufuzzaman, S. G. Nurre, and L. Bian, "Drones for disaster response and relief operations: A continuous approximation model," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 188, pp. 167–184, 2017.
- [18] T. Bektas, "The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures," *omega*, vol. 34, no. 3, pp. 209–219, 2006.
- [19] A. Dixit, A. Mishra, and A. Shukla, "Vehicle routing problem with time windows using meta-heuristic algorithms: a survey," in *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms: Theory and Applications, ICHSA 2018*, Springer, 2018, pp. 539–546.
- [20] G. Laporte, "The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 59, no. 2, pp. 231–247, 1992.
- [21] T. Lust and J. Teghem, "The multiobjective traveling salesman problem: a survey and a new approach," *Adv. Multi-Object. Nat. Inspired Comput.*, pp. 119–141, 2010.
- [22] A. Goodchild and J. Toy, "Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2 emissions in the delivery service industry," *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 61, pp. 58–67, 2018.
- [23] S. Khalaj Rahimi and D. Rahmani, "A Hybrid Truck-Drone Routing Problem Considering Deprivation Cost in the Post-Disaster Situation," *J. Qual. Eng. Prod. Optim.*, vol. 6, no. 1, pp. 233–256, 2021.
- [24] R. Raj and C. Murray, "The multiple flying sidekicks traveling salesman problem with variable drone speeds," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 120, p. 102813, 2020.
- [25] N. Agatz, P. Bouman, and M. Schmidt, "Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone," *Transp. Sci.*, vol. 52, no. 4, pp. 965–981, 2018.
- [26] N. Boysen, D. Briskorn, S. Fedtke, and S. Schwerdfeger, "Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes," *Networks*, vol. 72, no. 4, pp. 506–527, 2018.
- [27] C. C. Murray and A. G. Chu, "The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 54, pp. 86–109, 2015.
- [28] S. Poikonen and J. F. Campbell, "Future directions in drone routing research," *Networks*, vol. 77, no. 1, 2020, doi: 10.1002/net.21982.
- [29] A. Ponza, "Optimization of drone-assisted parcel delivery," 2016.
- [30] D. Schermer, M. Moeini, and O. Wendt, "A matheuristic for the vehicle routing problem with drones and its variants," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 106, pp. 166–204, 2019.
- [31] S. M. Ferrandez, T. Harbison, T. Weber, R. Sturges, and R. Rich, "Optimization of a truck-drone in tandem delivery network using k-means and genetic algorithm," *J. Ind. Eng. Manag. JIEM*, vol. 9, no. 2, pp. 374–388, 2016.
- [32] Emergenresearch, "Emergenresearch Drone Package Delivery Industry Top Companies | Drone Package Delivery Market Top Players by 2028." Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-companies-in-the-drone-package-delivery-industry>
- [33] E. Roth, "Matternet's delivery drone design has been approved by the FAA," *The Verge*. Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2022/9/11/23347199/matternet-delivery-drone-model-m2-design-approved-faa>
- [34] J. Bezanson, A. Edelman, S. Karpinski, and V. B. Shah, "Julia: A fresh approach to numerical computing," *SIAM Review*, vol. 59, no. 1, pp. 65–98, Sep. 2017. doi: 10.1137/141000671.

-
- [35] "Clustering.jl." Julia Statistics, Mar. 25, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/JuliaStats/Clustering.jl>
- [36] "Distances.jl." Julia Statistics, Mar. 24, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/JuliaStats/Distances.jl>
- [37] E. Fields, "TravelingSalesmanHeuristics." Feb. 19, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/evanfields/TravelingSalesmanHeuristics.jl>
- [38] "HiGHS.jl." JuMP-dev, Mar. 28, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/jump-dev/HiGHS.jl>
- [39] "matplotlib/matplotlib." Matplotlib Developers, Mar. 28, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/matplotlib/matplotlib>
- [40] The pandas development team, "pandas-dev/pandas: Pandas." Mar. 28, 2023. Accessed: Mar. 28, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/pandas-dev/pandas>

Research Article

Received: date: 22.03.2024
Accepted: date: 28.06.2024
Published: date: 30.06.2024

Türkiye’de Katılım Bankacılığının Sanayi Üretimi Üzerindeki Zamana Bağlı Asimetrik Etkilerinin İncelenmesi

Abdurrahman Temel¹ İsmail Canöz^{2*}

¹Istanbul Medeniyet University, Department of Business Administration, Istanbul, Türkiye;
abdurrahmantemel43334@gmail.com

²Istanbul Medeniyet University, Department of Business Administration, Istanbul, Türkiye;
ismail.canoz@medeniyet.edu.tr

Orcid: 0009-0002-7706-7599¹ Orcid: 0000-0002-3351-6754²

*Correspondence: ismail.canoz@medeniyet.edu.tr

Öz: Katılım bankaları özellikle faiz hassasiyeti olan bireyler ve kurumlar için önemli bir vazife görmektedir. Başta mevduat toplamak ve elde edilen fonu üretken amaçlara kanalize etmek gibi misyona sahiptir. Böylelikle toplum refahının artırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu savdan hareketle, çalışmanın amacı Türkiye’deki katılım bankacılığı finansmanının sanayi üretimi üzerindeki rolünü incelemektir. Bu çalışmada Ocak 2005’ten başlayarak Temmuz 2023’e kadar olan toplam 223 aylık ikincil veriler toplanmıştır. Söz konusu veriler Zamanla Değişen Nedensellik Analizi ile test edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, katılım bankacılığı tarafından sağlanan ticari kredilerin sanayi üretimi üzerindeki etkisinin kısıtlı olduğunu ortaya koymuştur. Dönem dönem değişkenler arasında asimetrik nedensellik varsa da 2017 sonrasında zaman bağlı bir ilişki tespit edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Katılım Bankacılığı, Zamanla Değişen Nedensellik Analizi, Sanayi Üretim Endeksi, Asimetrik Etkiler, Sektör Kredileri

Examining the Time-Dependent Asymmetric Effects of Participation Banking on Industrial Production in Türkiye

Abstract: Participation banks play an essential role, especially for interest-sensitive individuals and institutions. Their fundamental mission is to collect deposits and channel the funds obtained to productive purposes. Thus, they contribute to increasing social welfare. Based on this argument, the study aims to examine the role of participation banks’ financing on industrial production in Türkiye. In this study, it is collected 223 months of secondary data, starting from January 2005 until July 2023. The relevant data is tested with Time-Varying Causality Analysis. The results of this study revealed that the effect of commercial loans provided by participation banking on industrial production is limited. Although occasional asymmetric causality exists between the variables, no time-dependent relationship was detected after 2017.

Keywords: Participation Banking, Time-Varying Causality Analysis, Industrial Production Index, Asymmetric Effects, Sector Loans

1. Giriş

Katılım bankacılığı sisteminin ortaya çıkışına dayanak olan bir takım dini kurallar ve toplumsal gerekçeler mevcuttur. Bu hususla ilgili olarak temelde dini hassasiyetler daha fazla ön plana çıkmaktadır. İslam’da faizin haram olduğu buyrulduğundan Müslümanların faizsiz bir bankacılık sistemine ihtiyacı hâsıl olmuştur. Dini nedenlerin yanı sıra toplumsal nedenler de bu sistemin ortaya

çıkışında etkilidir. Faizin insanlar arasında gelir eşitsizliği yarattığına dair görüşler hakimdir ve Müslüman toplumlarda bu sorunun önüne geçebilmek adına faizsiz bankacılığın konvansiyonel bankacılığın alternatifi olarak finansal sisteme entegrasyonu sağlanmıştır [1]. Ek olarak, katılım bankacılığının konvansiyonel bankacılığa kıyasla bazı avantajlara sahip olduğu savunulmaktadır. Öncelikle, faiz hassasiyetine sahip insanların tasarruflarını katılım bankalarına yatırmaları, piyasadaki likiditeyi arttırmaktadır. İkinci olarak, katılım bankacılığının yaygınlaşmasına paralel olarak şubelerin çoğalması işgücüne gereksinimi artırmakta ve bu durum istihdama olumlu katkı vermektedir. Ayrıca katılım bankaları işletmelere kredi vererek ülkedeki yatırımların ve üretimin artmasına direkt katkı sunmaktadır. Tüm bu durumlar dikkate alındığında, katılım bankacılığının faaliyette bulunduğu ülkelerin ekonomik gelişimine fayda sağladığı söylenebilir [2].

Türkiye’de özellikle son on yılda devlet desteğiyle birlikte gelişmekte olan katılım bankacılığı faiz hassasiyeti olan bireylerin finansal sisteme dahil olmaları için iyi bir alternatif haline gelmiştir. Katılım bankalarının Türkiye’deki toplam bankacılık sektöründeki payı ticari bankalara göre az olsa da katılım bankalarının popüleritelerinin yıllar geçtikçe arttığı söylenebilir. Buna paralel olarak, toplam krediler içinde katılım bankacılığı kredilerinin payı da yıllar itibarıyla artmaktadır.

İşletmelere yeni yatırımlar yapma ve üretimlerini artırma gayesiyle verilen bu kredilerin ülkenin sanayi üretiminin gelişmesine anlamlı bir katkıda bulunup bulunmadığı sorunsalı bu çalışmanın temel hipotezini oluşturmaktadır. Katılım bankacılığı ile ilgili alan yazında konunun güncel değerini sürdürmesi sebebiyle literatüre önemli bir katkıda bulunulacağı düşünülmektedir. Sanayi sektörü gelişimine odaklanılmış olmasıyla, Türkiye’nin ekonomik faaliyetlerinde katılım bankaları kredilerinin zamana bağlı etkisi saptanabilecektir. Elde edilen bulguların, katılım bankacılığı gelişmiş diğer İslami ülkeler bağlamındaki araştırmalarla ve Türkiye kapsamındaki önceki çalışmalarla kıyaslanabilmesi mümkün olacaktır. Bulgular doğrultusunda, ülkemiz için takip edilmesi ve geliştirilmesi gereken politikalar önerilecektir. Ayrıca bu araştırma, önceki çalışmalarda sıkça uygulanmış geleneksel ekonometrik tekniklerin yanında asimetric ve zamana bağlı değişimleri ölçen modellemeler kullanacaktır. Gerek güncelliği gerekse metodolojik olarak literatürdeki eksiklikleri doldurma motivasyonu olan bu çalışma özgün değere sahiptir.

Çalışmanın geri kalını, literatür taraması, veri ve metodoloji, analiz ve bulgular, tartışma ve sonuç başlıkları ile devam edecektir.

2. Literatür Taraması

Katılım bankacılığı ile ilgili literatürün, birçok İslami ülke ekonomisinin gelişmesi ve kalkınması bağlamında genişletilmesi gereklidir. Literatürde Türkiye’de kalkınma bankacılığı finansmanının ekonomik gelişmedeki rolünün araştırılması konusunda eksiklik tespit edilmesiyle, çalışmanın temel amacını Türkiye’de katılım bankacılığının sanayi üretimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi oluşturmuştur.

Ekonomik gelişmede katılım bankacılığının rolünün incelendiği literatürde Referans [3] Bangladeş’te, Referans [4] ve Referans [5] Endonezya’da, Referans [6] Pakistan’da, Referans [7] Katar’da, Referans [8] Malezya’da, Referans [9] Nijerya’da katılım bankacılığının ekonomik büyümeyi istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilediğini tespit etmişlerdir. Buna karşın, Referans [10] Malezya’da, Referans [11] Pakistan’da, Referans [1] Türkiye’de katılım bankacılığının ekonomik büyümeyi etkilemediğini saptamışlardır.

Katılım bankacılığının ülkelerin sanayi üretimleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı literatürde Referans [12] katılım bankacılığı finansmanının hem uzun hem de kısa vadede Malezya’daki sanayi üretimini arttırmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Referans [13] Malezya’da sanayi üretim endeksinin katılım bankalarının toplam mevduatları üzerinde pozitif etkisinin olduğunu saptamışlardır. Referans [14] Pakistan’ın sanayi üretim endeksinin, katılım bankacılığı sektörünün sermaye yapısı kararları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Referans [15] Malezya’da katılım bankacılığı sisteminin yatırım projelerini finanse ederek ekonomik faaliyetlere katkı sağladığını tespit etmiştir. Referans [16] Endonezya’da mevduat ile sanayi üretimi arasında kısa vadede çift yönlü nedensellik tespit etmişlerdir. Bu bulgu, sanayi üretimiyle ölçülen reel aktivitenin İslami banka mevduatları üzerinde oldukça belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

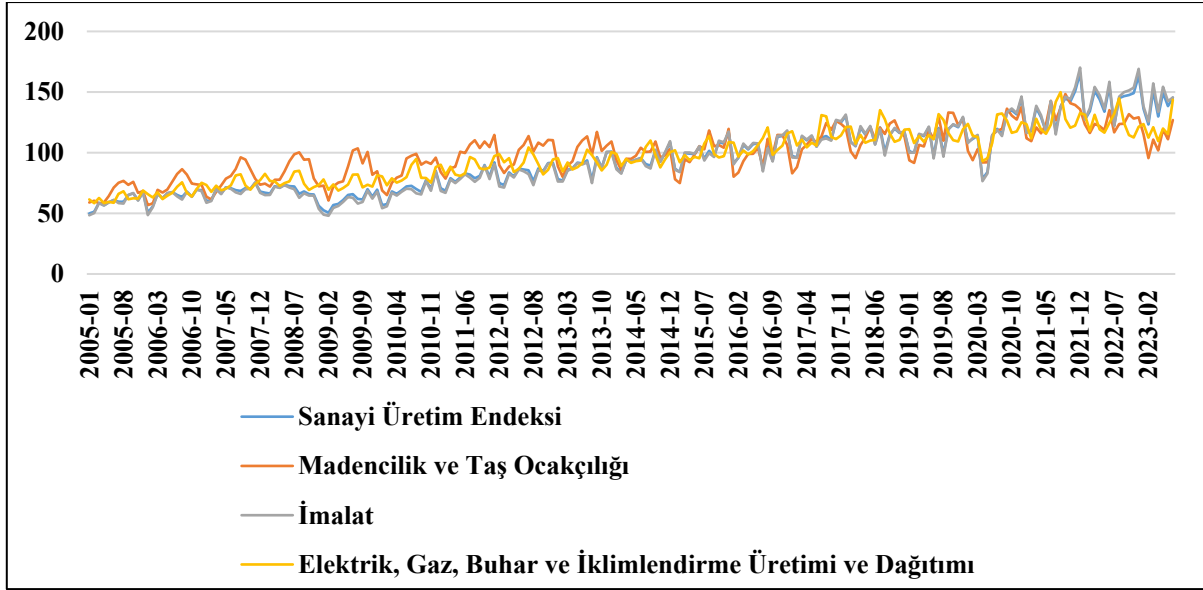
Diğer taraftan, Referans [1] katılım banka kredilerinin Türkiye sanayisinin gelişmesinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır. Türkiye'deki diğer bir çalışmada Referans [17] sanayi üretimi ile katılım bankacılığı arasındaki nedensellik ilişkilerinin konvansiyonel bankacılığa göre daha az olduğunu ve bu ilişkilerin yönünün çoğunlukla sektörden bankacılığa doğru olduğunu tespit etmişlerdir. Referans [18] rejim değişim modeli kullandıkları çalışmalarında katılım bankaları tarafından temin edilen kredilerin genişleme dönemlerinde fon miktarındaki artışın sanayi üretim endeksini pozitif yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Referans [19] Türkiye'de katılım bankaları kredi hacmindeki şokların reel üretim üzerindeki etkisinin konvansiyonel bankalara göre görece olarak daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Referans [20] Türkiye'de hem katılım hem de konvansiyonel bankacılığın reel sektör üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Madencilik ve Taş Ocakçılığı, İmalat ve Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtım sektörleri ile banka kredilerinin ilişkisini asimetric bir nedensellik modeli ile analiz etmişlerdir. Söz konusu sektörlerden katılım bankacılığına doğru bir nedensellik varken; bunun tersi bir bulgunun olmadığı sonucuna varmışlardır. Referans [21] Türkiye özelindeki verilere uyguladığı eşbütünleşme testi sonucunda, sanayi üretimi ile konvansiyonel ve katılım bankalarının reel sektöre sağladığı kredilerin uzun vadede birlikte hareket ettiğini saptamıştır.

Literatür incelemesi sonucunda elde edilen genel görüş, aksi kanıtlar olsa da katılım bankaları tarafından kullanılan kredilerin sanayi üretimini arttırmada pozitif rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu görüşün ortaya çıkmasında etkili olan unsur, katılım bankalarının finansal sistem içerisindeki büyüklükleri ve gelişmişlikleridir. Katılım bankacılığının gelişmişlik düzeyi ise Müslüman nüfusun yoğun olduğu ülkeler arasında farklılıklar göstermektedir.

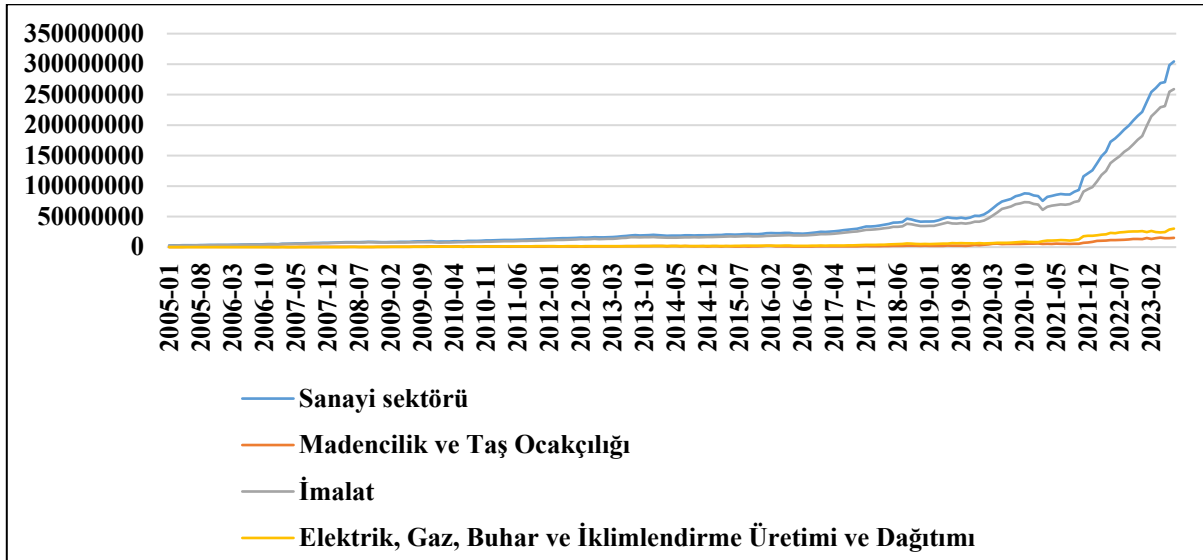
3. Veri Seti ve Metodoloji

3.1. Veri Seti

Araştırmanın kapsamını Türkiye'deki katılım bankaları oluşturmaktadır. Bu hususta ilk olarak, söz konusu bankaların özel sektör kredileri ele alınmıştır. İkinci olarak, Türkiye'nin sanayi üretim verileri incelenmiştir. Söz konusu değişkenlerin tarihsel verileri Ocak 2005 ve Temmuz 2023 dönemi için toplanmış ve 223 aylık periyodu içermektedir. Bu verilerden katılım bankalarının sanayi kesimine kullandığı krediler Türkiye Bankalar Birliği veri tabanından elde edilmiştir. Sanayi üretim endeksi ise Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi vasıtasıyla temin edilmiştir. Sanayi üretim endeksi, endüstriyel sektörde ortaya çıkan gelişmelerin ve takip edilen ekonomik politikaların bir tezahürüdür. Bu endeks söz konusu gelişmeler ve politikaların endüstriyel üretimdeki kısa dönem etkilerinin ölçülebilmesi için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hesaplanmaktadır. Endeks mevsimsel etkilerden arındırılmış olup, NACE Rev.2'e göre sırasıyla üç sektörü kapsamaktadır: Madencilik ve Taş Ocakçılığı (1), İmalat (2) ile Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtım (3). Buna paralel olarak, katılım bankalarının bu sektörlerde kullandıkları kredilerde kategorik olarak toplanmıştır.



Grafik 1. Sanayi Üretim Endeksi ve Alt Sektör Endeksleri



Grafik 2. Katılım Bankaları Tarafından Sanayi Sektörüne Kullanılan Krediler

3.2. Metodoloji

Konuyla ilgili literatürde sıkça kullanılan simetrik yaklaşımların ve zamana bağlı değişimleri dikkate almayan modellerin aksine, çalışmanın metodolojik tasarımı asimmetrik etkileri ve zamana bağlı değişimleri dikkate alacak şekilde kurgulanmıştır. Asimmetrik etkileri ve zamana bağlı değişimleri içeren metodolojilerin kullanılma sebebi, yapısal kırılmaların belirgin şekilde ölçülmesine ve modellerde gözlemlenebilmesine izin vermeleridir.

Simetrik olarak tasarlanmış Granger [22] nedensellik testinin geliştirilmesine katkı sağlayan önceki yaklaşımlardan biri, asimptotik dağılım teorisine dayanan standart Wald testidir. Ancak, değişkenler farklı derecelerde durağan veya eşbütünleşik olduğunda, geleneksel asimptotik yaklaşım nedensel etkileri test etmek için uygun değildir. Referans [23] ve Referans [24] bu problemin Vektör Hata Düzeltme Modeli ile çözüldüğünü bildirmektedir. Eşbütünleşik değişkenlerin nedensellik ilişkisini VAR sisteminde uygulamak, bir dizi karmaşık ön test prosedürünü beraberinde getirir. Bu öneri işlevsel ampirik bir uygulamadır. Yine de birim köklerin test edilmesi ve eşbütünleşme analizi gibi ciddi güçlükleri vardır. Buna karşın, Referans [25], değişkenlerin entegrasyon sırasına veya eşbütünleşme uzayının boyutuna bakılmaksızın uygun bir VAR sistemi prosedürü önermektedir. Ön test engelinin olmaması bu testin en önemli avantajı olsa da bu yaklaşım standart varsayımları, özellikle de

hata teriminin dağılımını karşılamamaktadır [26]. Bu nedenle Referans [27], literatürde nedensellik ile ilgili bu sorunları ortadan kaldıran bir önyükleme tekniği önermektedir.

Simetrik nedensellik testleri pozitif ve negatif şokların etkisini ayırt edememekte ve bunları aynı kabul etmektedir. Buradan hareketle, Referans [28] ve Referans [27] Granger nedensellik testini geliştirerek asimetrik bir nedensellik testi ortaya koymuştur.

Analiz edilecek dönemde yapısal kırılmalar varsa, modeli tahmin etmek için genellikle dört ekonometrik yaklaşım kullanılır. Bunlar özyinelemeli tahmin, hareketli pencere tahmini, rejim değiştirme ve zamanla değişen parametrelerdir. Referans [29] ve Referans [30], zamanla değişen parametreler ve hareketli pencere tahmininin diğer yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Referans [31] zamanla değişen beta uygulamaları için hareketli pencere tahminin yapısal kırılmaları daha iyi yakaladığını bulmuşlardır [32]. Araştırmada, Zamanla Değişen Nedensellik Testi ve Hareketli Pencere Tahmini yöntemleri asimetrik olarak ayrılmış veriler için uygulanacaktır ve böylelikle literatürdeki geleneksel metodolojilerin aksine daha güçlü bulgular elde edilecektir.

4. Analiz ve Bulgular

4.1. Durağanlık Testi

Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik Analizi'ne başlamadan önce kredi ve endeks değişkenlerinin maksimum entegrasyon derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikle analize dahil edilen değişkenlerin durağanlığı Referans [33] tarafından geliştirilen birim kök testi ile kontrol edilmiştir. Birim kök testi sonuçları aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 1. Değişkenlere Ait Philips-Perron Birim Kök Testi

Değişkenler		Elek	Elek	İmalat	İmalat	Maden	Maden	Sanayi	Sanayi
		Kredi	End	Kredi	End	Kredi	End	Kredi	End
Sabitli (Düzey)	t-test	5.18	-3.51	13.16	-2.54	3.98	-3.85	13.01	-2.20
	Olasılık	1.00	0.00**	1.00	0.10	1.00	0.00**	1.00	0.20
Sabitli & Trendli (Düzey)	t-test	2.76	-9.30	10.49	-10.47	1.7911	-7.5529	10.053	-10.90
	Olasılık	1.00	0.00**	1.00	0.00**	1.00	0.00**	1.00	0.00**
Sabitli (Birinci Fark)	t-test	-12.7	-32.43	-9.16	-68.32	-16.90	-26.76	-10.05	-90.16
	Olasılık	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**
Sabitli & Trendli (Birinci Fark)	t-test	-13.51	-32.06	-11.26	-70.72	-17.43	-26.82	-12.02	-90.90
	Olasılık	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**

** 0,05 anlamlılık düzeyi

Tablo 1'den de anlaşılacağı üzere sanayi üretim endeksi ve alt endeksleri sabitli ve trendli modelde %5 anlamlılık seviyesinde düzeyde durağandır. Diğer bir deyişle, birim kök içermemektedir. Öte yandan katılım bankalarının sanayi sektörü ve alt sektörlerine kullandığı kredi değişkenleri her iki modelde %5 anlamlılık seviyesinde birinci farkta durağanlaşmaktadır. Bu sonuçlar, endeks ile kredi değişkenleri arasındaki maksimum entegrasyon derecesinin bir olduğunu göstermektedir.

Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik Analizinde olduğu gibi değişkenlerin maksimum bütünleşme dereceleri asimetik test için de belirlenmelidir. Bunun için bileşenlere yukarı olduğu üzer Philips-Perron Birim Kök Testi uygulanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Bileşenlere Ait Philips-Perron Birim Kök Testi

Değişkenler		NKREDI	NSUE	PKREDI	PSUE
Sabitli (Düzey)	t-istatistik	1,15	22,25	16,91	12,37
	Olasılık	0,99	1,00	1,00	1,00
Sabitli & Trendli	t-istatistik	-1,14	3,24	12,59	1,95

(Düzyey)	Olasılık	0,92	1,00	1,00	1,00
Sabitli	t-istatistik	-12,43	-18,23	-9,78	-19,23
(Birinci Fark)	Olasılık	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Sabitli & Trendli	t-istatistik	-12,41	-30,88	-12,23	-25,88
(Birinci Fark)	Olasılık	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**

** 0,05 anlamlılık düzeyi

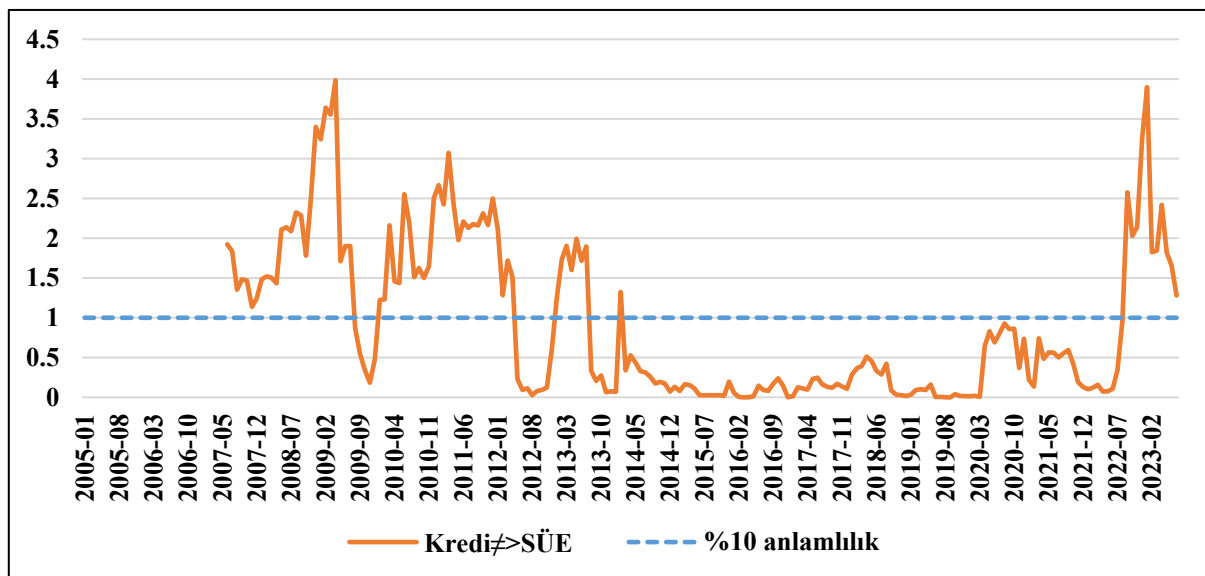
Tablo 2’de görüldüğü üzere sanayi sektörü kredilei ve üretimine ait değişkenlerin poitif ve negatif bileşenleri hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde %5 anlamlılık seviyesinde birinci farkta durağandır. Bu sonuçlar, endeks ile kredi değişkenlerinin bileşenleri arasındaki maksimum entegrasyon derecesinin bir olduğunu göstermektedir.

4.2. Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik Testi

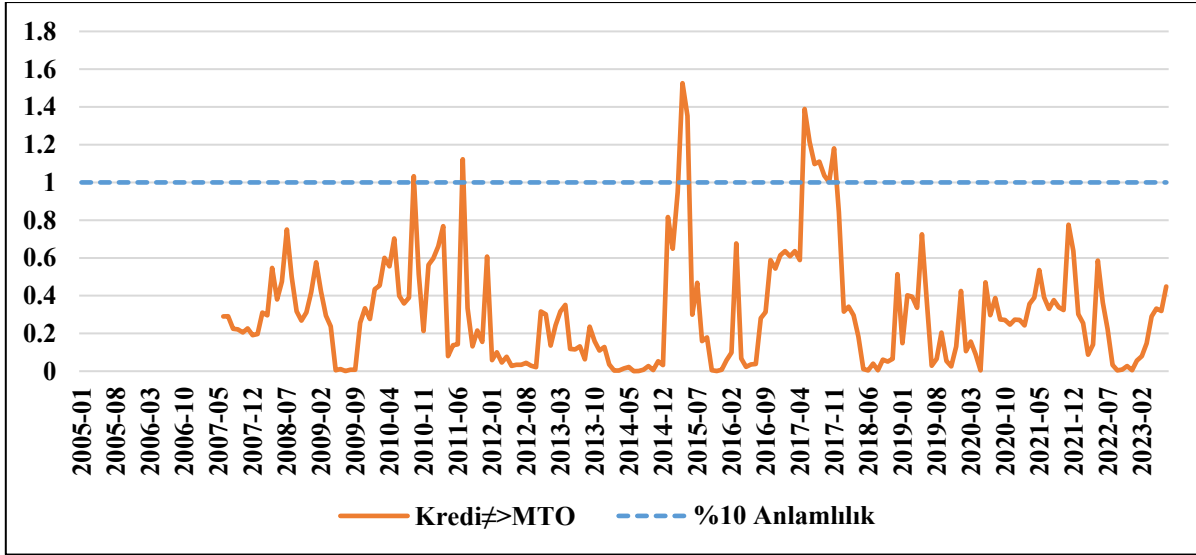
Referans [34] belirttiği gibi ekonomik ve politik olayların etkisiyle nedensellik ilişkileri zaman içinde değişebilmektedir. Küresel ekonomide meydana gelen siyasi veya ekonomik bir şok, finansal piyasalara ilişkin birçok göstergeyi etkilemekte ve bu etkinin süresi zamana göre değişebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında zamanla değişen nedensellik testinin kullanımı, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin zamanlar arası değişimine odaklanmaktadır. Ayrıca bu test aralarında sürekli bir nedensellik ilişkisinin kararlılık düzeyi hakkında da bilgi vermektedir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda zamanla değişen ilişkileri dikkate alan yöntemlerin kullanılması önemlidir.

Zamanla değişen simetrik nedensellik testi öncesinde bazı kriterlerin seçilmesi gerekmektedir. Öncelikle alt örneklem büyüklüğü seçilmelidir. Bu testte alt örneklem büyüklüğü pencere sayısı olarak ifade edilir. Bunu belirlemek için net bir teknik yoktur. Ancak doğru tespit edilememek hatalı sonuçlara neden olabilir. Bunun yanı sıra çok büyük veya çok küçük seçilmesi de sağlıklı sonuçların alınmasını zorlaştırır. Bu nedenle doğruluk ve temsil edilebilirliği dengeleyecek en uygun pencere numarasının seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada pencere sayısı 40 olarak belirlenmiştir.

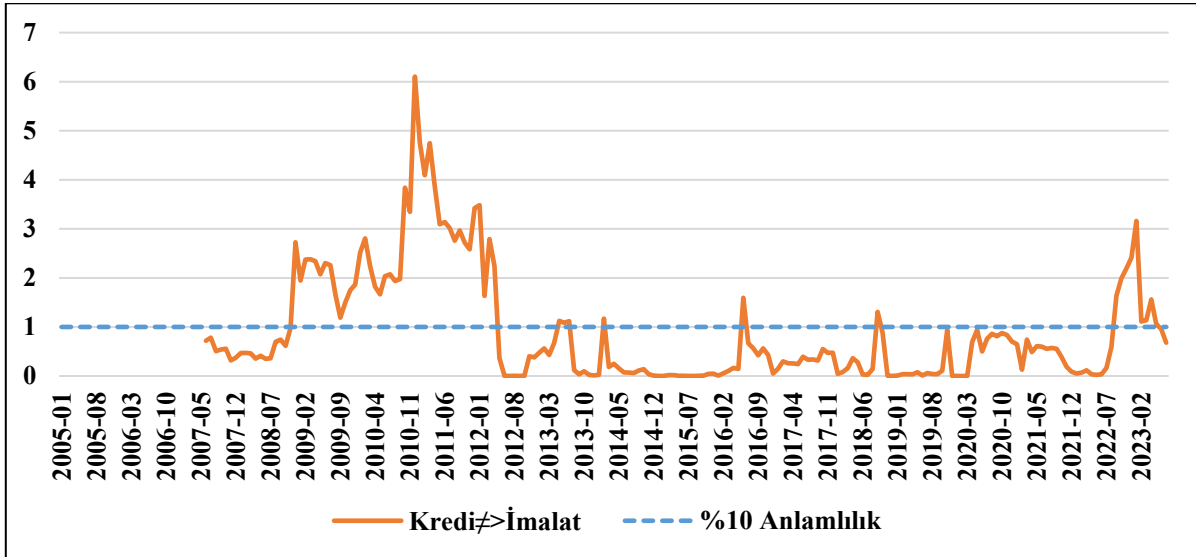
Alt örneklem büyüklüğü seçildikten sonra bilgi kriterinin türü, maksimum entegrasyon derecesi, maksimum gecikme sayısı ve önyüklemenin belirlenmesi gerekir. Seçilen bilgi kriteri Hatemi-J bilgi kriteridir (HJC). Maksimum gecikme sayısı 5 olarak belirlenmiş ve 10000 önyükleme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Son olarak maksimum entegrasyon derecesi yukarıdaki birim kök testi bulgularında belirtildiği üzere 1 olarak hesaplanmıştır. Tüm adımlar tamamlandıktan sonra testin sonuçları Grafik 3’ten 6’ya kadar gösterilmektedir.



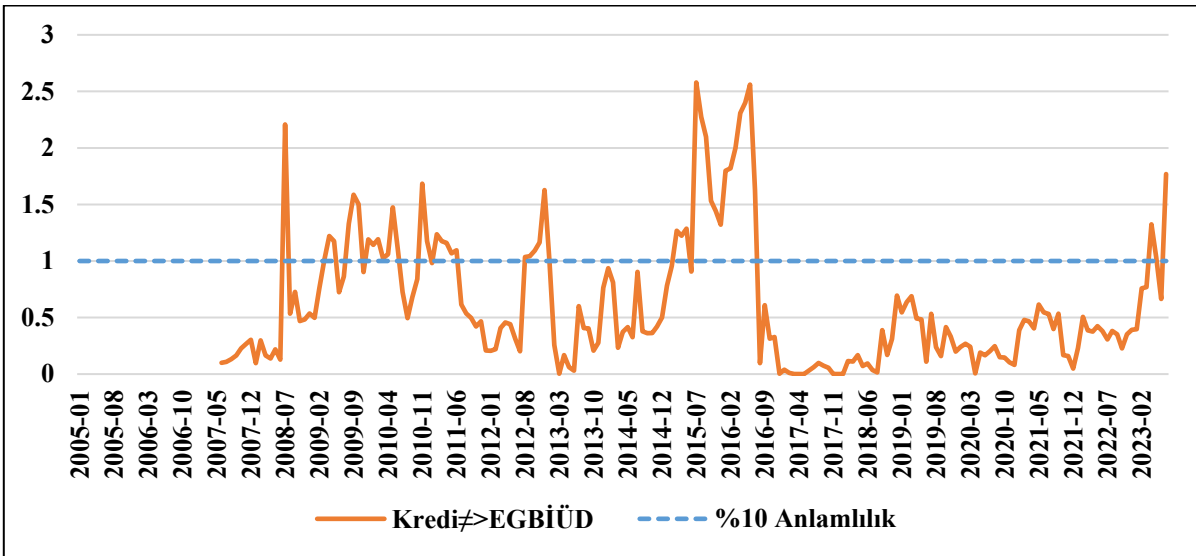
Grafik 3. Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik İlişkisi (Sanayi)



Grafik 4. Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik İlişkisi (Madencilik ve Taş Ocakçılığı)



Grafik 5. Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik İlişkisi (İmalat)

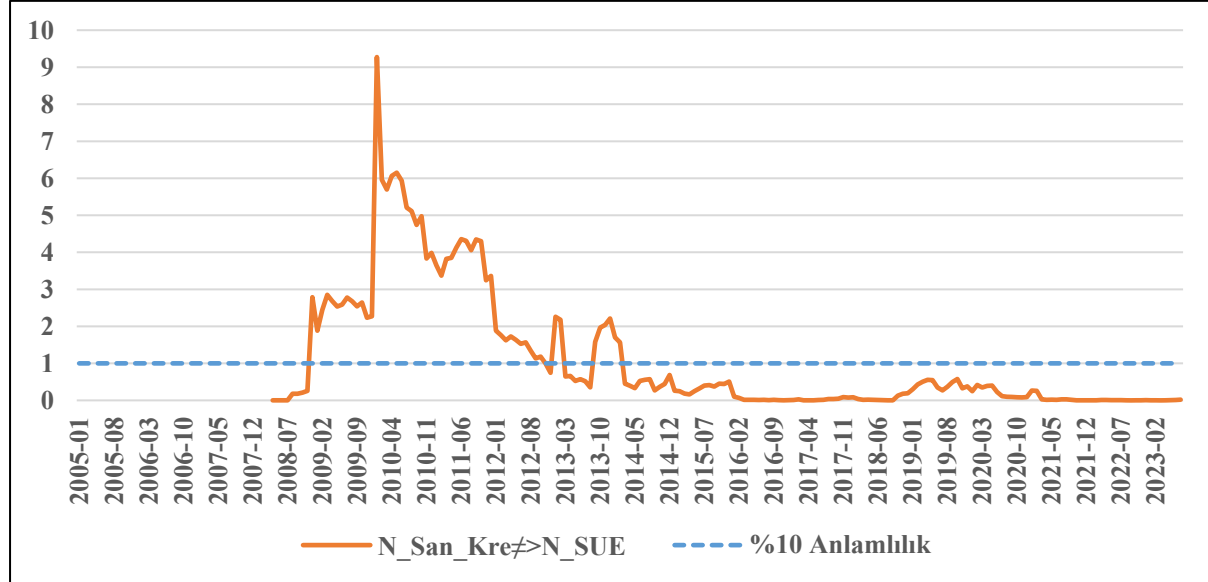


Grafik 6. Zamanla Değişen Simetrik Nedensellik İlişkisi (Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtımı)

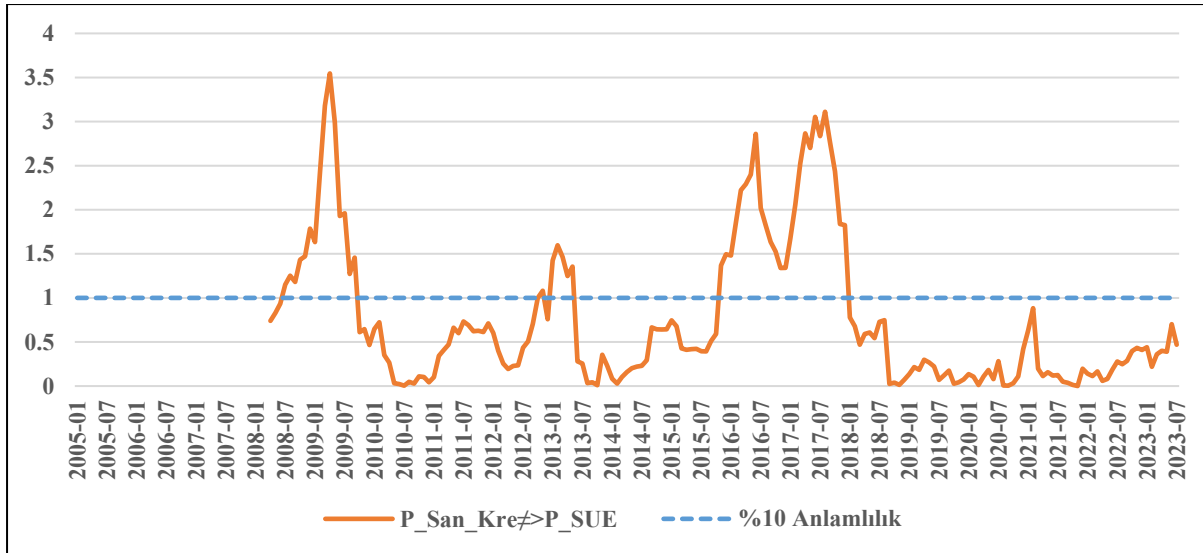
Grafik 3, katılım bankalarının sanayi sektörüne kullandığı kredilerden sanayi üretimine olan nedensellik ilişkisini dönemsel olarak göstermektedir. Bu testin sıfır hipotezi nedensel bir ilişkinin yokluğunu temsil eder. Kesikli mavi çizgi %10 anlamlılık düzeyindeki kritik değeri gösterir. Turuncu renkle gösterilen nedensellik ilişkisinin olasılık değerleri kesikli mavi çizginin üzerinde ise ilgili dönemdeki değişkenler arasında nedensellik ilişkisi vardır. Buna göre, zamanla değişen nedensellik ilişkisi simetrik olarak incelendiğinde, özellikle 2007 ve 2017 arasındaki dönemin büyük çoğunluğunda bir nedensellik ilişkisine rastlanmıştır. Sanayinin alt sektörlerinden en önemlisi olan imalat sektöründe de benzer bir ilişki tespit edilmiştir (Grafik 5). Madencilik ve taş ocakçılığı sektöründe ele alınan dönemin büyük çoğunluğunda krediden sektör üretimine doğru zamanla değişen bir simetrik nedensellik ilişkisi kurulamamıştır (Grafik 4). Elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtım alt sektöründe ise 2008-2016 arasında dönem dönem nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir (Grafik 6).

4.3. Zamanla Değişen Asimetrik Nedensellik Testi

Zamanla değişen simetrik nedensellik testlerinde zamansal etkiler akışkan şekilde gözlenebildiği gibi, adeğişkenlerin pozitif ve negatif bileşenlerinin arasındaki nedensellik de benzer bir metodoloji kullanılarak gözlemlenebilir. Dolayısıyla simetrik modeller değişkenlere ait şokların etkisini ayırt edememekte ve zaman serisini bir bütün olarak kabul etmektedir. Gerçekte bilinmektedir ki finansal piyasa katılımcıları aynı şiddetteki şoklara farklı tepkiler vermektedir. Çünkü katılımcı davranışları çoğunlukla heterojen bir özellik göstermektedir. Ek olarak, asimetrik bilginin varlığı da piyasa göz ardı edilemez. Bu durumda simetrik nedensellik yerine asimetrik nedenselliği tercih etmek, gerçeğe daha yakın sonuçlar bulunmasına katkı sağlar [35-36]. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için Referans [37], değişkenlerin pozitif ve negatif bileşenlerine ayrılması önermişlerdir. Buradan hareketle, öncelikle değişkenler pozitif ve negatif olmak üzere bileşenlerine ayrılmıştır. Sonrasında, Referans [28]'e ait asimetrik test bu bileşenlere uygulanmıştır. Grafik 7 ve 8 kredilerden sanayi üretimine olan zamana bağlı değişen asimetrik nedensellik ilişkisini sunmaktadır.



Grafik 7. Sanayi Sektörü Zamanla Değişen Asimetrik Nedensellik İlişkisi (Negatif Bileşen)



Grafik 8. Sanayi Sektörü Zamanla Değişen Asimetrik Nedensellik İlişkisi (Pozitif Bileşen)

Grafik 7’de katılım bankalarının sanayi kredilerinin negatif bileşeninden, sanayi üretim endeksinin negatif bileşenine doğru özellikle 2008 küresel krizi sonrasında zamanla değişen bir nedensellik ilişkisinin olduğunu görülmektedir. Bu ilişki 2014’e kadar azalarak devam etmiştir. Grafik 8’deki pozitif bileşenlere ait nedenselliğe bakıldığında ise 2008 küresel krizin Türkiye’de etkilerini gösterdiği dönem öncesinde ve 2015 sonları ile 2017 sonları arasında zamanla değişen ilişkiler mevcuttur.

5. Tartışma ve Sonuç

Katılım bankacılığının en temel amacı, daha ziyade faiz hassasiyeti olan tasarruf sahiplerinin ellerinde bulunan atıl fonları toplayarak, helal üretim sağlanması koşuluyla fon eksikliği olan kesime bunları transfer etmektir. Bu fon transferinin sağlanması, üretim faaliyetlerini arttırarak ülke ekonomilerinin büyümesine, istihdamın ve toplumun refahının artmasına katkı sağlayacaktır.

Türkiye’de sanayi sektöründeki üretim artışını teşvik etmek, diğer bir ifadeyle sektörün büyüme hedeflerini yerine getirebilmek için ihtiyaç duyduğu finansmanı, çoğunlukla konvansiyonel bankaların kredi kanalıyla sağlamaktadır. Türkiye’nin toplam banka kredi hacminin büyük bir kısmının sanayi sektörü tarafından kullanıldığı dikkate alındığında, banka kredileri ile sanayi üretimi arasındaki ilişkinin analiz edilmesi kaçınılmaz olmuş ve bununla alakalı geniş bir literatür oluşmuştur. Konvansiyonel bankalar bu hususta sıkça incelenmiş olmasına rağmen katılım bankalarının sağladığı finansmanın sanayi üretimindeki etkileri, sektördeki payının küçük olmasından da kaynaklı olarak daha kısmi olmuştur.

Bu çalışmada, katılım bankaları tarafından kullanılan ticari kredilerin sanayi üretim endeksi üzerindeki ilişkisi araştırılmıştır. Çalışmada Ocak 2005 ile Temmuz 2023 dönemine ilişkin aylık veriler test edilmiştir. Çalışmada ele alınan döneme ait zaman serilerine Philips-Perron birim kök testi yapılmıştır. Sanayi sektörü endeksi ve alt sektör endeksi değişkenlerin düzeyde durağan oldukları anlaşılmıştır. Öte yandan sanayi sektörü ve alt sektörler ticari kredileri değişkenleri birinci farkta durağan olmaktadır. Asimetrik bulgulara ait negatif ve pozitif şoklar ise birinci farkları alındığında durağan hale gelmektedir.

Çalışma bulguları, katılım bankaları tarafından verilen kredilerin sanayi üretim endeksi üzerinde özellikle finansal baskının arttığı 2008 finansal kriz dönemlerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu periyotta katılım bankalarının kredi hacimlerinin azaldığı ve sanayi üretim endeksinin de düştüğü gözlenmiştir. Özellikle son bir kaç yıldır, Covid-19’a bağlı olarak küresel olarak daralan ekonomide Türkiye’nin ekonomik göstergeleri olumsuz seyretmektedir. Pandemi ile birlikte, sanayi üretimi kayda değer bir şekilde azalırken, banka kredilerinin arttığı gözlenmektedir. Ancak hem pozitif bileşenler hem de negatif bileşenler arasında bu dönem sonrasında zamana bağlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Bunun temel sebebi, pandemi sonrasında bozulan ekonomiyi tekrar iyileştirmek adına takip edilen ekonomi politikalarının etkisi ile işletmeler finansman ihtiyaçlarını karşılamak için kamu

finansmanına yönelmişlerdir. Kamu bankaları kanalıyla daha ucuza krediler verilmiş ve rekabetten kaynaklı olarak bir süre bazı ticari bankalar da buna ayak uydurmuşlardır. Bu dönemler de katılım bankalarının kullandığı kredi hacmi her ne kadar artsa da bu durumun sanayi üretiminde bir etkisi olmamıştır. Bu durum katılım finansmanının Türkiye'nin sanayi üretimi üzerindeki etkisinin nispeten sınırlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu bulgumuz, Türkiye özelinde güncel bir çalışma olan Referans [20] ile benzerlik göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda Türkiye özelinde ele alınan bir ana ve üç alt sektör dışındaki sektörler de analize dahil edilebilir. Ayrıca, İslam ülkelerinin verileri bir araya getirilerek, panel veri setleri üzerinden mukayeseli bir analiz yapılabilir.

Yazar Katkıları: Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunmuştur.

Finans: Bu çalışma, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012224437 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Etik: Bu çalışma TÜBİTAK 2209 proje kapsamında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada tasarlanan modeller ikincil veriler ile analiz edildiğinden etik kurul onayı kapsamında değerlendirilmemiştir.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynakça

- [1] S. Yüksel and İ. Canöz, "Does Islamic Banking Contribute to Economic Growth and Industrial Development in Turkey?," *İKONOMİKA*, vol. 2, no. 1, pp. 93–102, May 2017.
- [2] H. Furqani and R. Mulyany, "Islamic banking and economic growth: Empirical evidence from Malaysia," *Journal of Economic Cooperation & Development*, vol. 30, no. 2, pp. 59–74, Jan. 2009.
- [3] M. Abduh and N. T. Chowdhury, "Does Islamic banking matter for economic growth in Bangladesh," *Journal of Islamic Economics, Banking and Finance*, vol. 8, no. 3, pp. 104–113, Sep. 2012.
- [4] M. Abduh and M. Azmi Omar, "Islamic banking and economic growth: the Indonesian experience," *International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management*, vol. 5, no. 1, pp. 35–47, Mar. 2012.
- [5] I. Setiawan, "The Role of Islamic Banking in the Development of Economic Sectors in Indonesia," *International Journal of Applied Business Research*, vol. 1, no. 02, pp. 88–99, Jul. 2019.
- [6] M. S. Sarwer, M. Ramzan and W. Ahmad, "Does Islamic banking system contributes to economy development," *Global Journal of Management and Business Research*, vol. 13, no. 2, pp. 60–68, 2013.
- [7] M. I. Tabash and R. S. Dhankar, "Islamic Banking and Economic Growth: An Empirical Evidence from Qatar," *Journal of Applied Economics and Business*, vol. 2, no. 1, pp. 51–67, Apr. 2014.
- [8] M. S. Abd. Majid and S. H. Kassim, "Assessing the contribution of Islamic finance to economic growth," *Journal of Islamic Accounting and Business Research*, vol. 6, no. 2, pp. 292–310, Sep. 2015.
- [9] I. M. Lawal and U. B. Imam, "Islamic finance and economic growth: Empirical evidence from Nigeria," *Journal of Economics and Sustainable Development*, vol. 7, no. 16, pp. 99–108, 2016.
- [10] N. Hachicha and A. Ben Amar, "Does Islamic bank financing contribute to economic growth? The Malaysian case," *International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management*, vol. 8, no. 3, pp. 349–368, Aug. 2015.
- [11] M. Wahab, O. Mufti and M. S. Murad, "The study of co-integration and causal link between Islamic Bank financing and economic growth," *Abasyn University Journal of Social Sciences*, vol. 9, no. 2, pp.134–146, Jan. 2016.
- [12] K. Bougatef, M. S. Nakhli, and O. Mnari, "The nexus between Islamic banking and industrial production," *ISRA International Journal of Islamic Finance*, vol. 12, no. 1, pp. 103–114, Mar. 2020.
- [13] S. A. Solarin, S. Hammoudeh, and M. Shahbaz, "Influence of economic factors on disaggregated Islamic banking deposits: Evidence with structural breaks in Malaysia," *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, vol. 55, pp. 13–28, Jul. 2018.
- [14] M. A. Shah, A. Rashid and M. Khaleequzzaman, "Capital Structure Decisions in Islamic Banking: Empirical Evidence from Pakistan," *Journal of Islamic Banking & Finance*, vol. 34, no. 2, pp. 88–103, Jun. 2017.
- [15] S. Kassim, "Islamic finance and economic growth: The Malaysian experience," *Global Finance Journal*, vol. 30, pp. 66–76, May 2016.
- [16] N. Setyowati, "Macroeconomic Determinants of Islamic Banking Products in Indonesia," *Economics*, vol. 7, no. 2, p. 53, Jun. 2019.
- [17] E. Ergeç and Ö. Selçuk, "Causality Relationship Between Banking & Industrial Production: Comparing Islamic & Conventional Banking in Turkey," *Equinox Journal of Economics Business and Political Studies*, vol. 7, no. 2, pp. 64–81, Sep. 2020.
- [18] M. Çalış and F. Kaya, "The Impacts of Participation Banks on Real Economy: A Case of Turkey," *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 22, no. 2, pp. 765–781, Jul. 2022.
- [19] S. Akin, S. Duramaz, and İ. E. Karaa, "Do Participation Banking Have an Alternative Role in the Monetary Transmission Mechanism? A Nonlinear Approach," *Academic Review of Humanities and Social Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 275–297, Dec. 2022.

-
- [20] H. Kazak, B. Uluyol, A. T. Akcan and M. Iyibildiren, "The impacts of conventional and Islamic banking sectors on real sector growth: Evidence from time-varying causality analysis for Türkiye," *Borsa İstanbul Review*, vol. 23, pp. 15-29, Sep. 2023.
- [21] B. Tekin, B. "Empirical Reflections of the Nexus between Dual Banking System Credits and Industry Production in Turkey: Cointegration and Causality Analysis," *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 595-623, Dec. 2021.
- [22] C. W. J. Granger, "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods," *Econometrica*, vol. 37, no. 3, p. 424, Aug. 1969.
- [23] R. F. Engle and C. W. J. Granger, "Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing," *Econometrica*, vol. 55, no. 2, p. 251, Mar. 1987.
- [24] C. W. J. Granger, "Some recent development in a concept of causality," *Journal of Econometrics*, vol. 39, no. 1-2, pp. 199-211, Sep. 1988.
- [25] H. Y. Toda and T. Yamamoto, "Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes," *Journal of Econometrics*, vol. 66, no. 1-2, pp. 225-250, Mar. 1995.
- [26] P. K. Wesseh and B. Zoumara, "Causal independence between energy consumption and economic growth in Liberia: Evidence from a non-parametric bootstrapped causality test," *Energy Policy*, vol. 50, pp. 518-527, Nov. 2012.
- [27] R. S. Hacker and A. Hatemi-J, "Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: theory and application," *Applied Economics*, vol. 38, no. 13, pp. 1489-1500, Jul. 2006.
- [28] A. Hatemi-J, "Asymmetric causality tests with an application," *Empirical Economics*, vol. 43, no. 1, pp. 447-456, May 2011.
- [29] J. H. Stock and M. W. Watson, "Evidence on Structural Instability in Macroeconomic Time Series Relations," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 14, no. 1, p. 11, Jan. 1996.
- [30] A. Barnett, H. Mumtaz, and K. Theodoridis, "Forecasting UK GDP growth and inflation under structural change. A comparison of models with time-varying parameters," *International Journal of Forecasting*, vol. 30, no. 1, pp. 129-143, Jan. 2014.
- [31] N. Groenewold and P. Fraser, "Time-varying estimates of CAPM betas," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 48, no. 4-6, pp. 531-539, Jun. 1999.
- [32] R. Inglesi-Lotz, M. Balcilar, and R. Gupta, "Time-varying causality between research output and economic growth in US," *Scientometrics*, vol. 100, no. 1, pp. 203-216, Feb. 2014.
- [33] P. Perron, "The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis," *Econometrica*, vol. 57, no. 6, p. 1361, Nov. 1989, doi: 10.2307/1913712.
- [34] C. F. Tang, "The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis," *The IUP Journal of Public Finance*, vol. 4, no. 4, pp. 29-38, Nov. 2008.
- [35] V. Yılanıcı and Ş. Bozoklu, "Türk Sermaye Piyasasında Fiyat ve İşlem Hacmi İlişkisi: Zamanla Değişen Asimetrik Nedensellik Analizi," *Ege Akademik Bakış (Ege Academic Review)*, vol. 14, no. 2, pp. 211-211, Apr. 2014, doi: 10.21121/eab.2014218052.
- [35] E. Beşoluk and A. Keskin, "Türkiye’de Doğrudan Yabancı Yatırımların Belirleyicileri: Hacker ve Hatemi-J Nedensellik Analizi," *Journal of Emerging Economies and Policy*, vol. 8, no. 1, pp. 266-284, June 2023,
- [37] C. W. J. Granger and G. Yoon, "Hidden Cointegration," *SSRN Electronic Journal*, 2002, **Published**, doi: 10.2139/ssrn.313831.

Review Article

Received: date: 04.03.2024

Accepted: date: 03.06.2024

Published: date: 06.30.2024

Meslek Hastalıkları ve İş Kazaları ile İlgili İstatistiksel Çalışmalar: Literatür Taraması

Metin Berk Çetin¹, Yavuz Özdemir^{2*}, Mustafa Yıldırım³, Mehmet Alp Aytekin⁴

¹İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü; c.metinberk@hotmail.com

²İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü; yavuz.ozdemir@istun.edu.tr

³İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü; mustafa.yildirim@istun.edu.tr

⁴İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü; mehmet.aytekin@iuc.edu.tr

Orcid: 0009-0006-5935-4091¹, Orcid: 0000-0001-6821-9867², Orcid: 0000-0001-5709-4421³, Orcid: 0000-0003-3074-8290⁴

*Correspondence: yavuz.ozdemir@istun.edu.tr

Öz: İş kazası ve meslek hastalıkları, çalışma yaşamında önemli bir sorundur. Bu sorunların önlenmesi ve azaltılması için istatistiksel verilerden yararlanmak önemlidir. İstatistik, iş kazası ve meslek hastalıklarının sayısal olarak ifade edilmesini sağlar. Bu veriler, sorunların hangi sektörlerde, hangi mesleklerde, hangi yaş gruplarında ve hangi cinsiyetlerde daha fazla olduğunun belirlenmesine yardımcı olur. Bu bilgiler, sorunların önlenmesi ve azaltılması için alınacak önlemlerin belirlenmesinde kullanılır. Bu çalışmada meslek hastalıkları ve iş kazaları ile ilgili istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmış çalışmalar incelenmiştir. İstatistiksel çalışmaların performans izleme, mevcut durum hakkında yorumlar yapma ve gelecek hakkında önlem alma gibi konularda yol gösterici olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İş kazası, meslek hastalıkları, İstatistik

Statistical Studies on Occupational Diseases and Occupational Accidences: Literature Review

Abstract: Occupational accidents and occupational diseases are an important problem in working life. It is important to utilize statistical data to prevent and reduce these problems. Statistics provides a numerical expression of occupational accidents and occupational diseases. These data help to determine in which sectors, in which occupations, in which age groups and in which genders the problems are more common. This information is used to determine the measures to be taken to prevent and reduce the problems. In this study, studies on occupational diseases and occupational accidents using statistical methods were examined. Statistical studies have been found to be guiding in issues such as performance monitoring, making comments on the current situation and taking precautions for the future.

Keywords: Occupational accidents, occupational diseases, Statistics

1. Giriş

Meslek hastalığı, belirli bir meslek veya işte çalışan bireylerin maruz kaldıkları riskler ve etkenler nedeniyle ortaya çıkan sağlık sorunlarıdır. Bu hastalıklar genellikle işle ilgili faktörlere maruz kalmakla ilişkilidir ve zaman içinde gelişebilir. Meslek hastalıkları, işyerindeki kimyasal maddelere, fiziksel etmenlere, biyolojik tehlikelere veya ergonomik sorunlara maruz kalmakla ilişkili olabilir.

İş kazası, bir kişinin çalışma ortamında meydana gelen ve genellikle beklenmeyen, istenmeyen bir olay sonucunda ortaya çıkan yaralanma, hastalık veya ölüm durumunu ifade eden bir terimdir. İş kazaları, bir kişinin işyerinde faaliyet gösterirken maruz kaldığı tehlikelerin sonucu olarak ortaya çıkabilir. Bu tehlikeler, işyerinin doğası, kullanılan ekipmanlar, çalışma koşulları veya iş süreçleri gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.

Her meslek hastalığının ve iş kazasının belirli semptomları ve risk faktörleri vardır. Bu nedenle, iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınarak meslek hastalıklarının önlenmesi veya erken teşhisi çok önemlidir. İş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulması, kişisel koruyucu ekipmanların kullanılması ve işyeri koşullarının iyileştirilmesi gibi önlemler, meslek hastalıklarının riskini azaltabilir. Ayrıca işçilerin düzenli olarak sağlık kontrolleri yapmaları da önemlidir. Meslek hastalıklarıyla ilgili istatistiksel araştırmalar, bu tür hastalıkların yaygınlığını, etkilenen meslek gruplarını, risk faktörlerini ve önleme çabalarını anlamak için önemlidir. Bu araştırmalar, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının ve uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlar.

İstatistikler, belirli bir zaman diliminde (genellikle yıllık) meydana gelen iş kazası sayısını gösterir. Bu veriler, işyerindeki kaza sıklığını değerlendirmek açısından önemlidir. Ayrıca, kazaların şiddeti ve sonuçları (hafif yaralanmalar, ciddi yaralanmalar, ölümler) da istatistiklerle analiz edilebilir. Farklı sektörlerdeki iş kazalarını karşılaştırmak için kullanılabilir. Hangi sektörlerde daha fazla kazanın olduğunu belirlemek, bu sektörlerdeki risk faktörlerini anlamak ve önleyici tedbirler almak için önemlidir. İş kazası istatistikleri, kazaların nedenlerini belirlemek açısından kullanılabilir. Bu, işyerlerindeki potansiyel tehlikelerin ve güvenlik eksikliklerinin tespit edilmesine yardımcı olabilir. Örneğin, belirli bir türde kaza sıklığı arttıysa, bu durumun nedenleri üzerine odaklanılabilir. İstatistikler, alınan önleyici tedbirlerin etkinliğini değerlendirmek için de kullanılabilir. Belirli bir dönemde alınan güvenlik önlemlerinden sonra kazalarda bir düşüş varsa, bu tedbirlerin etkili olduğunu düşünmek mümkündür. Belirli bir işyerindeki çalışan profili üzerinde de analiz edilebilir. Hangi yaş grupları, cinsiyetler veya deneyim seviyelerindeki çalışanların daha yüksek risk altında olduğunu belirlemek, özel güvenlik önlemleri almak için önemlidir. Belirli bir işyerindeki çalışan profili üzerinde de analiz edilebilir.

İstatistiksel analizler, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının oluşturulması ve mevcut politikaların geliştirilmesi için önemli bilgiler sağlar. Ancak, istatistiklerin doğru ve güvenilir olması için doğru veri toplama yöntemlerinin kullanılması ve bu verilerin güncel tutulması gerekmektedir.

2. Literatür Taraması

Mathias ve Morrison 1988 yılında yaptıkları çalışmada 1973-1984 yılları arasında Çalışma İstatistikleri Bürosu Yıllık Mesleki Yaralanmalar ve Hastalıklar Anketinde kaydedilen mesleki deri hastalıklarının genel insidans oranları, sayıları ve oranlarını gözden geçirmiş ve 1984 Yıllık Anketinde kaydedilen mesleki deri hastalıklarının ayrıntılı bir analizini yapmıştır. Bu analiz, bu yüksek risklerden en çok sorumlu olan mesleki faaliyetleri veya maruziyetleri tanımlamak için araştırma çabalarının yönlendirilmesi gereken sektörleri belirlemiştir [1].

Robinson tarafından 1988 yılında yapılan çalışmada birçok bağımsız kaynaktan elde edilen veriler, 1950'lerden 1987 yılına dek Amerika Birleşik Devletleri'nde çalışma çağındaki nüfusla birlikte yaşa göre düzeltilmiş iş göremezlik oranlarının düzenli olarak arttığını göstermektedir. Bu çalışmada, yıllık kuruluş anketlerinden elde edilen federal veriler ve Kaliforniya İşçi Tazminatı raporlama sisteminden elde edilen veriler kullanılarak, işle ilgili yaralanmalar ve akut hastalıklardaki uzun vadeli eğilimler incelenmiştir. James C. Robinson çalışmasındaki veriler İşgücü İstatistikleri Bürosu (BLS) ve Maden Bürosu tarafından işverenlerin gönüllü ve gizli raporlamalarına dayalı olarak toplanmıştır. Bu veriler, sanayi yaralanmalarının gerçek hacmini temsil etmediği gerekçesiyle ciddi şekilde eleştirilse de 1937 ve 1941 yıllarında sadece küçük metodolojik değişikliklerle tutarlı bir seri sunmaktadır. Zamanın herhangi bir noktasında ABD'li işçilerin karşı karşıya kaldığı risk derecesinin ölçümü olarak kusurlu olsa da zaman içindeki eğilimleri yansıtmaktadır [2].

Fabiano vd. 2004 yılında yaptıkları çalışmada, 1995-2000 yılları arasındaki dönemde İtalyan endüstrisinde kaza sıklığı ve çalışan sayısı arasındaki ilişkiye dair bir perspektif sunmaktadır. İncelenen firma sayısı 2,983,753 olup, ölümcül olmayan ve ölümcül yaralanmaların toplam sayısı 3,321,960'a karşılık gelmektedir. Ele alınan zaman aralığında, tüm sanayi sektörlerinde firma büyüklüğü ile yaralanmalar nedeniyle kaybedilen gün sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir

ters ilişki ($p < 0.05$) bulunmuştur. Sıklık endeksi eğilimleri (yaralanma sayısının bir milyon çalışma saatine oranı olarak tanımlanır), toplam yaralanmaların %95,85'ini oluşturan ve ağır vakaları bir büyüklük sırası kadar aşan ağır olmayan kazalar tarafından belirleniyor gibi görünmektedir. Tüm yaralanmalar ele alındığında, yalnızca yüksek derecede yoğunlaşma ile karakterize edilen sanayi sektörlerinde, sıklık endeksi ile firma büyüklüğü arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuştur ($p < 0.001$) ve FI firma büyüklüğü ile ters ilişkilidir. Aksine, hem kalıcı sakatlık içeren kazalar için sıklık endeksi hem de ölümlü kaza sıklık oranı, düşük yoğunlaşma endeksine sahip sektörlerde bile firma büyüklüğü arttıkça azalmaktadır. Sonuçlar, küçük şirketlerde iş güvenliği hizmetlerinin kullanılabilirliğinin azalması ile tutarlıdır ve denetim, güvenlik eğitimi faaliyetleri, eğitim ve bilgilendirmenin yanı sıra küçük ölçekli endüstrileri hedefleyen güvenlik yatırımlarına destek ihtiyacını ortaya koymaktadır [3].

Zuskin vd. tarafından 2004 yılında yapılan çalışma sonucunda İşçiler arasında (kontrollere kıyasla) kronik solunum semptomları prevalansı önemli ölçüde daha yüksek olarak kaydedilmiştir; en yüksek olanlar sinüzit, burun nezlesi ve nefes darlığıdır. Vardiya sırasında kaydedilen akut semptomların prevalansı da yüksektir. Odds oranı, bu solunum bulguları için en önemli risk faktörlerinin sigara kullanımı ve özellikle erkeklerde olmak üzere ilaç endüstrisinde çalışma süresi olduğunu göstermiştir. Solunum fonksiyon testleri, öngörülen Avrupa solunum fonksiyon ölçümlerine kıyasla ölçülen değerlerin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir ($P < 0.01$). Bu durum özellikle FEF50 ve FEF25 için belirgin olup, daha küçük hava yollarında obstrüktif değişikliklere işaret etmektedir [4].

2005 yılında ölümcül ve ölümcül olmayan kasıtsız mesleki yaralanmaların küresel yükünü 2000 yılı için tahmin etmek üzere bir çalışma yapan Concha-Barrientos vd. küresel olarak her yıl 1.000 çalışan başına yaklaşık 3,5 yıllık sağlıklı yaşam süresi kaybedildiği sonucuna ulaşmışlardır. Mesleki risk faktörleri, kasıtsız yaralanmalara bağlı küresel ölüm yükünün %8,8'inden ve bu sonuca bağlı Sakatlığa göre ayarlanmış yaşam yılı, hastalık, sakatlık veya erken ölüm nedeniyle kaybedilen yılların sayısı olarak ifade edilen genel hastalık yüklerinin %8,1'inden sorumlu olduğu teşhisinde bulunmuşlardır [5]. Meksika'daki meslek hastalığı insidansının bazı belirleyicilerini araştırmak için 2005 yılında Idrovo ve Pérez-Núñez, 32 Meksika eyaletinden elde edilen verilerle ekolojik bir çalışma yürütmüşlerdir. Sıradan en küçük kareler regresyonu kullanarak, meslek hastalığı insidansı ile Gini katsayısı, küçük ve ortanca işletmelerin yüzdesi ve göç arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Gelir eşitsizliği ile küçük ve orta ölçekli işletmelerin toplam yüzdesi meslek hastalığı insidansı ile negatif ilişkili bulunmuştur. Meksika'daki meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik "nüfus stratejisi", büyük işletmelerin bağlamlarının meslek hastalıklarının daha yüksek oranda görülmesinin ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu meslek hastalıklarının büyük işletmelerde mi yoksa küçük ve orta ölçekli işletmelerde mi mevcut olan maruziyetlerle ilişkili olduğunu belirlemek için çok düzeyli yaklaşımlar kullanan daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6].

Friedman ve Forst 2007 yılındaki çalışmasında, Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA) kayıt tutma düzenlemelerindeki 1995 ve 2001 yıllarında OSHA kayıt tutma standardındaki önemli değişiklikler ile mesleki yaralanma ve hastalıklardaki eğilim arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. 1992-2003 yılları için Çalışma İstatistikleri Bürosundan elde edilen SOII verileri toplanmıştır. Yazarlar zaman serisi verilerini birleşik nokta regresyon modelleri kullanarak değerlendirmişlerdir. Yaralanma ve hastalık sayılarındaki önemli düşüşler OSHA kayıt tutma kurallarındaki değişikliklerle doğrudan örtüşmekte olduğunu belirtmişlerdir. İstihdam, verimlilik, OSHA uygulama faaliyeti ve örnekleme hatasındaki değişiklikler bu büyük düşüşü açıklamamaktadır. Yazarlar, başlangıç eğimine dayanarak (birleşme noktası regresyon analizi, 1992-4), herhangi bir müdahale olmaması durumunda takip süresi boyunca 407 964 yaralanma ve hastalıkta düşüş beklerken; gerçekte 2,4 milyon yaralanma ve hastalıkta düşüş gözlemlemişlerdir ve bu düşüşün 2 milyonu veya %83'ü OSHA kayıt tutma kurallarındaki değişikliğe atfedebileceğini öne sürmüşlerdir [7].

Hämäläinen tarafından 2010 yılında yapılan çalışmanın temel amacı hesaplama modelleri üretmek olmasına rağmen, araştırma sırasında iki araştırma sorusunun daha ayrıntılı olarak incelendiği birkaç ayrı konu ortaya çıkmıştır: (1) küreselleşmenin iş kazaları üzerindeki etkisi ve (2) rekabet gücünün iş kazaları ve daha sonra iş güvenliği üzerindeki etkisi. Bunlardan ilki literatür ışığında, ikincisi ise basit istatistiksel testler aracılığıyla incelenmiştir [8].

Ramli vd. 2011 yılında yaptığı bu araştırmanın amacı, İSGYS'yi etkileyen temel faktörlerin analizini desteklemek için dışbükey gövde yaklaşımı ile donatılmış olasılıksal regresyonun kullanıldığı bir akıllı

veri analizi (IDA) geliştirmektedir. Bu tür öznel terimler göz önüne alındığında, elde edilen örnekler, üyelik fonksiyonları ile temsil edilen bulanık girdi/çıktı verileri olarak rahatlıkla kabul edilebilir. Çalışma, bu akıllı veri analizi aracını, İSG politikalarının başarılı bir şekilde uygulanmasında etkili faktörleri değerlendirmek ve bu şekilde genel bir hesaplama çabasını azaltmak için bir alternatif olarak sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, İSGYS prosedürünün başarılı bir şekilde uygulanmasını kolaylaştırmak için ilgili birkaç İSGYS etkili faktörün dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir [9].

Szeszenia-Dąbrowska ve Wilczyńska tarafından 2013 yılında yapılan bu araştırmada Polonya'da 1990'larda kaydedilen meslek hastalıklarının sayısı hızla artmış ve tanınan vakaların sayısı bugüne kadar istikrarlı bir şekilde azalması nedeniyle Polonya'da diğer ülkelere kıyasla "az tahmin edilen" seçilmiş patolojilerin eğilimlerini göstermeye karar vermişlerdir. Sunulan veriler, meslek hastalıklarının sosyo-ekonomik faktörlere bağımlılığına ilişkin daha ileri araştırmalar için bir temel oluşturabilir. Analiz için kaynak doküman olarak devlet sağlık müfettişleri tarafından doldurulan ve zorunlu olarak Meslek Hastalıkları Merkezi Kayıtlarına gönderilen Meslek Hastalıkları Bildirim Formları kullanılmışlardır. Bu çalışma, 1998-2011 yılları arasında kronik zehirlenmeler, asbestoz, ses organı hastalıkları, kanserler, viral hepatit, astım ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının görülme sıklığındaki değişiklikleri analiz etmektedir. Çalışmanın sonunda Neonila Szeszenia-Dąbrowska & Urszula Wilczyńska ikilisi 1998 yılında toplam kayıtlı hastalık sayısı 12.017 vaka ile en yüksek seviyeye ulaşmış ve sonraki yıllarda azalarak 2011 yılında 2.562 vakaya düştüğünü gözlemlemiştir. Bu dönemde insidans oranı 100.000 çalışan başına yılda 6 vaka azaldığı sonucuna varmışlardır. Ses organı bozuklukları, işitme kaybı, kronik zehirlenmeler ve viral hepatit vakalarında %90'ı aşan önemli bir düşüş olduğu kanısına varmışlardır [10].

Berberoğlu ve Tokuç'un 2013 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı, fabrika çalışanlarının işle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını ve risk düzeylerini belirlemektir. Bu çalışma, Edirne'deki iki tekstil fabrikasında 381 işçinin katılımıyla gerçekleştirilen kesitsel bir çalışmadır. Veri toplamak için kullanılan anket iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde işçilerin bazı sosyo-demografik özellikleri, çalışma koşulları ve son dört hafta içindeki sağlık sorunları tanımlanmıştır. İkinci bölümde ise Hızlı Üst Ekstremité Değerlendirmesi (RULA) İşveren Değerlendirme çalışma kâğıdı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının tekstil çalışanları arasında yaygın bir sorun olduğunu ortaya koymuşlardır. İşverenlerin, işleri veya iş istasyonlarını uygun şekilde tasarlayarak ve uygun araçları veya ekipmanları seçerek KİSH tehlikelerini önleyebileceklerini belirtmişlerdir [11].

Karttunen ve Rautiainen tarafından 2013 yılında yapılan bu retrospektif kohort çalışmasının amacı, tarımda tazmin edilen mesleki yaralanma ve hastalıkların insidansını ve risk faktörlerini değerlendirmektir. Çalışma popülasyonu, zorunlu işçi tazminat sigortası kapsamındaki 78.679 Finlandiyalı çiftçi, eş ve maaşlı aile üyesinden oluşmaktadır. Poisson regresyon analizleri kullanılarak, yaralanmalar için 1.07 ila 3.08 ve hastalıklar için 1.45 ila 3.01 arasında değişen göreceli risk tahminleri ile çeşitli kişisel ve çiftlikle ilgili risk faktörleri belirlenmiştir. Geniş bir boylamsal veri setinden tespit edilen bu risk faktörleri, mesleki yaralanma ve hastalık riski en yüksek olan çiftçilere yönelik müdahalelerin geliştirilmesi ve hedeflenmesi için dikkate alınabileceği ileri sürülmüştür [12].

Waqas vd. tarafından 2014 yılında yapılan çalışma, Lahor'daki tekstil endüstrilerinde iş sağlığı ve güvenliğinin mevcut durumunu değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma aynı zamanda endüstrilerdeki sağlık ve güvenlikle ilgili konuları risk değerlendirmeleriyle birlikte analiz etmeye ve çalışanların sağlığını etkileyen işle ilgili hastalıkları değerlendirmeye odaklanmıştır. Sonuçlar çoğunlukla gürültü seviyesinin, aydınlatmanın seviyesi, nem seviyesi ve baca emisyonu değerleri NEQS ve OSHA değerleri dahilindeydi. Pearson ki-kare, katılımcının etkilenen kısmı ile çalışma bölümü, yaralanmanın niteliği ve çalışma bölümü arasında anlamlı ($p = 0.05$) bir ilişki olduğunu göstermiştir [13].

Kumar ve Dharanipriya'nın 2014 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı, Güney Hindistan bölgesindeki kaynakçılar arasında yaralanmaların yaygınlığını, örüntüsünü ve olası ilişkili risk faktörlerini değerlendirmektir. Güney Hindistan kıyısındaki Puducherry'de metal endüstrisinde çalışan 209 kaynakçı arasında kesitsel bir çalışma yürütülmüştür. Son 1 yıl içinde meydana gelen tüm yaralanma türlerine ilişkin veriler önceden tasarlanmış bir anket uygulanarak toplanmıştır. Yaş, işe başlamadan önceki eğitim, deneyim, iş süresi, tütün çiğneme, alkol kullanımı ve koruyucu önlemlerin kullanımını içeren yaralanmalarla ilişkili çeşitli risk faktörleri standart anket kullanılarak değerlendirilmiştir.

Veriler tek değişkenli ve çoklu lojistik regresyon analizi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak kaynakçılar arasındaki yaralanmaların bu alanda önemli bir sağlık sorunu olduğu ve genç yaş grupları için kurumsal eğitimin güçlendirilmesine yönelik stratejilerin, yaralanma yükünün azaltılmasına yardımcı olabileceği ileri sürülmüştür [14].

Cha ve Cho 2014 yılında yaptıkları bu çalışmada, yerli Koreli işçilerle karşılaştırıldığında göçmen işçilerde mesleki yaralanma ve hastalıkların göreceli riskini araştırmıştır. 2005-2007 döneminde Kore'deki göçmen işçiler arasında işle ilgili yaralanma ve hastalıkların analizi, ülke çapındaki veriler kullanılarak her bir sanayi alt sektöründe yapılmıştır. Göçmen işçiler için ölümcül ve ölümcül olmayan mesleki yaralanma riskleri Koreli meslektaşlarına göre oldukça yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Göçmen işçilerin büyük bir kısmı, Koreli meslektaşlarına kıyasla daha yüksek iş güvenliği ve sağlığı risklerine maruz kalmakta olduğu; bu da göçmen işçilerin iş güvenliği ve sağlığının Koreli işçilerden daha fazla dikkat gerektirdiği ortaya konulmuştur [15].

Godderis vd. 2015 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı İSG verilerini araştırma için kullanılabilir hale getirmek ve sektöre özgü sağlık sorunlarını araştırmak için bir 'veri ambarı' oluşturmaktır. Tıbbi veriler çıkarılmış, dönüştürülmüş ve veri ambarına yüklenmiştir. Doğrulamanın ardından, 2010-2014 yılları arasında toplanan yaşam tarzı, kategorize edilmiş ilaç kullanımı, ICD-9-CM kodlu hastalık devamsızlıkları ve sağlık şikayetlerine ilişkin veriler, yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi (BMI) ve muayene yılı dikkate alınarak istihdam sektörleri arasındaki oranları karşılaştırmak için lojistik regresyon ile analiz edilmiştir [16].

Abbas 2015 yılında yaptığı çalışmada cinsiyet, bölge, istihdam durumu, endüstri türleri, meslek grupları, yaralanma türleri, yaralanan vücut bölümleri ve alınan tedavi gibi farklı kriterler açısından IEP eğilimlerini analiz etmek için referans yıllara ve referans gruplara dayalı endeks değer yöntemi kullanmıştır. Farklı mesleki değişkenlerin birbiriyle ilişkisini araştırmak için Pearson korelasyon katsayısı analizi de yapmıştır. Pearson korelasyon katsayısı analizi sonucunda cinsiyet, bölge, alınan tedavi, meslek grupları ve çalışma durumu açısından IEP'nin artmış olmasının özellikle kırsal bölgelerde sağlık tesislerinin yetersizliği ile açıklanabileceğini belirtmiştir [17].

Turkkan ve Pala tarafından 2016 yılında yapılan bu çalışmanın amacı, insidans mortalite ve fatalite/kaydedilen tüm yaralanma oranları gibi epidemiyolojik kriterleri kullanarak Türkiye'deki mesleki yaralanmaların eğilimini değerlendirmektir. Güvenlik ve sağlık verilerini Türkiye Sosyal Sigortalar Kurumu (1988-2006) ve Sosyal Güvenlik Kurumu (2007-2011) Yıllık İstatistik Kitaplarından elde etmişlerdir. Resmi verilerden elde edilen sonuçlar, toplam istihdamın artmasına rağmen mesleki yaralanma sayısının, insidans ve ölüm oranlarının azaldığını göstermiştir. Sonuçlar aynı zamanda mesleki ölüm/kayıt altına alınan tüm yaralanma oranının arttığını göstermektedir. Kaydedilen her 1000 yaralanma başına ölüm oranı 1988'de 8,6 iken 2011'de 25,5'e yükselmiştir. Her iş gününde ortalama beş kişi mesleki yaralanmalar nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Tartışma ve sonuçlar. Ölüm/kayıt altına alınan tüm yaralanma oranı (1000 mesleki yaralanma başına düşen ölümlü vaka sayısı) bir ülkedeki yaralanma oranının önemli bir göstergesidir. Mesleki yaralanma ve hastalık gözetim sistemleri, mesleki yaralanma ve hastalıkların yönetimi ve azaltılması için kritik bir kaynak oluşturmaktadır [18].

Gopang vd. 2017 yılında yaptıkları çalışmada iş sağlığı ve güvenliği önlemleri (İSGÖ) ile küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) performansı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla ampirik bir çalışma yürütmüştür. Anket verileri S.I.T.E. Kotri, Sindh Pakistan'da bulunan 35 KOBİ'den anket yoluyla toplanmıştır. Toplanan verilerin uygun örnekleme yapılmış ve SPSS (sosyal bilimler için istatistiksel paket) yazılımı kullanılarak iki aşamada analiz edilmiştir. İlk olarak, verilerin güvenilirliği Cronbach's alpha katsayısı yardımıyla kontrol edilmiş ve 0.80 olarak bulunmuştur; bu da iyi ve tutarlı olduğunu göstermektedir. Daha sonra, tanımlayıcı istatistikler (ortalama ve standart sapma) ve ardından çıkarımsal istatistik teknikleri (Pearson korelasyonu ve basit regresyon) kullanılmıştır. Sonuçlar, İSGY'ler ile KOBİ'lerin performansı arasında orta düzeyde pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Bu da İSGY'lerin gerektiği gibi uygulanmadığını ve bunun da KOBİ'lerin performansını etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle; Pakistanlı KOBİ'lerin İSGY'lerin düzgün bir şekilde uygulanmasına ciddi bir şekilde dikkat etmeleri gerekmektedir [19].

Özay ve Çoşkun'un 2017 yılında yaptığı bu çalışmasının amacı, Türkiye'de resmi kayıtlara geçmiş iş kazası verilerini çeşitli iş kazası türlerini kapsayacak şekilde analiz etmektir. 2003-2015 yılları arasındaki verileri içermektedir. Bu çalışma ile Türkiye'nin iş sağlığı ve güvenliği konusundaki davranışlarına bir bakış açısı getirilmesi amaçlanmaktadır. Özay ve Çoşkun bu çalışmada, Türkiye

Cumhuriyeti Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) istatistik yaylığı kullanmıştır. Bu veriler yıllık olarak düzenlenmiş ve trend değerlendirilmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda iş kazası sayıları 2003-2012 yılları arasında artış ve azalış şeklinde dalgalanmalar gösterdiği bulgusuna erişmişlerdir [20].

Salminen vd. 2017 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı, Finlandiyalı çalışanlardan oluşan geniş ve temsili bir örneklemede acelecilik ve iş kazası arasındaki ilişkiyi incelemektir. Nihai çalışma grubu, yaşları 25 ila 64 arasında değişen ve halen çalışmakta olan 12 926 çalışmanı içermektedir. Çalışma sonucunda oldukça sık veya çok sık aceleyle çalışan çalışanların (%25), daha seyrek aceleyle çalışanlara göre (%8, $p < 0,001$) önemli ölçüde daha sık iş kazası geçirdiği sonucuna ulaşılmıştır. İş yerinde çok fazla stres yaşamamanın da mesleki yaralanma ile bağlantılı olduğu ortaya konmuştur (OR = 2.80, %95 CI 1.13 ila 6.95). İş yerinde olumsuz duygular hissetmenin acelecilikle ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (OR = 3.53, %95 GA 1.54 ila 8.11). Bu çalışma, acelecilik ve mesleki yaralanmalar arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir [21].

Swiatkowska ve Hanke 2018 yılında yazdığı bu makalenin amacı, 2009-2016 yılları arasında Polonya'da sağlık ve sosyal hizmet çalışanları arasında meydana gelen meslek hastalıklarına ilişkin istatistiksel verileri sunmaktır. Bu meslek grubuna ait bir hastada meslek hastalığı vakası teşhis edildiğini belgeleyen ve Meslek Hastalıkları Merkezi Kayıtları tarafından alınan tüm kartlar çalışmanın temelini oluşturmuştur. Veriler mutlak sayılar ve insidans oranları olarak sunulmuştur. Analizde hastalık kategorileri, bölgeler ve meslekler dikkate alınmıştır. Meslek hastalıklarının toplamda ve en sık görülen kategorilerde görülme sıklığı azalmaya devam etmiştir. Düşüşün nedenlerinden biri, daha modern alet ve cihazların kullanılmasının yanı sıra riskler hakkında daha fazla bilgi sahibi olunması ve uygun prosedürlerin kullanılmasından kaynaklanan çalışma koşullarının iyileştirilmesi olduğu belirtilmiştir [22].

Oksa vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmanın amacı Finlandiya'da 1975-2013 yılları arasında görülen ve şüphelenilen meslek hastalığı vakalarının görülme sıklığındaki eğilimleri, sektörlere göre farklılıklar da dahil olmak üzere araştırmak ve görülme sıklığındaki değişiklikleri etkileyen faktörleri tanımlamaktır. Yaptıkları çalışma sonucunda OD'lerin yıllık ortalama oranları yıldan yıla değişiklik göstermiştir. Toplam sayı 1975 yılında 25.0/10 000 çalışan iken 2013 yılında 20.1/10 000 çalışan olmuştur. Tarama kampanyaları ve mevzuat değişiklikleri geçici artışlara neden olmuştur. Finans sektörü referans alındığında (1,0), sanayi sektörüne göre en yüksek insidans oranları madencilik ve taş ocaklığı (9,87; %95 GA 8,65 ila 11,30), inşaat (9,11; %95 GA 9,98 ila 10,43), imalat (9,04; %95 GA 7,93 ila 10,36) ve tarım (8,78; %95 GA 7,69 ila 10,06) sektörlerindedir. 2005'ten itibaren belirgin bir azalma eğilimi söz konusudur: insidanstaki ortalama yıllık değişim örneğin tarımda -%9,2, ulaşırmada -%10,3 ve inşaat -%4,7'dir. Yıllık ortalama düşüş en fazla üst ekstremitelerde zorlanma yaralanmalarında olmuştur (-%11,1) [23].

2019 yılında Islattı tarafından hazırlanan Prof. Dr. Agah Sinan ÜNSAR tarafından danışmanlığı yapılan bu tez çalışmasının amacı; iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla ilgili alan yazını taranması sonucu kavramsal arka planın oluşturulmasına bağlı olarak Türkiye örneğini konu alan SGK istatistiklerine dayalı veri araştırmasının ve analizinin yapılmasıyla ülkemizin bu konudaki durumunun ve iş sağlığı ve güvenliği yasal süreç yönetme, uygulama, izleme ve değerlendirme kapasitesinin tespit edilerek bir dizi sonuçlara ulaşılmasıdır [24].

Leinonen vd. 2019 yılında yaptıkları çalışmada mesleki rehabilite edilenler ve eşleştirilmiş kontroller hakkında ülke çapında zengin veriler kullanılarak, mesleki rehabilitasyonun etkinliğini değerlendirmek için mesleki rehabilitasyon öncesi ve sonrasında işe katılımdaki uzun vadeli değişiklikleri incelemiştir. Temsili Finlandiya kayıt verileri, 2008-2010 yılları arasında mesleki rehabilitasyona başlayan kas-iskelet sistemi ve zihinle ilgili iş göremezlik geçmişi olan 30-55 yaş arası 3199 yeni istihdam edilmiş bireyi (müdahale grubu) ve 3199 eğilim puanı eşleştirilmiş rehabilite edilmemiş bireyi (kontrol grubu) incelemek için kullanılmıştır. Kas-iskelet sistemi veya zihinle ilgili iş göremezlik sonrası mesleki rehabilitasyon, işe katılım üzerinde mütevazı bir etkinlik göstermiştir [25].

Xiang vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada Güney Avustralya'da işle ilgili yaralanmaların yükünün belirlenmesini amaçlamıştır. Güney Avustralya'da işle ilgili yaralanmaların yükünü karakterize etmek için 2000-2014 yılları arasında SafeWork Güney Avustralya'dan işçi tazminat talep verileri elde edilmiştir. Yaş, cinsiyet, meslek, sektör ve yaralanmanın niteliği ve mekanizmasına göre işle ilgili yaralanmaların yükünü araştırmak için tanımlayıcı analizler yapılmıştır. Yaralanma maliyetlerini ve kaybedilen iş günlerini sektöre ve mesleğe göre karşılaştırmak için Dunn's testi kullanılmıştır. Yaş-

yaralanma maliyeti ilişkisini araştırmak için sıradan doğrusal regresyon kullanılmıştır. İşle ilgili yaralanma oranları çoğu sektörde düşmekte olduğunu, ancak bazı çalışanların, özellikle de toplum hizmetleri sektöründeki genç erkek teknisyenler ve işçilerin daha yüksek risk altında kalmaya devam etmekte olduğunu belirlemişlerdir. İşçi sağlığı ve güvenliğine ilişkin zorluklar arasında yaşlanan işgücü, araç kazaları ve yeni ve yabancı uyruklu işçiler arasındaki ciddi yaralanmalar yer almakta olduğunu tespit etmişlerdir [26].

Korkusuz vd. tarafından 2020 yılında yapılan bu çalışmanın amacı, ÇKKV yöntemlerini kullanarak sağlık sektörü için birden fazla kurum için hızlı sonuç verebilen, objektif ve pratik bir İSG performans ölçüm yöntemi geliştirmektir. Yapılan çalışma sonucunda ilk olarak iş kazası istatistikleri ve risk analizi istatistikleri en önemli güvenlik göstergeleri olduğu kanısına varılmıştır. Çalışma sonucunda GRA ve PROMETHEE sonuçları arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Son olarak, İSG performansı ile hastanelerin diğer özellikleri (hastane türü, ISO 9001 sertifikası ve İSG departmanının kuruluş yılı) arasında korelasyon gözlenmiştir [27].

Dimakis vd. tarafından 2020 yılında yapılan bu prospektif çalışmanın amacı, Yunan Donanması ve Yunanistan'ın Skaramanga kentindeki Hellenic Shipyard SA'da (HSY) çalışan bu gruplarda işitme kaybı prevalansını araştırmak ve işe bağlı işitme kaybı ile tehlikeli gürültü seviyelerinin yanı sıra diğer bireysel faktörler arasındaki korelasyona bakmaktır. 2015-17 yılları arasında, 23-30 yaş arası 120 beyaz ve mavi yakalı erkek çalışana sosyo-demografik bilgiler, eğitim düzeyi ve günlük alışkanlıklarla ilgili sorular içeren çoktan seçmeli anketler uygulanmış ve odyogramları yapılmıştır. İstatistiksel analiz SPSS v.15 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Savaş kruvazörü çalışanlarında işitme kaybı, mesleki gürültü ve kafein, sigara içme ve eğitim düzeyi gibi bireysel faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, tersane çalışanlarında işitme kaybı (HL), mesleki gürültü ile alkol ve kafein tüketimi, sigara içme ve eğitim düzeyi arasında bir ilişki gösterilmiştir. Daha yüksek bir HL düzeyi, daha yüksek mesleki gürültü düzeyleri, daha düşük eğitim düzeyi ve daha fazla miktarda kafein, alkol ve sigara tüketimi ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Beslenme alışkanlıkları, her iki çalışan tipinde de istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde HL ile ilişkilendirilmemiştir [28].

Dulon vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada sağlık hizmetleri ve sosyal refah alanında mutfak çalışanları arasında işe ilgili yaralanmaları ve meslek hastalıklarını incelemişlerdir. Analiz için Alman Sağlık ve Refah Hizmetleri Sosyal Kaza Sigortası Kurumundan (BGW) alınan rutin verileri kullanmışlardır. Mutfak asistanı veya aşçı olarak çalışan ve 2008 ile 2017 yılları arasında BGW'ye bir iş kazası veya şüpheli bir meslek hastalığı bildirilen sigortalılar dahil edilmiştir. Sonuçlar meslek grupları için betimsel olarak tanımlanmış ve grup farklılıkları ki-kare testi kullanılarak analiz edilmiştir. Kesi yaraları ve tökezleme kazaları da diğer yazarlar tarafından mutfak çalışanları arasında en sık görülen kazalar olarak tanımlanmıştır. Sağlık hizmetlerinde mutfak çalışanları arasında görülen meslek hastalıklarının çoğu deri hastalıklarıdır ancak benzer yaygınlık oranları başka yazarlar tarafından bildirilmemiştir. Buna karşılık, omuzlarda veya ellerde kas-iskelet sistemi semptomlarının yüksek prevalansı bildirilmiş olup, mevcut verilerde buna ilişkin bir kanıt bulunamamıştır [29].

Gülen vd. 2022 yılında yaptıkları bu çalışmada hemşirelerin çalışma ortamındaki risklere yönelik tutumlarını etkileyen faktörlerin incelenmesini amaçlamıştır. Tanımlayıcı tipteki bu çalışma bir kamu hastanesi, üniversite hastanesi ve özel hastanede çalışan 338 hemşire ile yürütülmüştür. Veriler Kişisel Bilgi Formu ve Hemşirelerin Çalışma Ortamı Risklerine Yönelik Tutumları Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Bulgular: Hemşirelerin çalışma ortamındaki risklere karşı olumlu tutuma sahip oldukları bulunmuştur. Regresyon analizi, hemşirelerin riske yönelik tutumlarının kurum, cinsiyet, birime özgü risk yönetimi eğitimine erişim, geçmişte kesici delici alet yaralanması deneyimi, risklerin kaçınılmaz olduğu inancı nedeniyle riskleri kabul etme, iş arkadaşlarından şiddet görme, biyolojik tehlikelere maruz kalma ve risk önlemlerini almayı ihmal etme durumlarından etkilendiğini göstermiştir [30].

Aksoy vd. 2022 yılında yaptığı bu araştırmanın amacı, doğumhanelerde çalışan ebelerin kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının mesleki yaşam kalitesine etkisini belirlemektir. Bu tanımlayıcı çalışma, doğumhanelerde çalışan ve bebek doğurtmuş 88 ebe ile yürütülmüştür. Veriler Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) ve Professional Quality of Life Scale (ProQOL R-IV) kullanılarak toplanmıştır. Veriler IBM SPSS V23 ile MANOVA ve yol analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Ebelerin %80,7'si son bir yıl içinde belinde ağrı olduğunu bildirmiştir. NMQ ve ProQOL R-IV için Path analizi sonucuna göre, sadece 12 aylık engellilik ile tükenmişlik arasındaki path katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0.012$). Çok değişkenli analiz, bekar ebelerin evli olanlara göre daha yüksek iş

doyumuna sahip olduğunu ($p = 0.030$) ve mesleğini isteyerek seçenlerin diğerlerine göre daha yüksek iş doyumuna sahip olduğunu ($p = 0.043$) göstermiştir [31].

Kataria vd. 2022 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı, ergonomik değerlendirme araçları ve istatistiksel yaklaşım kullanarak küçük ölçekli döküm işçileri arasında kas-iskelet sistemi risk prevalansını analiz etmektir. Bu çalışmada, Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA) ve sanal ergonomi kullanılarak WMSD risk prevalansı incelenmiştir. Ayrıca, risk değerlendirmeleri Mann-Whitney U testi ve Taguchi L25 ortogonal dizi kullanılarak analiz edilmiştir. ANOVA sonuçları, iş istasyonu yüksekliğinin ardından popülasyon yüzdesi ve nesne ağırlığının yanıt parametresi olan L4-L5 omurga sıkışmasını önemli ölçüde etkileyen baskın faktörler olduğunu (p -değeri $< 0,01$); ancak iş istasyonu genişliğinin (p -değeri $> 0,05$) önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir. Bu çalışmanın, işçilerin iş profili arasındaki uyumsuzluğu analiz etmede ve küçük ölçekli dökümhanelerdeki iş istasyonu düzenlerini, iş görevleriyle ilişkili WMSD risk şiddetini en aza indirmeye dayalı olarak yeniden tasarlamada dökümhane sanayicilerine rehberlik edebileceği sonucuna varmışlardır [32].

Jeong ve Kim tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen bu çalışma, COVID-19 pandemisi sırasında kabin ekiplerinin depresyon, anksiyete, stres, durumluk ve sürekli öfke düzeylerinin yanı sıra depresyon ve anksiyete grupları arasındaki temel değişkenler ve genel özelliklerdeki farklılıkları incelemektedir. Bu tanımlayıcı kesitsel çalışmada 161 Koreli kabin ekibinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Veriler tanımlayıcı analiz, bağımsız t-testleri ve ki-kare testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Katılımcıların %62,7'si kadındır ve sırasıyla %52,2 ve %46,6'sı depresyon ve anksiyete gruplarında sınıflandırılmıştır. Depresyon olmayan ve depresyon grupları arasında genel özellikler açısından herhangi bir fark bulunmamıştır. Bununla birlikte, anksiyete grubunda COVID-19 salgını sırasında yaş, medeni durum, pozisyon ve iş türü açısından anlamlı farklılıklar vardı. Ek olarak, anksiyete grubu depresyon grubundan (normal gruptan yaklaşık 4,90 kat daha yüksek) daha yüksek bir öfke durumu (normal gruptan yaklaşık 6,76 kat daha yüksek) göstermiştir [33].

Räsänen vd. 2022 yılında yaptıkları çalışmada, veri setlerindeki sessiz sinyalleri tespit etmelerini sağlayan yöntemler kullanmışlar ve bu yöntemleri iş kazaları gibi önemli toplumsal sorunlarla ilgili gerçek dünya veri setlerinin analizinde uygulamışlardır (ulusal iş kazaları veri tabanını kullanarak). Bir etkinin rastgele olup olmadığını belirlemeye yönelik geleneksel yaklaşım istatistiksel anlamlılık testidir. Burada, olasılık tablolarının açıklanan keşif iş akışını, kullanıcının yüksek kaza frekanslarının önemini sorgulamasına olanak tanıyan ilkeli bir istatistiksel test çerçevesine formüle etmişlerdir. Sonuç olarak, olasılık tablolarını keşfetmek için yinelemeli iş akışlarını kullanabileceklerini ve gözlemlenen frekanslar için istatistiksel garantiler sağlayabileceklerini göstermektedir. Yöntemleri, test etmek için net bir a priori hipotezimiz olmasa bile, istatistiksel garantilerle kaza veri tabanlarından oluşturulan olasılık tablolarından yararlı bilgiler bulmada kullanışlıdır [34].

Nadri vd. tarafından 2022 yılında yapılan çalışmanın amacı tekstil işçilerinin maruz kaldığı gürültünün bilişsel olarak etkisini araştırmaktır. Çalışmaya gürültüye bağlı işitme kaybı olan 30 erkek tekstil işçisi (ortalama yaş: 41.2 ± 4.1 yıl ve ortalama gürültüye maruz kalma süresi: 18.9 ± 5.4 yıl) ve işitmesi normal olan ve gürültüye maruz kalma öyküsü olmayan 30 sağlıklı erkek tekstil ofisi personeli (yaş uyumlu) dahil edilmiştir. Dışlama kriterleri arasında kulak fonksiyonlarında herhangi bir bozukluk, nörolojik problemler ve kafa travması yer almıştır. İşitme eşikleri hava ve kemik iletimli odyometri ile elde edilmiştir. Çalışanların bilişsel performansı iki psikolojik test ile araştırılmıştır: Corsi blok ve Stroop testleri. Blok aralığı ($p=0.022$) ve görsel-uzamsal çalışma belleğini ($p=0.002$) içeren Corsi bloğu göstergeleri iki grup arasında anlamlı bir farklılık göstermiştir. Ayrıca, toplam test süresi ($p<0.001$) ve yanıt süresini ($p<0.001$) içeren Stroop testi göstergeleri de iki grup arasında anlamlı bir farklılık göstermiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizleri, 3 kHz'de daha yüksek işitme eşiklerine sahip çalışanların her iki testte de daha düşük bilişsel performansa sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç: Bulgularımız, gürültüye bağlı işitme kaybının tekstil işçilerinde bilişsel gerileme gelişiminde bir risk faktörü olarak rol oynadığını desteklemektedir [35].

Chmielewski vd. tarafından 2022 yılında yapılan bu çalışmanın amacı: 2012-2019 yılları arasında Mazovya Eyaletinde Devlet Sağlık Müfettişliği tarafından yapılan denetimlerin sonuçlarını analiz etmektir. Meslek hastalıklarına ilişkin veriler, Varşova'daki İl Sağlık ve Epidemiyoloji İstasyonundan kamu bilgilerine erişim kapsamında elde edilmiştir. Analiz, hastalık varlıklarına, patojenik faktöre, Polonya Faaliyet Sınıflandırmasına göre tanımlanan iş yerine ve kimyasal maddelere mesleki maruziyete göre meslek hastalıklarına ilişkin verileri içermiştir. Resmi kontrole tabi işyerlerinde çalışan

işçiler arasında kimyasal maddelere mesleki maruziyetten kaynaklanan meslek hastalıklarının görülme sıklığının analiz edildiği bu dönemde kimyasal maddelerin etiyolojik faktör olarak belirlendiği meslek hastalıkları, teşhis edilen 1717 (%100) meslek hastalığının %25,9'unu (445) oluşturmuştur. Kimyasal maddelere maruziyetten kaynaklanan meslek hastalıklarının görülme sıklığı 2017 yılından bu yana artış eğilimi göstermekte olduğu sonucuna varılmıştır [36].

Abareshi vd. tarafından 2022 yılında yapılan bu çalışmanın amacı, İran toplumundaki tırnak teknisyenleri arasında ergonomi ve mesleki sağlık tehlikelerini değerlendirmektir. Bu çalışmaya katılan 80 kadın tırnak teknisyeninden veri toplamak için Nordic Musculoskeletal Questionnaire ve Novel Ergonomic Postural Assessment (NERPA) yöntemi kullanılmıştır. Katılımcıların yarısından fazlası (%67,6) öksürükten ve en sık bildirilen tahriş olan göz tahrişinden (%70) şikayetçi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. NERPA'nın nihai skoru yüksek risk düzeyinde olduğunu ve boyun ağrısının (%63,8) vücudun diğer bölgelerine kıyasla en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Boyun, dirsek, kalça, diz ve ayak bileği rahatsızlıkları ile aktivite türü arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Aydınlatma yoğunluğu ile kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır [37].

Kashif vd. 2022 yılında yaptıkları çalışmada Pakistan'daki inşaat işçileri arasında kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (MSD) yaygınlığını, ağrı özelliklerini ve ilişkili risk faktörlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışma, Şubat-Ağustos 2019 tarihleri arasında 666 inşaat işçisi arasında gerçekleştirilen kesitsel bir araştırmadır. Veri girişi ve analizi için SPSS kullanılmıştır. İnşaat işçilerinin yaş ortalaması 34,49'dur. Ağrı bildiren katılımcılar 666 kişiden 397'sini, ağrı bildirmeyenler ise 269'unu oluşturmuştur. Ağrının özelliklerine bakıldığında, çalışanların %26'sının (173) ara sıra ağrı çektiği, %27'sinin (180) günde ≤ 2 saat ağrı çektiği ve %32,9'unun (219) donuk ağrıya sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, MSD'ler ile yaş, yaşam tarzı, iş deneyimi, sigara alışkanlığı ve işe devamsızlık arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($p < 0.05$). Kas-iskelet sistemi ağrıları oldukça yaygın olduğu ve bel ağrısının en sık bildirilen ağrı türü olduğu belirtilmiştir. İşe devamsızlık ve normal günlük aktiviteleri yerine getirememeye kas-iskelet sistemi ağrısının sonuçları olarak bildirilmiştir [38].

Lundstrom vd. tarafından 2023 yılında yürütülen bu çalışmanın amacı, 2012-2019 yılları arasında ABD acil servislerinde (ED) tedavi edilen mesleki yaralanmaların zamansal eğilimlerine ilişkin hem tanımlayıcı hem de çıkarımsal istatistikler sağlamaktır. 2012'den 2019'a kadar aylık ölümcül olmayan mesleki yaralanma oranları, acil serviste tedavi edilen mesleki yaralanmaların ulusal olarak temsili bir örneği olan ulusal elektronik yaralanma gözetim sistemi-mesleki ek (NEISS-Work) veri seti kullanılarak tahmin etmişlerdir. Oranlar, tüm yaralanmalar için ve ABD Güncel Nüfus Araştırması'ndan alınan aylık tam zamanlı çalışan eşdeğeri (FTE) verileri payda olarak kullanılarak yaralanma olay türüne göre oluşturulmuştur. Aylık yaralanma oranlarındaki mevsimsel değişimi tespit etmek için mevsimsellik endeksleri kullanılmıştır. 2012'den 2019'a kadar yaralanma oranlarındaki değişiklikleri ölçmek için mevsimselliğe göre ayarlanmış doğrusal regresyon kullanılarak trend analizi yapılmıştır. Mesleki yaralanmalar, çalışma dönemi boyunca 10.000 TZE başına ortalama 176,2 (%95 GA = $\pm 30,9$) oranında gerçekleşmiştir. Oranlar 2012 yılında en yüksek seviyeye ulaşmış ve 2019 yılında en düşük seviyeye gerilemiştir. Ocak ayında en yüksek oranda gerçekleşen düşme, kayma ve takılmalar dışında tüm yaralanma olay türleri yaz aylarında (Temmuz veya Ağustos) en yüksek oranda gerçekleşmiştir. Trend analizleri, toplam yaralanma oranlarının çalışma dönemi boyunca önemli ölçüde azaldığını göstermiştir (- %18,5; %95 CI = \pm %14,5). Yabancı cisim ve ekipmanla temas (- %26,9; %95 CI = \pm %10,5), ulaşım olayları (- %23,2; %95 CI = \pm %14,7) ve düşme, kayma ve takılma (- %18,1; %95 CI = \pm %8,9) ile ilişkili yaralanmalarda da önemli düşüşler tespit edilmiştir [39].

Barut Tusun ve Emiroğlu 2023 yılında yaptıkları çalışmayı taksi şoförlerinin mesleki risklerini ve bu riskleri önleme stratejilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında 524 taksi şoförünü içeren bir anket geliştirilmiştir. Verilerin analizi için, Bağımlı değişkenler arasında Mann-Whitney U (Z-tablo değeri), tanımlayıcı istatistikler (sayı, yüzde) ve Ki-kare (χ^2) testi ve bağımsız değişkenler kullanılmıştır [40].

Zhou vd. 2023 yılında yaptıkları bu çalışmada, ofis çalışanlarında işe özgü oturma süresini azaltmak için aktif iş istasyonu müdahalelerinin türüne ve eşlik eden stratejiye göre genel etkinliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak için bir ağ meta-analizi (NMA) kullanmıştır. Sekiz farklı müdahale türünü içeren ve 1428 ofis çalışanının katıldığı toplam 23 uygun çalışma dahil edilmiştir. NMA sonuçları, tipik bir masa ile karşılaştırıldığında, çok bileşenli müdahalenin (standartlaştırılmış ortalama

fark (SMD)= -1.50; %95 güven aralığı (CI)-2.17,-0.82; SUCRA=72.4%), oturma standı iş istasyonu+promosyon (dinlenme molaları, duruş değişikliği veya tesadüfi iş aktivitesi hatırlatıcıları) (SMD= -1.49; 95%CI-2.42,-0.55; SUCRA=71.0%), koşu bandı iş istasyonu+promosyon (SMD= -1.29; 95%CI-2.51,-0.07; SUCRA=61.6%) ve oturma-ayakta iş istasyonu (SMD= -1.10, 95%CI-1.64,-0.56; SUCRA=50.2%) ofis çalışanları için mesleki hareketsizlik süresini azaltmada etkili olmuştur [41].

Kolus vd. 2023 yılında yaptıkları bu çalışmada, üretimde insan faktörleri (İF) ile ilgili kalite eksiklikleri ve üretim personelinde işle ilgili kas-iskelet sistemi bozukluğu (İKİSB) risk faktörleri arasındaki ilişkiyi ele almaktadır. Sonuçlar, ortalama medyan derecelendirmelerin ürün tasarımı ile ilgili QRF'ler için en yüksek (8/10), iş istasyonu tasarımı ile ilgili QRF'ler için orta (7/10) ve süreç tasarımı ile ilgili QRF'ler için en düşük (5/10) olduğunu göstermiştir. Bu durum, sistem tasarımında HF'nin hem kalite eksikliklerini hem de üretim personeli için WMSD geliştirme riskini azaltmadaki önemli rolünü vurgulamaktadır [42].

Fathima ve Daniel'in 2023 yılında yaptıkları bu çalışmanın amacı Hindistan'ın Puducherry şehrinde bisküvi imalat sanayi çalışanları arasında çeşitli hastalıkların yaygınlığını ve dağılımını araştırmaktır. Çalışmayı 18 yaş üstü tüm erkek ve kadın çalışanlar üzerinde yürütmüşlerdir. Önceki araştırmalara göre örneklem büyüklüğü 494 olarak hesaplanmıştır. Basit rastgele örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Katılımcıların sosyodemografik değişkenlerine ilişkin veriler, yani beslenme şekilleri, fiziksel aktivite ve bağımlılıklar (alkol ve sigara dahil) önceden test edilmiş yarı yapılandırılmış bir anket kullanılarak kaydedilmiştir. İstatistiksel analiz SPSS yazılımının 28. versiyonunda yapılmıştır. Katılımcıların çoğu (%41,8) üretken yaş grubundadır (18 ila 30 yaş). Katılımcıların Hipertansiyon ve diabetes mellitus prevalansı sırasıyla %62,69 ve %37,31'dir. Cilt bozuklukları (%14,2) en yaygın hastalık nedeni olarak gösterilmiş, bunu diş hastalıkları izlemiştir. morbidite oranı %13,4'tür. Bu arada, katılımcılar arasında en az kas-iskelet sistemi hastalıkları görülmüştür (10%). Karışık beslenme, fiziksel hareketsizlik, alkol ve tütün kullanımı arasında bir ilişki vardı. tüketimi ve haftada 2 günden az meyve tüketimi ile bulaşıcı olmayan hastalıklar. Bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıydı ($P \leq 0.05$) [43].

Koşargelir vd. 2023 yılında yaptıkları çalışmada acil servise el yaralanmaları ile başvuran hastalar ve bu yaralanmaların nedenlerini retrospektif olarak incelemişlerdir. Yaş, cinsiyet, mesleki yaralanma tipi, travmadan acil servise başvuruya kadar geçen süre, sigorta durumu, konsültasyon talep edilip edilmediği, yaralanma detayları ve gerçekleştirilen ameliyatlar değişkenlerini analiz etmişlerdir. Toplam 221 vaka incelenmiştir. Tüm veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak işçilere verilecek dayalı iyi eğitimin işyeri yaralanmalarını azaltacağını belirtmişlerdir [44].

Sunisa vd. 2023 yılında yaptığı bu retrospektif çalışma, Tayland'ın kuzeydoğusundaki tarım işçileri arasında işle ilgili hastalık ve yaralanma durumlarını araştırmayı amaçlamıştır. Meslek hastalıklarının yıllık morbidite oranı analiz edilmiş ve 100.000 çiftçi başına bir oran olarak sunulmuştur. Kullanılan veri tabanındaki çiftçiler arasında, veri tabanında meslek hastalığı olarak rapor edilmemiş olan akciğer hastalığı tüm hastalıklar arasında en üst sırada yer alırken, bunu sırasıyla işle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (İKKH), gürültü ve ısı ile ilgili hastalıklar ve pestisit toksisitesi izlemiş, yaralanma oranı ise İKKH kadar yüksek olmuştur. Roi-Et ve Udon Thani illerindeki bu hastalık oranları, ülkedeki hastalıkların hastalık sıralamasını temsil etmektedir ve 2014'ten 2016'ya kadar artış eğilimi göstermiştir. Veri tabanındaki çiftçi sayısı, tarımsal veri tabanındaki kayıtlı çiftçi sayısını tutarlı bir şekilde yansıtmadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak Taylandlı tarım işçilerinin, bütüncül sağlık hizmeti olarak meslek hastalıkları ve yaralanmaları gözetimi ile kayıt konusunda desteklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir [45].

Maguire ve O'Neill 2023 yılında yaptıkları bu çalışmanın amaçları şunlardır: paramedik klinisyenler arasındaki mesleki yaralanmaları tanımlamak; zaman içinde risklerdeki değişiklikleri belirlemek ve diğer meslek gruplarına kıyasla risklerdeki farklılıkları hesaplamak. Paramedik klinisyenler arasında ölümcül olmayan yaralanmalara ilişkin bu retrospektif açık kohort çalışmasında, ABD Çalışma Bakanlığı, Çalışma İstatistikleri Bürosu'ndan alınan 2010-2020 verileri kullanılmıştır; bazı yıllar için veri mevcut değildir. Yaralanma oranları ve göreceli riskleri hesaplanmış ve kayıtlı hemşireler, itfaiyeciler ve tüm ABD çalışanları ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, kanıta dayalı risk azaltma müdahaleleri geliştirmek için Acil Sağlık Hizmetlerine özgü araştırmaların desteklenmesine yönelik kritik ihtiyacı ortaya koymaktadır [46].

Bauer vd. 2023 yılında yaptıkları çalışmanın amacı mesleki kontakt dermatiti (OKD) olan hastalarda Avrupa temel serisinin en ilgili alerjenlerine karşı duyarlılık sıklıklarını sunmak ve farklı mesleklerin

duyarlılık profillerini karşılaştırmaktır. Ocak 2011 ve Aralık 2020 tarihleri arasında Avrupa Kontakt Alerjiler Sürveyans Sistemi (ESSCA) ağı kapsamında yama testi sonrasında OKD olduğu düşünülen 16 022 hastanın verileri değerlendirilmiştir. Mesleki bir nedenselliğin reddedildiği hastalar (n = 46 652) karşılaştırma grubu olarak görev yapmıştır. En yüksek OKB yüzdeleri tarım, balıkçılık ve ilgili işçiler, metal endüstrisi, kimya endüstrisi, ardından inşaat ve yapı endüstrisi, sağlık hizmetleri, gıda ve hizmet endüstrisinde çalışan hastalar arasında bulunmuştur [47].

Zhang vd. 2023 yılında yaptıkları bu çalışma, otomobil bakım çalışanları arasında işle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının mevcut yaygınlığını ve bunlarla ilişkili risk faktörlerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Çin'deki 50 otomotiv tamir ve bakım şirketinden toplam 539 katılımcı, modifiye Nordic Kas İskelet Sistemi Bozuklukları Anketi aracılığıyla KISH prevalansını araştırmak üzere seçilmiştir. İlişkili risk faktörlerini analiz etmek için ki-kare testi ve lojistik regresyon modelleri uygulanmıştır. Lojistik regresyon analizi, kadınların erkeklere göre daha yüksek WMSD riski altında olduğunu göstermiştir. Otomotiv bakım çalışanları arasında KISH prevalansı yüksektir ve en yüksek prevalans belde görüldüğü sonucu ortaya çıkmıştır (%17,1). Rahatsız çalışma duruşları ve iş yerinde alt ekstremitte ve ayak bilekleri ile sık tekrarlanan hareketler önemli risk faktörleri olabileceği ileri sürülmüştür [48].

Argus ve Pääsuke'nin 2023 yılında yaptığı bu çalışmanın amacı, dizüstü veya masaüstü bilgisayar kullanan ofis çalışanları arasında üst vücut kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları prevalansını ve boynun fonksiyonel özelliklerini karşılaştırmaktır. Çalışmaya yaş ortalaması 41±10 olan toplam 110 ofis çalışanı katılmıştır. 45 ofis çalışanı (%73 kadın) dizüstü bilgisayar ve 65 ofis çalışanı (%86 kadın) masaüstü bilgisayar kullanmıştır. MSD prevalansı Nordic Musculoskeletal Questionnaire kullanılarak kaydedilmiştir. Boyun ve omuz bölgesinin fonksiyonel özelliklerinin hiçbirinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ofis işleri için dizüstü bilgisayar kullanmak, sağ omuz bölgesinde MSD geliştirme riskini artırabileceği ancak boyun ve omuz bölgesinin işlevsel özellikleri üzerinde uzun vadeli etkileri olmayabileceği ileri sürülmüştür [49].

Merrick vd. 2023 yılında yaptıkları bu çalışmada, Batı Avustralya (WA) Polis Gücü'ne yeni katılan polislerin yaralanma epidemiyolojisini rapor etmeyi ve yaralanma risk faktörleri olarak cinsiyet ve yaşı incelemeyi amaçlamıştır. 2018-2021 yılları arasında WA Polis Gücü acemi erlerinden prospektif olarak toplanan yaralanma verilerinin retrospektif analizleri yapılmıştır. Yaralanma 'zaman kaybı' olarak tanımlanmış ve 1000 eğitim günü başına yaralanma insidans oranı (Poisson kesin %95 güven aralıkları) hesaplanmıştır. Yaş, cinsiyet ve yaralanma oluşumu arasındaki ilişki Cox regresyon zaman-olay analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgular Toplam 1316 WA Polis Gücü acemi eri çalışmaya dahil edilmiş ve bunlardan 264'ü 304 yaralanma geçirmiştir. Yaralanma prevalansı %20,1 ve insidans oranı 1000 eğitim günü başına 2,00 (%95CI 1,78-2,24) yaralanma olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonunda WA Polis Gücü yaralanma yükünü azaltmak için alt ekstremitte ve omuzdaki kas/tendon ve bağ/eklem yaralanmalarını hedefleyen önleme programlarına öncelik verilmesi gerektiği öne sürülmüştür. Yaralanma önleme programları, daha yüksek riskli bir popülasyon oldukları için 30 yaşın üzerindeki veya kadın cinsiyetteki acemilere de öncelik vermesi gerektiği sonucu da eklenmiştir [50].

3. Değerlendirme

Günümüzde sektördeki en büyük sorunlardan olan iş kazası ve meslek hastalıklarının sayısının fazlalığı hem çalışanlar hem de işletmeler açısından ciddi bir maliyet ve kayıplara neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için istatistiksel yaklaşımlar önemli bir rol oynamaktadır. İstatistiksel yaklaşımlar, iş kazaları ve meslek hastalıklarının oluşumundaki faktörleri daha iyi anlamamızı ve bu faktörlere yönelik etkili önlemler alabilmemizi sağlamaktadır. Bu literatür çalışmasında incelenen çalışmaların sektörel dağılımları, çalışmaların yapıldığı kıtalar ve kullanılan yöntemlere göre değerlendirilmesi Figür 1, Figür 2 ve Tablo 1'de sırası ile verilmiştir.

Fathima ve Daniel [43]								X									
Koşargelir [44]						X											
Bauer [47]		X															
Zhang [48]								X	X								
Merrick [50]	X	X															

Tercih edilen yöntem, araştırma sorusunun doğasına, değişkenlerin türüne ve araştırma hedeflerine bağlıdır. Çalışmada görülmüştür ki iş kazaları ve meslek hastalıklarının analizinde kullanılan istatistiksel yöntemlerin önemli bir kısmında iki olay veya olgunun arasındaki anlamlılık araştırılmıştır. İki değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için daha çok korelasyon analizleri tercih edilmiştir. Ayrıca bir değişkenin diğeri üzerindeki etkisini anlamlandırmak amacı ile ise regresyon analizlerinin daha çok tercih edildiği görülmüştür. Literatürde incelenen çalışmalarda en az tercih edilen yöntem Ağ Meta Analizi olmuştur. Bunun nedeni Ağ Meta Analizlerinin gerektirdiği yüksek kaliteli ve geniş veri setlerine erişim olarak gösterilebilir.

4. Sonuç

Literatür taramasının sonucunda iş kazası ve meslek hastalıklarının işletme veya belirli bir bölgedeki trendlerinin durumu hakkında bilgi edinmek için kullanılan en önemli araçların istatistiksel yaklaşımlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İstatistiksel yaklaşımlar, iş kazaları ve meslek hastalıklarının oluşum nedenlerini ve bu nedenlerin sektördeki dağılımını daha iyi anlamamızı sağlayacağından daha etkili önleyici tedbirler alınmasını mümkün kılacaktır. Günümüzün en büyük sektörel sorunlarından olan meslek hastalıkları ve iş kazalarının fazlalığına karşı çözüm üretmek için istatistiksel yaklaşımların öneminin anlaşılması gerekmektedir. Literatürde incelenen çalışmaların sonuçlarında da görüldüğü gibi meslek hastalıkları ve iş kazaları, üzerinde durulmadığı takdirde kuruma ve çalışanlarına uygun iş ortamının oluşmasının ve sürdürülebilir çalışmanın önündeki en büyük engellerden birisi olmaktadır. Her kurumun, yaşamı önemli ölçüde tehdit eden bu konuya önem alması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonucunda da istatistiksel yöntemlerin önlem alma konusunda en etkili araçlar olduğu görülmüştür.

İleriki çalışmalar olarak, literatür incelemesi sonucunda daha az kullanılan yöntemlerden olan Olasılıksal Regresyon ile çalışma sayısının çok az olduğu ilaç-sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede meslek hastalıklarının ve iş kazalarının trendini izlemek üzere bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Yazar Katkıları: “Kavramsallaştırma, Y.Ö. ve M.B.Ç.; metodoloji, Y.Ö. ve M.B.Ç.; yazılım, M.B.Ç.; doğrulama, Y.Ö., M.Y. ve M.A.A.; biçimsel analiz, Y.Ö., M.Y. ve M.A.A.; soruşturma, M.B.Ç.; kaynaklar, M.B.Ç.; veri iyileştirme, M.B.Ç.; yazı- orijinal taslak hazırlama, M.B.Ç.; yazma- gözden geçirme ve düzenleme, M.B.Ç.; görselleştirme, M.B.Ç.; denetim, Y.Ö., M.Y. ve M.A.A.; proje yönetimi, Y.Ö. ve M.B.Ç.; Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okudu ve kabul etti.

Finansman: Bu araştırma dışarıdan fon almadı.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynaklar

- [1] C. G. T. Mathias and J. H. Morrison, “Occupational Skin Diseases, United States: Results From the Bureau of Labor Statistics Annual Survey of Occupational Injuries and Illnesses, 1973 Through 1984,” *Arch Dermatol*, vol. 124, no. 10, pp. 1519–1524, Oct. 1988, doi: 10.1001/ARCHDERM.1988.01670100021006.
- [2] J. C. Robinson, “The rising long-term trend in occupational injury rates,” <https://doi.org/10.2105/AJPH.78.3.276>, vol. 78, no. 3, pp. 276–281, Oct. 2011, doi: 10.2105/AJPH.78.3.276.
- [3] B. Fabiano, F. Currò, and R. Pastorino, “A study of the relationship between occupational injuries and firm size and type in the Italian industry,” *Saf Sci*, vol. 42, no. 7, pp. 587–600, Aug. 2004, doi: 10.1016/J.SSCI.2003.09.003.
- [4] E. Zuskin *et al.*, “Respiratory findings in pharmaceutical workers,” *Am J Ind Med*, vol. 46, no. 5, pp. 472–479, Nov. 2004, doi: 10.1002/AJIM.20085.
- [5] M. Concha-Barrientos, D. I. Nelson, M. Fingerhut, T. Driscoll, and J. Leigh, “The global burden due to occupational injury,” *Am J Ind Med*, vol. 48, no. 6, pp. 470–481, Dec. 2005, doi: 10.1002/AJIM.20226.

- [6] A. J. Idrovo and R. Pérez-Núñez, "Determinants of Occupational Disease Incidence in Mexico Alvaro," *Arch Environ Occup Health*, vol. 60, no. 6, pp. 299–301, 2005, doi: 10.3200/AEOH.60.6.299-301.
- [7] L. S. Friedman and L. Forst, "The impact of OSHA recordkeeping regulation changes on occupational injury and illness trends in the US: a time-series analysis," *Occup Environ Med*, vol. 64, no. 7, pp. 454–460, Jul. 2007, doi: 10.1136/OEM.2006.029322.
- [8] P. Hämäläinen, "Global estimates of occupational accidents and fatal work-related diseases," 2010, Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/115087>
- [9] A. A. Ramli, J. Watada, and W. Pedrycz, "Possibilistic regression analysis of influential factors for occupational health and safety management systems," *Saf Sci*, vol. 49, no. 8–9, pp. 1110–1117, Oct. 2011, doi: 10.1016/J.SSCI.2011.02.014.
- [10] N. Szeszenia-Dąbrowska and U. Wilczyńska, "Occupational diseases in Poland - An overview of current trends," *Int J Occup Med Environ Health*, vol. 26, no. 3, pp. 457–470, Sep. 2013, doi: 10.2478/S13382-013-0119-X/METRICS.
- [11] U. Berberoğlu and B. Tokuç, "Work-Related Musculoskeletal Disorders at Two Textile Factories in Edirne, Turkey," *Balkan Med J*, vol. 2013, no. 1, pp. 23–27, Jan. 2013, doi: 10.5152/BALKANMEDJ.2012.069.
- [12] J. P. Karttunen and R. H. Rautiainen, "Occupational Injury and Disease Incidence and Risk Factors in Finnish Agriculture Based on 5-Year Insurance Records," *J Agromedicine*, vol. 18, no. 1, pp. 50–64, Jan. 2013, doi: 10.1080/1059924X.2012.742029.
- [13] W. A. Khan, T. Mustaq, and A. Tabassum, "Occupational Health, Safety and Risk Analysis", Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: www.ijset.net
- [14] S. Ganesh Kumar and A. Dharanipriya, "Prevalence and pattern of occupational injuries at workplace among welders in coastal south India," *Indian J Occup Environ Med*, vol. 18, no. 3, p. 135, Sep. 2014, doi: 10.4103/0019-5278.146911.
- [15] S. Cha and Y. Cho, "Fatal and non-fatal occupational injuries and diseases among migrant and native workers in South Korea," *Am J Ind Med*, vol. 57, no. 9, pp. 1043–1052, Sep. 2014, doi: 10.1002/AJIM.22349.
- [16] L. Godderis *et al.*, "Data warehouse for detection of occupational diseases in OHS data," *Occup Med (Chic Ill)*, vol. 65, no. 8, pp. 651–658, Nov. 2015, doi: 10.1093/OCCMED/KQV074.
- [17] M. Abbas, "Trend of Occupational Injuries/Diseases in Pakistan: Index Value Analysis of Injured Employed Persons from 2001–02 to 2012–13," *Saf Health Work*, vol. 6, no. 3, pp. 218–226, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.SHAW.2015.05.004.
- [18] A. Turkkán and K. Pala, "Trends in occupational injuries and fatality in Turkey," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 22, no. 4, pp. 457–462, Oct. 2016, doi: 10.1080/10803548.2016.1153224.
- [19] M. A. Gopang, M. Nebhwani, A. Khatri, and H. B. Marri, "An assessment of occupational health and safety measures and performance of SMEs: An empirical investigation," *Saf Sci*, vol. 93, pp. 127–133, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.SSCI.2016.11.024.
- [20] M. E. Ozay and S. Coskun, "Analysis Of Occupational Health And Safety Data Between 2003 -2015 in Turkey," *Journal of Business Economics and Finance*, vol. 6, no. 4, pp. 375–385, Dec. 2017, doi: 10.17261/PRESSACADEMIA.2017.770.
- [21] S. Salminen, P. Perttula, M. Hirvonen, M. Perkiö-Mäkelä, and M. Vartia, "Link between haste and occupational injury," *Work*, vol. 56, no. 1, pp. 119–124, Jan. 2017, doi: 10.3233/WOR-162471.
- [22] B. Swiatkowska and W. Hanke, "Occupational Diseases Among Healthcare And Social Workers In 2009-2016/Choroby Zawodowe Wsrod Pracownikow Opieki Zdrowotnej I Pomocy Społecznej W Latach 2009-2016," *Med Pr*, vol. 69, no. 5, pp. 531–539, Sep. 2018, Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=HRCA&sw=w&issn=04655893&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA564465239&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- [23] P. Oksa *et al.*, "Trends in occupational diseases in Finland, 1975–2013: a register study," *BMJ Open*, vol. 9, no. 4, Apr. 2019, doi: 10.1136/BMJOPEN-2018-024040.
- [24] M. Islattı, "İş kazaları ve meslek hastalıklarının bazı değişkenler açısından analizi: Türkiye Cumhuriyeti örneği," 2019, Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.trakya.edu.tr/xmlui/handle/trakya/4723>
- [25] "The effectiveness of vocational rehabilitation on work participation: a propensity score matched analysis using nationwide register data a propensity score matched analysis using nationwide register data on JSTOR." Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: https://www.jstor.org/stable/26844874?casa_token=4KTbBZpVJdYAAAAA%3AMlZwhnK5czut6lr90myh7Vcj4g5bB6_MIZNZ_3xE617F7t3GD2H2jMIEvHavoB5DvOJSbyNufXjmXU9q_70HMsFM-Av3XG4qCEjQPcFhvYkOVIPY
- [26] J. Xiang, M. Mittinty, M. X. Tong, D. Pisaniello, and P. Bi, "Characterising the Burden of Work-Related Injuries in South Australia: A 15-Year Data Analysis," *International Journal of Environmental Research and Public Health 2020*, Vol. 17, Page 2015, vol. 17, no. 6, p. 2015, Mar. 2020, doi: 10.3390/IJERPH17062015.
- [27] A. Y. Korkusuz, U. H. İnan, Y. Özdemir, and H. Başlıgil, "Entegre çok kriterli karar verme yöntemleriyle sağlık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği performansının ölçülmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 35, no. 1, pp. 81–96, Oct. 2019, doi: 10.17341/GAZIMMFD.441032.
- [28] C. Dimakis, A. Delidis, P. Theodosiadis, K. Soulantikas, A. Gortsali, and T. Nikolopoulos, "Hearing Loss In Shipyard Workers And Battle Cruiser Employees: A Prospective Study," *J Hear Sci*, vol. 10, no. 3, pp. 43–50, Nov. 2020, doi: 10.17430/JHS.2020.10.3.4.
- [29] M. Dulon, D. Wendeler, C. Westermann, and A. Nienhaus, "Work-related injuries and occupational diseases among kitchen workers in healthcare services and social welfare," *Zentralbl Arbeitsmed Arbeitsschutz Ergon*, vol. 70, no. 5, pp. 215–221, Sep. 2020, doi: 10.1007/S40664-020-00392-9/TABLES/3.
- [30] S. Gülen, Ü. Baykal, and N. Göktepe, "Factors affecting nurses' attitudes towards risks in the work environment: A cross-sectional study," *J Nurs Manag*, vol. 30, no. 7, pp. 3264–3272, Oct. 2022, doi: 10.1111/JONM.13759.

- [31] S. Aksoy, N. Dutucu, R. Ozdilek, and H. Bektaş, "The Effects of Musculoskeletal Disorders on Professional Quality of Life Among Midwives Working in Delivery Rooms," *Indian J Occup Environ Med*, vol. 26, no. 2, p. 110, Apr. 2022, doi: 10.4103/IJOEM.IJOEM_139_21.
- [32] K. K. Kataria, M. Sharma, N. Mohan Suri, S. Kant, and S. Luthra, "Analyzing musculoskeletal risk-severity among small scale casting workers using ergonomic assessment tools: A statistical approach," *Work*, vol. 72, no. 4, pp. 1429–1442, Jan. 2022, doi: 10.3233/WOR-210867.
- [33] Y.-W. ; Jeong, J.-H. Kim, Y.-W. Jeong, and J.-H. Kim, "Depression, Anxiety, Stress and Anger of the Cabin Crew during the COVID-19 Pandemic in South Korea," *Healthcare* 2022, Vol. 10, Page 1952, vol. 10, no. 10, p. 1952, Oct. 2022, doi: 10.3390/HEALTHCARE10101952.
- [34] T. Räsänen, A. Reiman, K. Puolamäki, R. Savvides, E. Oikarinen, and E. Lantto, "Finding statistically significant high accident counts in exploration of occupational accident data," *J Safety Res*, vol. 82, pp. 28–37, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.JSR.2022.04.003.
- [35] H. Nadri, A. Khavanin, I. J. Kim, M. Akbari, and M. Gholami-Fesharaki, "An Investigative Study on Cognitive Decline among Textile Industry Workers with Occupational Noise-Induced Hearing Loss," *Auditory and Vestibular Research*, vol. 31, no. 3, pp. 165–174, Jul. 2022, doi: 10.18502/AVR.V31I3.9866.
- [36] J. Chmielewski *et al.*, "Environmental and occupational exposure to chemicals and related occupational diseases," *yadda.icm.edu.pl|J Chmielewski, M Kordyzon, M Dziechciaz, A Rezaei, B Wójtowicz, B Gworek, JJ LuszczkiJournal of Elementology, 2022•yadda.icm.edu.pl*, vol. 27, no. 4, pp. 897–915, 2022, doi: 10.5601/jelem.2022.27.4.2256.
- [37] F. Abareshi, S. Rastaghi, and M. Fallahi, "Nail job and women's health: Assessment of ergonomics and occupational hazards," *Work*, vol. 73, no. 2, pp. 687–694, Jan. 2022, doi: 10.3233/WOR-210672.
- [38] M. Kashif *et al.*, "Work-related musculoskeletal disorders among Pakistani construction workers: Prevalence, characteristics, and associated risk factors," *Work*, vol. 72, no. 1, pp. 119–126, Jan. 2022, doi: 10.3233/WOR-205009.
- [39] E. W. Lundstrom, S. A. Hendricks, S. M. Marsh, C. P. Groth, G. S. Smith, and R. Bhandari, "Temporal trends in occupational injuries treated in US emergency departments, 2012–2019," *Inj Epidemiol*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, Dec. 2023, doi: 10.1186/S40621-023-00423-Y/TABLES/3.
- [40] R. Barut Tusun and O. N. Emiroğlu, "Opinions of taxi drivers regarding occupational risks and prevention strategies: A cross-sectional study in Turkey," *Work*, vol. 75, no. 1, pp. 195–209, Jan. 2023, doi: 10.3233/WOR-211235.
- [41] L. Zhou *et al.*, "The effects of active workstations on reducing work-specific sedentary time in office workers: a network meta-analysis of 23 randomized controlled trials," *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, vol. 20, no. 1, pp. 1–14, Dec. 2023, doi: 10.1186/S12966-023-01467-5/FIGURES/5.
- [42] A. Kolus, R. P. Wells, and W. P. Neumann, "Examining the relationship between human factors related quality risk factors and work related musculoskeletal disorder risk factors in manufacturing," *Ergonomics*, vol. 66, no. 7, pp. 954–975, 2023, doi: 10.1080/00140139.2022.2119285.
- [43] A. Fathima and A. Daniel, "Life Style Factors and Morbidity Pattern of Biscuit Company Workers in Puducherry City, India," *Journal of Research and Health*, vol. 13, no. 2, pp. 117–122, Mar. 2023, doi: 10.32598/JRH.13.2.2018.2.
- [44] M. Koşargelir, A. Ürün, A. Kürşat Yiğit, and A. İbrahim, "Occupational Hand Injuries and Third-Line University Hospital Emergency Department Admissions in Istanbul," 2023, doi: 10.14744/hnhj.2021.21704.
- [45] S. Chaiklieng, C. Chagkornburee, and P. Suggaravetsiri, "Situations of work-related diseases and injuries among agriculturists in the upper northeast regions of Thailand," *F1000Res*, vol. 11, 2022, doi: 10.12688/F1000RESEARCH.73221.2.
- [46] B. J. Maguire, A. Al Amiry, and B. J. O'Neill, "Occupational Injuries and Illnesses among Paramedicine Clinicians: Analyses of US Department of Labor Data (2010 – 2020)," *Prehosp Disaster Med*, vol. 38, no. 5, pp. 581–588, Oct. 2023, doi: 10.1017/S1049023X23006118.
- [47] A. Bauer *et al.*, "Occupational contact allergy: The European perspective—Analysis of patch test data from ESSCA between 2011 and 2020," *Contact Dermatitis*, vol. 88, no. 4, pp. 263–274, Apr. 2023, doi: 10.1111/COD.14280.
- [48] H. Zhang *et al.*, "Epidemiological study of work-related musculoskeletal disorders and related risk factors among automobile maintenance workers," *Work*, vol. 76, no. 3, pp. 1219–1231, Jan. 2023, doi: 10.3233/WOR-220412.
- [49] M. Argus and M. Pääsuke, "Musculoskeletal disorders and functional characteristics of the neck and shoulder: Comparison between office workers using a laptop or desktop computer," *Work*, vol. 75, no. 4, pp. 1289–1299, Jan. 2023, doi: 10.3233/WOR-220080.
- [50] N. Merrick, N. H. Hart, A. B. Mosler, G. Allen, and M. C. Murphy, "Injury Profiles of Police Recruits Undergoing Basic Physical Training: A Prospective Cohort Study," *J Occup Rehabil*, vol. 33, no. 1, pp. 170–178, Mar. 2023, doi: 10.1007/S10926-022-10059-2/TABLES/5.



30.06.2024

Journal of Statistics & Applied Sciences, Issue – 9
ISSN 2718-0999

