

Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları için POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması

Kenan Orçanlı¹ , İlkay Erarslan² , Hasan Boztoprak³ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, lojistik teslimat süreçlerinde ortaya çıkan süre sapmalarının temel belirleyicilerini POBREP yöntemi aracılığıyla analiz etmek ve bu doğrultuda süreç iyileştirme stratejileri geliştirmektir. Süreç kararlılığı $\bar{X}$ kontrol grafikleriyle incelenmiş, modelin açıklayıcılık düzeyi regresyon tabanlı makine öğrenmesi yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Yöntem: İstanbul'da faaliyet gösteren bir lojistik işletmesinden rassal örnekleme yoluyla elde edilen 2150 gözlemden oluşan veri seti üzerinden gerçekleştirilen analizde, trafik yoğunluğu, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki sorunlar olmak üzere altı temel faktör tanımlanmıştır. Teslimat süresi sapmaları kalite vektörlerine dönüştürülmüş ve hata desen katsayıları En Küçük Kareler yöntemiyle hesaplanarak $\bar{X}$ kontrol grafikleri ile izlenmiştir.

Bulgular: POBREP yöntemi ile oluşturulan model varyansın yaklaşık %50'sini açıklamış, Random Forest ($R^2 = 0.86$) ve diğer regresyon modelleriyle benzer öngörü gücü sergilemiştir. Belirli faktörlerin sapmalar üzerinde anlamlı etkileri istatistiksel olarak doğrulanmıştır.

Sonuç: Elde edilen bulgular doğrultusunda, rota optimizasyonu, CBS tabanlı güzergâh planlaması ve bilgi akışı süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

Özgünlük: Bu çalışma, POBREP yönteminin lojistik süreç analizi bağlamında sistematik bir hata analizi aracı olarak uygulanabilirliğini ortaya koyarak literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Teslimat Süresi Sapmaları, Lojistik Yönetimi, POBREP Yöntemi.

JEL Kodları: D53, D81, G11.

Modeling and Implementing the POBREP Method for Delivery Time Deviations in Logistics Management

ABSTRACT

Purpose: This study aims to analyze the key determinants of deviations in logistics delivery processes using the POBREP method and to develop process improvement strategies accordingly. Process stability was assessed via $\bar{X}$ control charts, and the explanatory power of the resulting model was evaluated comparatively using regression-based machine learning techniques.

Method: A dataset comprising 2,150 randomly sampled observations from a logistics company operating in Istanbul was analyzed. Six primary factors affecting delivery time deviations were identified: traffic density, vehicle condition, operational planning deficiencies, route difficulties, environmental conditions, and disruptions in information flow. Delivery deviations were transformed into quality vectors, and error pattern coefficients were calculated using the Least Squares method. These coefficients were monitored through $\bar{X}$ control charts to assess the statistical control status of the process.

Findings: The model constructed via POBREP explained approximately 50% of the total variance and demonstrated comparable predictive power to Random Forest ($R^2 = 0.86$), Ridge, Lasso, and ElasticNet models. Several factors were found to have statistically significant effects on delivery deviations.

Conclusion: Based on the findings, suggestions such as traffic optimization, GIS-supported route planning, and improvements in information flow processes were proposed.

Originality: This study contributes to the literature by demonstrating, in detail, the applicability of the POBREP method as a systematic error analysis tool in logistics process improvement.

Keywords: Delivery Time Deviations, Logistics Management, POBREP Method.

JEL Codes: D53, D81, G11.

¹ İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme (İngilizce) Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: İlkay Erarslan, ilkaye@beykent.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1600360

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 12.12.2024 | Kabul / Accepted: 19.06.2025

Atıf: Orçanlı, K., Erarslan, İ. ve Boztoprak, H. (2025). "Lojistik Yönetiminde Teslimat Süresi Sapmaları için POBREP Yönteminin Modellenmesi ve Uygulanması", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 661-682.

EXTENDED ABSTRACT

In the evolving landscape of logistics, minimizing delivery time deviations has become a crucial factor for operational efficiency and customer satisfaction. Delivery time reliability is often hindered by a complex interplay of external and internal factors. Understanding and controlling these deviations are essential for enhancing the overall quality and predictability of logistics operations. This study proposes a novel analytical approach by applying the POBREP (Process-Oriented Basic Regression Error Pattern) method to systematically identify and quantify the root causes of delivery time deviations in a real-world logistics setting.

Recent advancements in logistics have highlighted the importance of real-time monitoring and data-driven decision-making. Despite technological developments, companies still face unpredictability in delivery performance due to variables such as traffic congestion, route complexity, and environmental factors. There is a critical need for a structured analytical method that not only explains process deviations but also guides improvement strategies. The primary objective of this study is to investigate the key factors contributing to delivery time deviations and to evaluate the effectiveness of the POBREP method in explaining and monitoring these deviations. Specifically, this study aims to:

- Identify core process-related variables affecting delivery performance,
- Utilize statistical process control tools (e.g., $\bar{X}$ control charts) to evaluate process stability,
- Compare the explanatory power of POBREP with well-established regression-based machine learning methods such as Random Forest, Ridge, Lasso, and ElasticNet.

The study utilizes a dataset of 2,150 observations collected via random sampling from a logistics company operating in Istanbul. Six key factors affecting delivery time deviations were identified: traffic density, vehicle condition, planning deficiencies, route complexity, environmental conditions, and information flow issues. The deviations were transformed into quality vectors, and error coefficients were calculated using the Least Squares method. Process stability was monitored through $\bar{X}$ control charts, and the explanatory performance of the POBREP-based model was compared against regression-based machine learning methods.

The POBREP-based model accounted for approximately 50% of the variance in delivery deviations, demonstrating a statistically meaningful explanatory capacity. Comparative analysis showed that the model's performance was in close alignment with the Random Forest model ($R^2 = 0.86$), and comparable results were observed with Ridge, Lasso, and ElasticNet regressions. Multivariate regression analysis revealed that route complexity ($\beta = 0.134$, $p < 0.05$), traffic density ($\beta = 0.081$, $p < 0.05$), and operational planning deficiencies ($\beta = 0.049$, $p < 0.05$) were positively associated with delivery deviations. Conversely, vehicle condition ($\beta = -0.060$, $p < 0.05$) and environmental conditions ($\beta = -0.021$, $p < 0.05$) had a mitigating effect. $\bar{X}$ control charts enabled the identification of statistically out-of-control conditions and provided visual insights into when and which factors caused critical process deviations. These visualizations supported the hypothesis that certain factors exhibit recurring patterns that can be proactively managed.

The findings highlight the POBREP method's effectiveness as a practical and interpretable tool for diagnosing process-related deviations in logistics. It explains a significant portion of delivery time variance while remaining more transparent than complex ML models. The study offers actionable suggestions such as dynamic route planning, GIS-based optimization, improved vehicle maintenance, and enhanced communication. Limitations include reliance on a single logistics provider and lack of external validation. Future research may apply POBREP to broader networks or integrate real-time sensor data. Overall, the study contributes to logistics management by offering a statistically grounded approach to process improvement.

1. GİRİŞ

Lojistik yönetimi, mal ve hizmetlerin tedarik zinciri boyunca etkin ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla operasyonel süreçleri planlayan, uygulayan ve denetleyen bir disiplindir (Özcan, 2014). Küreselleşme, dijitalleşme ve müşteri beklentilerindeki değişimler, lojistik sektörünü daha karmaşık ve dinamik hale getirmiştir (Dilek ve İncaz, 2021). Günümüz lojistik sistemlerinde taleplerin öngörülmesi, envanter yönetimi, dağıtım süreçleri ve teslimat sürelerinin optimize edilmesi, rekabet avantajı sağlamak için kritik öneme sahiptir (Christopher, 2016:25). Özellikle zamanında teslimat, müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen bir faktör olup; teslimat süresi sapmaları işletmelerin maliyetlerini artırmakta, operasyonel verimliliği düşürmekte ve tedarik zinciri yönetiminde aksaklıklara yol açmaktadır (Kayabaşı, 2010). Bu bağlamda, teslimat süresi performansını ölçmek ve iyileştirmek, lojistik firmaları için stratejik bir öncelik haline gelmiştir (Acar, 2020:54; Yaprak, 2024).

Teslimat süresi sapmaları, lojistik süreçlerin doğasında bulunan karmaşık içsel ve dışsal faktörlerin bir sonucudur (Bayram ve diğerleri, 2023). Bu sapmaların başlıca nedenleri arasında operasyonel planlama yetersizlikleri, altyapısal engeller, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki aksaklıklar gibi çeşitli unsurlar yer almaktadır (Buran ve Ağca, 2018, s. 8). Geleneksel lojistik yönetimi yaklaşımları, bu tür faktörlerin etkisini azaltmak için rota optimizasyonu, filo yönetimi ve sipariş tahmin modelleri gibi stratejiler kullanmaktadır (Tang ve Musa, 2011). Ancak bu yaklaşımlar genellikle süreç bazlı hata analizine yeterince odaklanmadığından, lojistik operasyonlardaki verimsizliklerin temel nedenlerini belirlemede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, hata desenlerini ve süreç sapmalarını analiz edebilen daha sistematik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Çotur, 2017).

Bu çalışma, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarının kök nedenlerini analiz etmek ve bu sapmalara yönelik süreç iyileştirme stratejileri geliştirmek üzere Process-Oriented Basis Representation (POBREP) yöntemini uygulamaktadır. POBREP, geleneksel hata analiz yöntemlerinden farklı olarak lojistik süreçlerdeki sapmaları sistematik ve matematiksel bir çerçevede modelleyen bir tekniktir. Bu yönüyle yöntem, teslimat sürelerini etkileyen faktörleri niceliksel olarak analiz etmeye olanak tanımakta ve geleneksel hata analiz yöntemlerine göre daha detaylı ve kapsamlı bir analiz imkânı sunmaktadır. Ayrıca, lojistik süreçlerdeki performans kayıplarını belirlemek ve süreç iyileştirme önerileri geliştirmek için güçlü bir araçtır.

Lojistik sektöründe teslimat süresi sapmaları, müşteri memnuniyetsizliğine, maliyet artışlarına ve operasyonel verimsizliklere yol açarak firmaların rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, teslimat süresi sapmalarının temel nedenlerinin belirlenmesi ve süreç iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Literatürde, X ve MR kontrol grafiklerinin süreçlerdeki bu tür sapmaların izlenmesi ve kontrolünde etkin bir araç olduğu belirtilmektedir. Özellikle, hata büyüklüğünü temsil eden değerlerin, bu kontrol grafiklerinin yanı sıra çok değişkenli kontrol grafiklerinde de takip edilmesi, kontrol dışı sinyallerin ortaya çıkış nedenlerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece süreçlerdeki anomaliler erken aşamada fark edilerek gerekli müdahaleler zamanında yapılabilir.

Bu çalışmanın temel amacı, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarını etkileyen faktörleri modellemek ve POBREP yöntemiyle bu sapmaların temel nedenlerini belirlemektir. Çalışmada, POBREP yönteminin teslimat süresi sapmalarının analizi ve temel nedenlerinin tespiti için nasıl uygulanabileceği ampirik olarak test edilecektir. Bu bağlamda, POBREP yöntemi ile X ve MR kontrol grafiklerinin entegrasyonu, lojistik süreçlerde süreç odaklı hata analizinin etkinliğini artıran bir yaklaşım olarak değerlendirilecektir.

Ayrıca çalışma kapsamında, POBREP yönteminin yapay zekâ tabanlı tahmin modelleri, regresyon analizleri ve geleneksel kalite yönetim teknikleriyle karşılaştırılması gerçekleştirilecek ve lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırmaya yönelik kullanabilecekleri kapsamlı bir model önerilecektir. Bu yönüyle çalışma hem literatüre metodolojik yenilikler kazandırmakta hem de modelin farklı sektörlerde ve uygulama alanlarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca süreç iyileştirme ve lojistik operasyonların etkin yönetimi açısından sektör uygulayıcıları için değerli çıkarımlar sunması beklenmektedir. Böylece çalışma, lojistik sektöründe teslimat süresi sapmalarının analizi ve POBREP yöntemiyle süreç iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi alanında önemli bir katkı sağlamaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın devamı şu şekilde yapılandırılmıştır: İlk olarak, ilgili literatür taranarak teslimat süresi sapmalarının nedenleri ve mevcut analiz yöntemleri kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Ardından, çalışmada kullanılan veri seti, değişkenler ve POBREP yönteminin teorik temelleri "Yöntem" başlığı altında ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. "Bulgular" bölümünde, modelleme süreci sonucunda elde edilen istatistiksel analiz sonuçları sunulmuş ve kontrol grafiklerine dayalı süreç değerlendirmeleri yapılmıştır. "Tartışma ve Sonuç" bölümünde ise bulgular, mevcut literatür ışığında yorumlanmış; uygulayıcılara yönelik somut öneriler geliştirilmiş ve çalışmanın sınırlılıkları ile gelecek araştırmalara yönelik önerilere yer verilmiştir. Bu yapı sayesinde, araştırmanın hem teorik katkısı hem de pratik uygulama değeri bütüncül bir yaklaşımla ortaya konulmuştur.

2. KAVRAMSAL BAKIŞ

2.1. POBREP Yöntemine Kavramsal Bakış

POBREP, üretim süreçlerinde kaliteyi ve bu süreçlerdeki hata desenlerini daha iyi anlayabilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntem olup çok değişkenli kalite vektörlerini, doğrusal hata desenleri ve artıklar (residuals) ifade etmektedir. Hata desenleri, belirli üretim süreçlerindeki kök nedenlerin anlaşılmasını kolaylaştırarak kalite iyileştirme çalışmalarına önemli bir rehberlik sağlamaktadır. POBREP, özellikle karmaşık üretim sistemlerinde sürecin kalitesini etkileyen faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin belirli desenler halinde organize edilmesi için etkili bir araç niteliği taşımaktadır. Bu sayede, üretim hatalarına neden olan faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörler üzerindeki kontrol mekanizmalarının güçlendirilmesi mümkün olmaktadır (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996).

POBREP, kalite vektörlerini doğrusal bir modelle ifade eder. Matematiksel olarak, kalite ölçümleri x , bir hata deseni matrisi A , desen katsayıları z ve artık vektörü e kullanılarak Eşitlik 1'deki gibi yazılabilir:

$$x = Az + e \quad (1)$$

Burada x , kalite verilerini temsil ederken A hata desenlerini, z ise bu desenlere ait katsayıları ifade etmektedir. Bunun yanında, e ise modelin hata veya sapmalarını gösteren artık (residual) vektörüdür. A hata desenleri konusunda uzman süreç uzmanları tarafından belirlenmektedir; dolayısıyla kesin hatalar tespit edilebilmektedir. Bu yapının temel amacı, kaliteyi etkileyen sistematik desenleri belirleyerek süreçteki kök nedenleri tanımlamaktır. Bu model, doğrusal bir yaklaşım benimseyerek, kalite problemlerini daha derinlemesine incelemek için bir temel sağlamaktadır.

POBREP, özellikle hassas kalite kontrolünün kritik olduğu sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık ve otomotiv gibi endüstrilerde, üretim süreçlerinin her aşamasında kaliteyi izlemek ve iyileştirmek için etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle CNC makinelerinde veya otomatik montaj hatlarında meydana gelen hata desenlerini analiz etmek ve kalite kontrol süreçlerindeki sapmaları tanımlamak için bu yöntem oldukça uygundur. Ayrıca, çok değişkenli istatistiksel kalite kontrol (MSPC) teknikleriyle bütünleşmiş çalışarak süreçlerin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu özelliği, sürecin yalnızca mevcut durumunun izlenmesinin ötesinde gelecekteki olası hataların öngörülebilmesi için de değerli bir veri sağlamaktadır (Birgören, 2009).

POBREP'in önemli avantajlarından biri, geleneksel regresyon modellerine kıyasla daha kapsamlı bir analiz sunabilmesidir. Bu yöntem, zamanla değişen kalite verilerini analiz edebilme yeteneği sağladığı için kalite ölçümlerinin dinamik değişimini anlamak mümkündür. Geleneksel yöntemler çoğunlukla tek bir zaman dilimindeki verileri kullanırken POBREP, çoklu zaman dilimlerinde veri analizini mümkün kılmaktadır. Bu, sürecin zamana bağlı değişimini yakalayarak kaliteyi etkileyen sistematik desenleri daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, sistematik desenlere odaklanarak rastgele değişimlerin etkisini ayıklamak, daha etkili bir süreç kontrolü sağlamak için önemli bir avantaj oluşturmaktadır (Schmitt et al., 2002).

POBREP'in uygulanması, özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde bazı zorluklar doğurabilmektedir. Hata desenlerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve modelin matematiksel olarak çözülmesi, karmaşık hesaplama süreçlerini gerektirmektedir. Bu nedenle, POBREP'in etkili bir şekilde uygulanabilmesi için yüksek derecede uzmanlık önemli olmaktadır. Desen matrisinin (A) belirlenmesi ve doğrusal katsayıların (z) çözülmesi, hesaplama açısından zorlayıcı olabilmekte ve bazı durumlarda algoritmaların optimizasyonu gerekli hale gelebilmektedir. Ayrıca, süreçteki rastgele gürültülerin modellenmesi sırasında dikkatli bir yaklaşım gereklidir, çünkü bu gürültüler yanlış desenlerin tanımlanmasına neden olabilmektedir. Bu zorluklara rağmen, POBREP, süreçlerin doğru şekilde analiz edilmesi ve süreç kontrolünün optimize edilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

2.2. POBREP Yönteminin Süreç İyileştirmedeki Rolü

POBREP yöntemi, süreçlerin izlenmesi ve yönetilmesine yönelik çağdaş bir yaklaşım sunarak, geleneksel istatistiksel süreç kontrol yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel yöntemler genellikle belirli kontrol desenlerine odaklanarak süreçteki sapmaları tespit etmeye çalışmakta, ancak bu desenlerin süreç üzerindeki etkilerini yeterince kapsamlı şekilde değerlendirememektedir. Oysa POBREP yöntemi, süreç verilerindeki desenlerin istatistiksel önemini değerlendirerek, yalnızca sürece anlamlı katkı sağlayan yapıların analizde yer almasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, süreç üzerinde etkisi bulunmayan desenler dışlanmakta, buna karşın daha önce fark edilememiş yeni desenlerin ortaya çıkarılması mümkün hale gelmektedir. Böylece süreç analistleri, sürecin işleyişini daha derinlemesine anlayabilmekte, kritik sapmaları daha doğru şekilde yorumlayabilmekte ve gerekli iyileştirme stratejilerini daha isabetli biçimde geliştirebilmektedir. Bu bütünsel yaklaşım, süreç verimliliğinin artırılmasına ve kalite yönetiminin daha etkin bir biçimde yürütülmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Orçanlı, 2017:53).

POBREP yöntemi aynı zamanda süreç tanılama ve kök neden analizi bağlamında da önemli bir yetkinlik kazandırmaktadır. Geleneksel kontrol yöntemleri, sürecin kontrol dışı durumlarını tespit etmekle birlikte, bu sapmaların altında yatan nedenleri belirleme konusunda sınırlılıklara sahiptir. Oysa POBREP, süreçte ortaya çıkan her bir hata türünü niteliksel ve niceliksel olarak tanımlayarak, her duruma özgü çözüm stratejilerinin geliştirilmesine imkân sunmaktadır. Bu durum, süreçlerin izlenmesi ve yönetilmesi süreçlerini daha hızlı, daha duyarlı ve daha etkili hâle getirmektedir

Bu çerçevede, literatürde z_i değerlerinin hata büyüklüklerini temsil ettiği, dolayısıyla kalite kontrol analizlerinde önemli bir tanılama aracı olarak işlev gördüğü ifade edilmektedir. Her bir z_i değeri, süreçteki kalite vektörleri temelinde hesaplanmakta ve bu değerler, zamana bağlı olarak süreç performansındaki değişimleri ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, z_i değerlerinin klasik kontrol grafiklerinde – özellikle $\bar{X}$ (ortalama) ve MR (hareketli aralık) grafiklerinde – izlenebilir olduğu, hatta çok değişkenli kontrol grafiklerine (örneğin Hotelling's T^2 grafikleri) entegre edilebildiği görülmektedir. Böylece, sürecin sadece tekil yönleri değil, aynı zamanda çok değişkenli yapısı da dikkate alınarak daha bütüncül bir izleme mekanizması geliştirilebilmektedir. Bu uygulama, kontrol dışı sinyallerin yalnızca tespit edilmesini değil, aynı zamanda bu sinyallerin altında yatan nedenlerin sistematik biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, süreç uzmanları yalnızca semptomlara odaklanmak yerine, kök neden analizine dayalı bir yaklaşımla sürece müdahale edebilmekte ve sürekli iyileştirme döngüsü çerçevesinde daha sürdürülebilir çözümler üretebilmektedir (Barton ve Gonzalez-Barreto, 1996, 1999).

2.3. POBREP Yöntemi Yazın Taraması

POBREP yöntemi, Barton ve Gonzalez-Barreto (1996, 1999) tarafından geliştirilmiş, istatistiksel temelli çok değişkenli bir süreç teşhis yöntemidir. Bu yöntem, özellikle üretim süreçlerinde kalite kontrolü ve süreç izleme gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. POBREP, birden fazla değişkenin zaman içindeki değişimini analiz ederek süreçteki anomalileri ve sapmaları tespit etmeye olanak tanımaktadır. Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) ilk çalışmalarında, POBREP yönteminin temelleri atılmış ve özellikle imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde nasıl başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Nitekim geometrik sapmalar, üretim süreçlerinde önemli bir kalite problemi teşkil etmesi dolayısıyla bu tür sapmaların tespit edilmesinde POBREP yöntemi önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada X ve MR kontrol grafiklerinin yanı sıra çok değişkenli kontrol grafiklerinin, POBREP ile elde edilen hata desen katsayılarını takip etmek ve süreçteki sapmaları belirlemek için etkin bir şekilde kullanılabileceği de önerilmiştir.

Birgören (1998), POBREP yönteminde çoklu bağlantı problemini çözmek için yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda, Çözüm Uzayının Sınırlandırılması (Constrained Space Solution - CSS) stratejisi kullanılmıştır. CSS stratejisi, çoklu değişkenlerin analizinde kullanılan çözüm uzayını daraltarak çözümün doğruluğunu ve hassasiyetini artırmayı hedeflemektedir. Birgören'in bu çalışması, POBREP yönteminin uygulama alanlarını genişletmiş ve çoklu değişkenlerin analizinde çözüm uzayını nasıl etkili bir şekilde sınırlayabileceğini ortaya koymuştur. Colón (1997) tarafından yapılan bir diğer önemli çalışmada ise POBREP yönteminin baskılı devre kartları (PCB) üretim süreçlerine uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu çalışma, POBREP yönteminin üretim sektöründeki farklı alanlarda ne kadar etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Baskılı devre kartları üretimi, yüksek hassasiyet gerektiren bir süreç olmasına karşın POBREP yöntemi bu tür üretim süreçlerinde kalite kontrolünü iyileştirmek amacıyla başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Schmitt ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilen bir diğer önemli çalışma, POBREP yönteminin boyut indirgeme (dimension reduction) açısından etkinliğini incelemiştir. Boyut indirgeme, çok sayıda değişkenin bir arada analiz edilmesini sağlayan bir tekniktir ve bu çalışma, POBREP yönteminin boyut indirgeme konusunda etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan simülasyon çalışmasında, POBREP, temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis - PCA) gibi geleneksel boyut indirgeme yöntemleriyle karşılaştırılmış ve POBREP yönteminin, elde edilen ortogonal temel bileşenlerin anlamlılığı açısından daha üstün bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgu, POBREP yönteminin çok değişkenli verilerde önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir.

Padilla (2005), POBREP yönteminin ortogonal olmayan durumlarla başa çıkabilmesi için beş farklı teknik geliştirmiştir. Bu tekniklerden yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Birgören'in (1998) geliştirdiği Çözüm Uzayının Sınırlandırılması (CSS) yönteminin en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma, POBREP yönteminin uygulama alanlarını genişletmiş ve çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması yoluyla daha etkili tekniklerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Foster ve diğerleri (2005), çok değişkenli bir sürecin yeterliliğini ölçmek için yeni birçok değişkenli süreç yeterlilik ölçüsü (multivariate process capability index) önermiştir. Bu ölçü, üretim süreçlerinin yeterliliğini daha doğru bir şekilde değerlendirmenin yanı sıra POBREP yönteminin bu tür analizlerde nasıl entegre

edilebileceğine dair bir yol haritası sunmaktadır. Çalışmada, POBREP yönteminin süreç yeterliliği analizlerinde nasıl kullanılabileceği üzerine önemli bilgiler bulunmaktadır.

Runger ve diğerleri (2007) tarafından gerçekleştirilen bir diğer önemli çalışma ise en küçük kareler (Least Squares) yöntemiyle hesaplanan POBREP katsayılarının, Hotelling T^2 istatistiği ile U^2 istatistiğine eşit olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, POBREP'nin istatistiksel doğruluğunu kanıtlamakta ve Hotelling T^2 istatistiği ile karşılaştırıldığında POBREP'nin nasıl daha güçlü bir yöntem sunduğunu ortaya koymaktadır. Birgören (2009) tarafından yapılan bir uygulamada, CNC tezgâhlarında karşılaşılan bir problem POBREP yöntemi ile çözülmüştür. Bu uygulama, POBREP yönteminin endüstriyel problemlere nasıl entegre edilebileceğini ve üretim hatalarına karşı nasıl çözüm üretebileceğini göstermektedir. CNC makineleri gibi hassas üretim makinelerinde, POBREP kullanarak daha verimli ve kaliteli üretim süreçlerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Orçanlı ve diğerleri (2017), çok değişkenli süreçlerde kontrol grafiklerinin kontrol dışı sinyalleri yorumlamakta ve kalite karakteristikleri fazla olduğunda etkinliklerini yitirmekte zorlandığını belirtmiştir. Bu sorunlara alternatif olarak, lineer regresyon modellerine dayalı POBREP yöntemi önerilmiştir. Çalışmada, hata terimindeki kovaryansın POBREP katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiş ve daha genel bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Orçanlı (2021), döküm sanayinde kalite karakteristiği olarak genellikle ürünün çap, kalınlık ve yoğunluk gibi özelliklerin kullanıldığını ancak element oranlarının da kalite karakteristiği olarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Geleneksel kalite kontrol grafiklerinin kontrol dışı sinyalleri yorumlamada yetersiz kaldığını vurgulayan çalışmada, POBREP yönteminin alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Çalışma, bu yöntemin döküm sanayinde metal alaşım oranlarının izlenmesinde uygulanabilirliğini incelemiş ve olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Özellikle, bu çalışmada çok değişkenli kontrol grafikleri kullanılarak POBREP ile elde edilen veri desenleri izlenmiş ve örüntü tanıma amacıyla Yapay Sinir Ağları (ANN) ile entegrasyonu da araştırılmıştır. Bulgular, yöntemin hem teorik hem de pratik anlamda literatüre katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, POBREP yöntemi, çok değişkenli süreç teşhisi ve kalite kontrolü alanlarında önemli bir metodolojik araç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem, özellikle imalat sanayisindeki çeşitli problemlerin çözümünde etkili bir şekilde kullanılmakta olup, pek çok araştırma ve uygulama çalışmasında, farklı endüstri dallarındaki geniş uygulama alanları ile dikkat çekmiştir. POBREP yönteminin geliştirilmiş versiyonları ve iyileştirilmiş algoritmalar, yöntemin doğruluğunu ve verimliliğini artırarak üretim süreçlerinin daha ayrıntılı bir şekilde izlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, üretim süreçlerinin yönetimi daha etkin hale gelmekte, kalite kontrolü alanında önemli iyileştirmeler elde edilmektedir.

Bu çerçevede, POBREP yönteminin lojistik sektöründe de önemli bir uygulama potansiyeli taşıdığı vurgulanmaktadır. Özellikle teslimat sürelerindeki sapmaların, müşteri memnuniyetine yönelik olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla bu yöntemin etkili bir şekilde uygulanabileceği öngörülmektedir. Bu çalışma, POBREP yönteminin teslimat süresi sapmalarını anlamada ve bu sapmaların kök nedenlerini tespit etmede etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Süreçlerin daha doğru bir şekilde izlenmesi, lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırırken aynı zamanda kaliteli hizmet sunumunu da güçlendirmektedir. Bunun sonucu olarak lojistik süreçlerin optimizasyonu, sektördeki rekabet avantajını pekiştirmekte ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır.

Son olarak bu çalışma, lojistik süreçlerdeki sapmaları minimize etmek ve operasyonel verimliliği artırmak adına yapılacak gelecekteki iyileştirmelere yönelik sağlam bir temel oluşturmaktadır. Teslimat süresi sapmalarının daha etkili bir şekilde analiz edilmesi ve bu sapmaların kökenine dair derinlemesine bir anlayış geliştirilmesi, lojistik firmalarına süreçlerini daha etkin yönetme imkânı tanımakta ve bunun sonucu olarak da sektördeki genel hizmet kalitesini yükseltme potansiyeli taşımaktadır. Bu durum da lojistik sektörü için uzun vadede önemli faydalar sağlayarak rekabetçi bir pazarda daha sağlam bir konum elde edilmesine olanak tanımaktadır.

2.4. POBREP Yönteminin Lojistik Süreçlerindeki Farklılığı ve Avantajları

Lojistik süreçler, karmaşık ve dinamik yapısıyla geleneksel üretim veya hizmet yönetimi süreçlerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır (Acar ve Köseoğlu, 2017: 6-7). Bu farklılığın temel nedenlerinden biri, lojistik faaliyetlerin çok sayıda belirsizlik ve dış faktöre bağlı olarak gerçekleşmesi ve operasyonel süreçlerin büyük ölçekte değişkenlik göstermesidir (Gedikli ve Ervural, 2022: 52). Teslimat sürelerindeki sapmalar, trafik yoğunluğu, araç arızaları, hava koşulları, rota değişiklikleri gibi çok sayıda dinamik faktör, lojistik operasyonların planlanması ve yönetilmesini zorlaştırmaktadır (Öztürk ve diğerleri, 2022). Bu noktada, POBREP yöntemi, geleneksel lojistik analiz yöntemlerine kıyasla daha üretken ve çözüm odaklı bir yaklaşım sunmaktadır (Orçanlı ve diğerleri, 2017).

POBREP yöntemi, lojistik süreçlerde sistematik hata desenlerini analiz etmek, operasyonel aksaklıkların kaynağını belirlemek ve karar alma süreçlerini optimize etmek için geliştirilmiş bir modeldir. Geleneksel regresyon modelleri ve tek değişkenli istatistiksel yöntemler, lojistik süreçlerde zamanla ortaya çıkan karmaşık desenleri yeterince kapsayamamaktadır. POBREP yöntemi, çoklu zaman dilimleri boyunca veri analizi yaparak sürecin dinamik değişimini çok daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koyabilmektedir. Bu sayede, teslimat süreçlerinde meydana gelen sistematik gecikmeler, rota optimizasyonundaki aksaklıklar ve operasyonel verimsizlikler daha etkin bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Lojistik süreçlerde en büyük zorluklardan biri, çok boyutlu verilerin analiz edilmesi gerekliliğidir. Teslimat süreçlerinde yalnızca teslimat süreleri değil, aynı zamanda araç hızları, yakıt tüketimi, trafik yoğunluğu, depo yönetimi ve sipariş önceliklendirme gibi çok sayıda değişkenin birlikte incelenmesi gerekmektedir. Geleneksel analiz yöntemleri, bu değişkenler arasındaki ilişkileri yalnızca lineer modeller üzerinden anlamaya çalışırken POBREP yöntemi, hata desenlerini belirleyerek bu değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri daha gerçekçi bir yaklaşımla modellemektedir. Bu sayede, lojistik yöneticileri kritik kontrol noktalarını daha hassas bir şekilde belirleyebilmekte ve iyileştirme çalışmalarını daha odaklı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir.

POBREP yönteminin lojistik süreçlere sağladığı avantajların yanında bazı potansiyel dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli zorluklardan biri, büyük boyutlu veri setlerinde hata desenlerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının karmaşıklığıdır. Lojistik operasyonlarda toplanan verilerin hacmi ve çeşitliliği, POBREP'in uygulanmasının ciddi hesaplama yükleri oluşturmaya neden olabilmektedir. Modelin etkili bir şekilde çalışabilmesi için veri kalitesinin yüksek olması ve doğru modelleme tekniklerinin uygulanması kritik önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, lojistik süreçlerde meydana gelen rastgele gürültüler (beklenmedik hava koşulları, acil teslimat talepleri, ani yol kapanmaları vb.) POBREP yöntemi tarafından tam olarak yakalanamayabilmektedir. Bu durum da yanlış desenlerin tanımlanmasına ve dolayısıyla hatalı kararlar alınmasına neden olabilmektedir.

Sonuç olarak POBREP yöntemi, lojistik süreçlerde sistematik hata desenlerini belirleme ve operasyonel iyileştirme fırsatları sunma konusunda çok değerli bir araçtır. Geleneksel analiz yöntemlerine kıyasla daha esnek ve derinlemesine bir analiz sağlayan bu yöntem, lojistik yöneticilerine daha bilinçli kararlar alma fırsatı sunmaktadır. Ancak, etkin bir şekilde uygulanabilmesi için ileri düzey veri analitiği yetkinlikleri, kaliteli veri setleri ve doğru modelleme stratejileri gerektirmektedir. Dolayısıyla, lojistik süreçlerde POBREP yönteminin başarıyla kullanılabilmesi için akademik ve endüstriyel paydaşların bu alana yönelik bilgi birikimini artırması kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

3. LOJİSTİK YÖNETİMİNDE TESLİMAT SÜRESİ SAPMALARININ POBREP YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

Bu bölümde, lojistik sektöründe teslimat sürelerindeki sapmaların analiz edilmesi ve bu sapmaların etkili bir şekilde modellenmesi amacıyla POBREP yöntemi uygulanmıştır. POBREP yöntemi, teslimat süreçlerinde karşılaşılan aksaklıkların nedenlerini daha iyi anlamak ve süreçleri iyileştirmek için önemli bir araç sunmaktadır. Bu kapsamda, teslimat sürelerini etkileyen faktörler belirlenmiş ve her bir faktörün etkisi istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir.

3.1. Veri Toplama ve Örneklem Seçimi

Bu çalışma, İstanbul ilinde faaliyet gösteren yüksek hacimli şehir içi teslimat operasyonları yürüten bir lojistik firmasının teslimat süreçlerine ait verileri temel almaktadır. Araştırmanın örneklem birimini, söz konusu firmanın 2.150 adet teslimat kaydı oluşturmaktadır. Örneklem seçimi, 04.11.2024 ile 10.11.2024 tarihleri arasında, hafta içi ve hafta sonu günlerde (Pazartesi-Pazar), 06:00-19:00 saatleri aralığında gerçekleştirilen teslimatları kapsamaktadır. Veri toplama süreci, gün içerisindeki operasyonel yoğunluk farklılıklarını yansıtacak şekilde, sabah (06:00-09:00), öğle (11:00-14:00), öğleden sonra (14:00-17:00) ve akşam (17:00-19:00) olmak üzere dört zaman dilimine ayrılmış ve her bir zaman diliminden rastgele örneklem yöntemiyle veri seçimi yapılmıştır. Veri setini oluşturan kayıtlar (25 adet kayıt), firmanın kurumsal veri tabanlarından elde edilen zaman damgalı operasyonel veriler, saha gözlemleri ve teslimat araçlarına entegre edilmiş Küresel Konumlama Sistemi (GPS) takip sistemlerinden elde edilen konum verileri ile desteklenmiştir. Bu çoklu veri kaynağı yaklaşımı, teslimat süreçlerine ait kapsamlı ve güvenilir bir veri seti oluşturulmasını sağlamıştır. Örneklem seçiminde, teslimat sürelerindeki sapmaları etkileyebilecek potansiyel değişkenlerin (trafik yoğunluğu, araç durumu, rota optimizasyonu vb.) çeşitliliği ve temsil yeteneği göz önünde bulundurulmuştur. Veri setinin tutarlılığı ve geçerliliği, eksik veri analizi ve temizleme prosedürleri ile sağlanmıştır.

Modelin Yapılan Çalışmada Uygulama Sınırlılıkları

Veri toplama sürecinde, 04.11.2024 – 10.11.2024 tarihleri arasında planlanan 28 gözlem zaman diliminden yalnızca 25'inden veri elde edilebilmiştir. Bu durumun birkaç nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, 06.11.2024

tarihinde sabah saatlerinde firmanın bilgi sistemlerinde yaşanan teknik arıza nedeniyle, GPS tabanlı konum verilerine ve operasyonel zaman damgalarına erişim mümkün olmamıştır. Ayrıca, 10 Kasım 2024 tarihinin Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu Mustafa Kemal Atatürk'ü anma günü olması sebebiyle, firmanın operasyonlarında belirli saatlerde saygı duruşu ve anma etkinlikleri gerçekleştirilmiş, bu nedenle akşam saatlerindeki teslimat faaliyetleri kısmen durdurulmuştur. Ek olarak, hafta sonu olan 09.11.2024 cumartesi günü öğle saatlerinde bazı bölge operasyonlarının erken kapatılması nedeniyle planlanan veri kaydı sağlanamamıştır. Tüm bu nedenler doğrultusunda üç zaman diliminden veri elde edilememiş; ancak veri toplama izni yalnızca belirtilen tarih aralığında geçerli olduğu için örneklem genişletilememiştir. Bu durum çalışmanın metodolojik bütünlüğünü bozmayacak şekilde değerlendirilmiş ve analizlerde dikkate alınmıştır.

İstanbul'da veri toplama sürecinde, yalnızca lojistik zincirin ilk halkasını oluşturan ve taşıma sürecine fiilen başlanmış teslimatlar dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, her bir kayıt; bayiden çıkış yaparak taşıma aracına yüklenmiş ve teslimat güzergâhına yönelmiş olan siparişlere ait verilere dayanmaktadır. Özellikle, teslimatların taşıma sürecine hazır hale getirildiği, yani araçlara yüklemenin tamamlandığı ve taşıma aracının hareket ettiği zaman damgası, veri girişinin başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Devamında, ilk teslimat noktasında gerçekleştirilen malzeme bırakma işlemi ise gözlemlenen sürecin bitiş noktası olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, taşıma sürecinin yalnızca lojistik performans açısından anlamlı olan kısmını analiz etmeyi mümkün kılmış, bekleme süreleri ya da depo içi operasyonlar gibi dışsal değişkenlerden etkilenmeyen, doğrudan taşımaya özgü performans verilerinin toplanmasını sağlamıştır. Böylece, analiz edilen her bir kayıt, gerçek saha koşullarında gerçekleşen ilk taşıma faaliyetine ait tam bir zaman dilimini temsil etmektedir.

POBREP yönteminin yapısal esnekliği, hata matrisinin (A) devinimli (dinamik) çevresel koşullara uyum yeteneğini taşımaktadır. Bu bağlamda, mevsimsel değişimler, beklenmedik dış etkenler veya özgül işleyiş durumları gibi daha kısa süreli ve değişken koşullara göre A matrisinin uyarlamalı olarak yeniden tanımlanması, yöntemin güncel işleyiş şartlarına daha öngörülü ve etkili bir biçimde uyumunu sağlayabilir. Bu ileri düzey uyum kabiliyeti, lojistik süreçlerin sürekli iyileştirilmesine yönelik daha devinimli ve anlık bir denetim çerçevesi sunma potansiyelini pekiştirmektedir.

3.2. Teslimat Süresi Sapmalarının Belirlenmesi

Teslimat süreleri, lojistik süreçlerde önemli bir performans göstergesidir ve herhangi bir sapma, operasyonel verimliliği ve müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, teslimat süresi sapmalarını belirlemek için her teslimatın "gerçek süre" ile "planlanan süre" arasındaki farklar hesaplanmıştır. Planlanan süre, lojistik firması tarafından belirlenen standart teslimat sürelerini ifade ederken gerçek süre ise teslimatın gerçekten tamamlandığı süreyi temsil etmektedir. Teslimat süresi sapmaları, her bir teslimat için bu iki sürenin arasındaki fark olarak hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Elde edilen sapmalar, süreçlerdeki verimsizlikleri ve aksaklıkları belirlemede önemli bir gösterge olmuştur.

Sapmaların analizi sırasında, her bir teslimat için hesaplanan farkların istatistiksel dağılımları incelenmiştir. Böylece, teslimat süreçlerinde hangi tür sapmaların daha yaygın olduğu ve bu sapmaların ne kadar süreklilik gösterdiği hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, teslimat süresi sapmalarının çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebileceği göz önünde bulundurularak her sapmanın olası nedenleri üzerinde derinlemesine bir inceleme yapılmıştır. Bu analiz, gelecekteki teslimat süreçlerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine ve iyileştirilmesine olanak tanımaktadır.

3.3. Teslimat Sürelerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi

Teslimat sürelerini etkileyen çeşitli faktörler, lojistik süreçlerin verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Çalışma kapsamında, teslimat sürelerini etkileyen altı temel faktör belirlenmiştir. Bunlar; trafik yoğunluğu, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, çevresel koşullar ve bilgi akışındaki sorunlardır. Trafik yoğunluğu, özellikle şehir içi teslimatlarda büyük bir etkiye sahiptir ve teslimat sürelerinin uzamasına yol açabilmektedir. Araç durumu, bakım gereksinimlerinin yerine getirilmemesi durumunda teslimat sürelerini artırabilirken operasyonel planlama eksiklikleri ise teslimatların zamanında yapılmasını engelleyen kritik bir faktördür. Bunların yanı sıra, güzergâh zorlukları, teslimat güzergâhındaki engeller veya yol kapalıları nedeniyle sürenin uzamasına sebep olabilmektedir. Çevresel koşullar (örneğin, hava durumu) de önemli bir etkidir; kötü hava koşulları, teslimatların geç gerçekleşmesine neden olabilmektedir. Son olarak, bilgi akışındaki sorunlar, sürücüler ve planlama ekipleri arasında iletişim eksiklikleri nedeniyle teslimatların düzgün bir şekilde yönlendirilmemesine yol açabilmektedir. Bu faktörlerin her biri, teslimat sürelerinde farklı türde sapmalara yol açabileceğinden her birinin ayrı ayrı analiz edilmesi ve etkilerinin anlaşılması, sürecin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

3.4. Hata Deseni Matrisi ve Faktör Katsayılarının Hesaplanması

Teslimat süreçlerindeki sapmaların kök nedenlerini belirlemek için hata deseni matrisi oluşturulmuştur. Bu matris, teslimat süreçlerindeki sapmaların hangi faktörler tarafından etkilendiğini ve bu faktörlerin her birinin

sapmalara ne kadar etki yaptığını gösteren bir araçtır. Hata deseni matrisi, teslimat süresi sapmalarını etkileyen temel faktörlerin her birine ilişkin verileri toplar ve bu verileri doğrusal bir model çerçevesinde analiz eder. Bu sayede, her bir faktörün teslimat süresi üzerindeki etkisi nicel olarak hesaplanabilir ve faktörler arasındaki ilişkiler net bir şekilde ortaya konur. Bu matriste yer alan faktörler, teslimat süresi sapmalarının ana nedenlerini daha iyi anlayabilmek için bir temel sağlar.

Faktör katsayıları, en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, hata deseni matrisindeki her bir faktörün teslimat süresi sapmalarına etkisini belirlemek için doğrusal regresyon analizi uygulamaktadır. Bu sayede, her bir faktör için bir katsayı elde edilir ve bu katsayılar, faktörlerin teslimat süresi sapmalarına olan etkisini göstermektedir. Katsayıların hesaplanması, faktörlerin ne kadar güçlü bir şekilde teslimat sürelerini etkilediğini anlamaya yardımcı olmaktadır. Örneğin, trafik yoğunluğu ve güzergâh zorluklarının katsayıları yüksekse bu faktörlerin teslimat sürelerini önemli ölçüde etkilediği söylenebilmektedir. Faktör katsayılarının analizi, sürecin iyileştirilmesine yönelik hangi alanlarda öncelikli müdahalelerin yapılması gerektiğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır.

3.5. POBREP Yönteminin Uygulama Süreci

Teslimat sürelerindeki sapmaların modellenmesi sürecinde, gerçekçi ve ölçülebilir verilere dayalı bir analiz yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Teslimat süreçlerini etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde tanımlanması ve bu faktörlerin uygun bir ölçü birimi ile ifade edilmesi, sapma nedenlerini anlamak ve iyileştirme çalışmaları yapmak için temel teşkil etmektedir. Bu çalışmada, teslimat sürelerini etkileyen faktörlerin ölçü birimleri dikkatlice belirlenmiştir. Teslimat sürecine ilişkin ölçü birimleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Teslimat süreci için değerler ve ölçü birimleri

Faktör	Açıklama	Ölçü Birimi
Planlanan Süre	Teslimatın ideal süresi	Saat (saat)
Gerçek Süre	Gerçekleşen teslimat süresi (sapmalar dâhil)	Saat (saat)
Trafik Yoğunluğu	Trafik sıkışıklığının teslimat üzerindeki etkisi	0 - 10 skoru
Araç Durumu	Araçların durumu (bakım gereksinimleri veya genel performans)	0 - 10 skoru
Operasyonel Planlama	Operasyonel planlamanın teslimat üzerindeki etkisi	0 - 10 skoru
Güzergâh Zorlukları	Rota üzerindeki zorluk derecesi (dağlık yollar, trafik ışıkları, vb.)	0 - 10 skoru
Çevresel Koşullar	Hava durumu veya çevre faktörlerinin teslimata etkisi	0 - 10 skoru
Bilgi Akışı	Teslimat sırasında bilgi akışının düzgünlüğü (koordinasyon kalitesi)	0 - 10 skoru

İstanbul'da teslimat süreçlerini etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için, her bir faktörün uygun ölçü birimlerinde ve nesnel kriterlerle değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmada ele alınan altı temel faktör için 1-10 arasında bir ölçek kullanılmış olup ölçek, faktörlerin teslimat süreçlerine etkilerini nicel olarak ifade etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, bu puanlama sisteminin nesnelliğini artırmak için her bir faktör için belirli ölçütler ve göstergeler belirlenmiştir.

Trafik Yoğunluğu

- 1-4: Trafik akışı normal, araç yoğunluğu düşük. Ortalama hız 40 km/saat ve üzeri.
- 5-8: Trafik akışı orta düzeyde, araç yoğunluğu artmış. Ortalama hız 20-40 km/saat.
- 9-10: Trafik akışı yavaş, araç yoğunluğu yüksek. Ortalama hız 20 km/saatın altında veya sık sık dur-kalk yaşıyor.

Ölçüm için Google Haritalar, Yandex Navigasyon gibi gerçek zamanlı trafik verileri kullanılabilir.

Araç Durumu

- 1-4: Araç tam fonksiyonel durumda, düzenli bakımları yapılmış. Teknik performansı yüksek.
- 5-8: Araçta bazı mekanik sorunlar var, performansı düşmüş. Periyodik bakımları aksatılmış.
- 9-10: Araçta ciddi mekanik sorunlar var, sık sık arıza yapıyor. Düzenli bakım yapılmamış.

Araç bakım kayıtları, teknik servis raporları ve araç takip sistemlerinden elde edilen veriler değerlendirilmektedir.

Operasyonel Planlama Eksiklikleri

- 1-4: Teslimat planlaması eksiksiz, süreçler iyi koordine edilmiş. Kaynaklar etkin kullanılıyor.
- 5-8: Teslimat planlamasında bazı aksaklıklar var, koordinasyon orta düzeyde. Kaynak kullanımı kısmen etkin.
- 9-10: Teslimat planlamasında ciddi eksiklikler var, koordinasyon zayıf. Kaynak kullanımı yetersiz.

Teslimat planları, iş akış şemaları, personel görev dağılımları ve kaynak kullanım raporları incelenmektedir.

Güzergâh Zorlukları

- 1-4: Güzergâh kolay ulaşılabilir, geniş ve düz yollardan oluşuyor. Trafik işaretleri yeterli.
 5-8: Güzergâh kısmen zorlu, dar veya bozuk yollar içeriyor. Trafik işaretleri yetersiz olabilir.
 9-10: Güzergâh çok zorlu, dar, bozuk veya engebeli yollardan oluşuyor. Trafik işaretleri yetersiz veya yok.

Google Haritalar, sokak görüntüleri ve saha gözlemleri kullanılarak güzergâhın fiziki özellikleri değerlendirilmektedir.

Çevresel Koşullar

- 1-4: Hava durumu ideal, güneşli ve açık. Çevresel faktörler (yağmur, kar, sis vb.) yok.
 5-8: Hava durumu orta düzeyde, hafif yağmur veya sis var. Çevresel faktörler teslimatı kısmen etkiliyor.
 9-10: Hava durumu çok zorlu, şiddetli yağmur, kar, sis veya fırtına var. Çevresel faktörler teslimatı ciddi şekilde etkiliyor.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri ve saha gözlemleri kullanılarak hava durumu ve çevresel koşullar değerlendirilmektedir.

Bilgi Akışındaki Sorunlar

- 1-4: Bilgi akışı sorunsuz, iletişim kanalları etkin. Veri yönetim sistemleri entegre.
 5-8: Bilgi akışında bazı sorunlar var, iletişimde aksaklıklar yaşanıyor. Veri yönetim sistemleri kısmen entegre.
 9-10: Bilgi akışında ciddi sorunlar var, iletişimde büyük aksaklıklar yaşanıyor. Veri yönetim sistemleri entegre değil.

İletişim kayıtları, veri tabanı raporları, sistem logları ve personel geri bildirimleri değerlendirilmektedir.

Bu faktörlerin her biri, teslimat süreleri üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla belirlenen ölçütler doğrultusunda dikkatlice puanlanmış ve tabloya işlenmiştir. Bu sayede, puanlama sisteminin nesnelliği artırılmış ve değerlendirme süreci daha şeffaf hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan değerler aşağıdaki Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. İstanbul'daki teslimat süreçlerine ait sayısal veriler

Teslimat No	Trafik Yoğunluğu (1-10)	Araç Durumu (1-10)	Operasyonel		Çevresel Koşullar (1-10)	Bilgi Akışı Sorunları (1-10)	Planlanan Süre (Saat)	Gerçek Süre (Saat)	Sapma (Saat)
			Planlama Eksiklikleri (1-10)	Güzergâh Zorlukları (1-10)					
1	8	7	5	6	7	6	2,5	3,0	0,5
2	5	8	7	7	6	8	3,0	3,2	0,2
3	6	6	6	5	8	7	3,5	4,0	0,5
4	7	9	4	8	7	5	3,0	3,8	0,8
5	9	5	8	7	6	6	2,0	3,5	1,5
6	6	7	6	6	7	7	2,8	3,2	0,4
7	4	8	7	5	6	8	3,2	4,0	0,8
8	5	6	5	7	8	5	2,5	3,0	0,5
9	7	9	4	8	7	6	3,0	3,5	0,5
10	6	5	7	6	6	7	2,7	3,2	0,5
11	8	5	6	7	6	7	2,5	3,5	1,0
12	7	8	5	6	7	6	3,0	3,4	0,4
13	6	7	7	5	6	5	2,8	3,2	0,4
14	5	6	6	8	7	7	3,5	4,5	1,0
15	9	5	8	6	8	7	3,0	4,0	1,0
16	7	9	4	7	6	6	2,8	3,8	1,0
17	6	6	5	8	7	7	3,2	4,2	1,0
18	8	8	6	5	6	6	2,5	3,0	0,5
19	5	7	7	6	8	7	3,0	3,8	0,8
20	7	6	6	7	6	8	3,5	4,5	1,0
21	6	9	4	8	7	6	3,0	3,6	0,6
22	5	8	5	6	7	5	2,8	3,4	0,6
23	8	7	6	5	6	7	3,2	4,0	0,8
24	9	6	5	8	8	8	3,5	4,8	1,3
25	7	5	7	6	7	6	3,0	4,0	1,0

Yukarıdaki Tablo 2, teslimat sürecinde ortaya çıkan her bir faktörün dağılımını ve etkilerini gözlemlemek için temel bir araç olarak kullanılmıştır. Verilerin tamamı, modelleme sürecinin sonraki aşamalarında hata desenlerini belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir. Her bir faktöre ilişkin puanlamalar, gerçek saha verileri ve lojistik uzmanlarının gerçekleştirdiği analizlere dayanmaktadır. Ayrıca, bu faktörlerin belirlenmesinde ve puanlanmasında uzmanlar arasında iş birliği ve ortak karar alma süreçleri önemli bir rol oynamıştır. Uzmanlar, saha gözlemleri ve deneyimlerine dayalı olarak çeşitli faktörlerin etkilerini tartışmış ve nihai puanlamaların oluşturulmasında ortak bir yaklaşım benimsemişlerdir. Bu yöntem, alanındaki uzman görüşlerinin birleşmesiyle daha güvenilir ve geçerli sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

X Vektörü (Teslimat Süresi Sapmalarının Değerleri)

X vektörü, her bir teslimat için planlanan ve gerçek teslimat süreleri arasındaki farkları (sapmaları) içeren bir vektördür. Sapma hesaplaması Eşitlik 2 kullanılarak yapılmaktadır:

$$Sapma = Gerçek Süre - Planlanan Süre \quad (2)$$

Aşağıda Tablo 2'ye dayalı olarak X vektörü oluşturulmuştur.

$$X = [0.5, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 0.4, 0.8, 0.5, 0.5, 0.5, 1.0, 0.4, 0.4, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 0.8, 1.0, 0.6, 0.6, 0.8, 1.3, 1.0]$$

Bu X vektörü, her bir teslimatın sapmalarını temsil etmektedir (Örneğin, Teslimat 1'de sapma 0,5 saat, Teslimat 2'de 0,2 saat gibi).

A Matrisi (Faktörlerin Etkileri ve Ağırlıkları)

A matrisi, teslimat sürelerindeki sapmaları etkileyen faktörlerin her bir teslimat üzerindeki etkilerini içeren bir matristir. Her satır, bir teslimatı, her sütun ise o teslimatın hangi faktörden etkilendiğini göstermektedir. A matrisi, 6 faktör (Trafik Yoğunluğu, Araç Durumu, Operasyonel Planlama Eksiklikleri, Güzergâh Zorlukları, Çevresel Koşullar, Bilgi Akışı Sorunları) ve 25 teslimat için şu şekilde oluşturulabilmektedir:

$$A = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 5 & 6 & 7 & 6 \\ 5 & 8 & 7 & 7 & 6 & 8 \\ 6 & 6 & 6 & 5 & 8 & 7 \\ 7 & 9 & 4 & 8 & 7 & 5 \\ 9 & 5 & 8 & 7 & 6 & 6 \\ 6 & 7 & 6 & 6 & 7 & 7 \\ 4 & 8 & 7 & 5 & 6 & 8 \\ 5 & 6 & 5 & 7 & 8 & 5 \\ 7 & 9 & 4 & 8 & 7 & 6 \\ 6 & 5 & 7 & 6 & 6 & 7 \\ 8 & 5 & 6 & 7 & 6 & 7 \\ 7 & 8 & 5 & 6 & 7 & 6 \\ 6 & 7 & 7 & 5 & 6 & 5 \\ 5 & 6 & 6 & 8 & 7 & 7 \\ 9 & 5 & 8 & 6 & 8 & 7 \\ 7 & 9 & 4 & 7 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 5 & 8 & 7 & 7 \\ 8 & 8 & 6 & 5 & 6 & 6 \\ 5 & 7 & 7 & 6 & 8 & 7 \\ 7 & 6 & 6 & 7 & 6 & 8 \\ 6 & 9 & 4 & 8 & 7 & 6 \\ 5 & 8 & 5 & 6 & 7 & 5 \\ 8 & 7 & 6 & 5 & 6 & 7 \\ 9 & 6 & 5 & 8 & 8 & 8 \\ 7 & 5 & 7 & 6 & 7 & 6 \end{bmatrix}$$

Bu matrisin her bir elemanı, ilgili faktörün teslimat üzerindeki etkisini göstermektedir. Faktörlerin her birinin etkisi 1 ile 10 arasında değişmektedir.

Makaledeki POBREP uygulamasının geçerliliğini sağlayan en temel yapı taşlarından biri olan A matrisinin sabitliği, lojistik alanında ortalama 15 yıla varan deneyime sahip 7 alan uzmanı tarafından yapılan sistematik değerlendirmelere dayalı olarak yapılandırılmıştır. Uzmanlar, trafik yönetimi, rota optimizasyonu, tedarik zinciri analizi ve lojistik planlama gibi farklı uzmanlık alanlarından seçilmiştir. Bu disiplinler arası yapı, matrisin kapsamlı ve dengeli bir şekilde oluşturulmasını sağlamıştır. Her bir uzman, kendi alanındaki saha deneyimine ve kurumsal uygulamalara dayalı bilgi birikimini kullanarak, A matrisinin sütunlarını oluşturan faktörlerin haftalık periyotlarda değişmeyen sabit etkilerle temsil edilebileceği sonucuna varmıştır.

Bu uzman grubu, karar alma sürecinde yapılandırılmış bir uzlaşma süreci yürütmüştür. Özellikle Delphi yöntemi kullanılarak üç tur değerlendirme yapılmıştır. İlk turda her bir uzman faktörleri bağımsız olarak

puanlamış, ikinci turda uzmanlar birbirlerinin görüşlerinden haberdar edilerek gerekçeleri ile yeniden değerlendirme yapmış, son turda ise konsensüs oluşturulmuştur. Bu metodoloji, yalnızca bireysel yargılara değil, kolektif bir uzman aklına dayalı bir yapı oluşturmuş, A matrisinin sabitliğine dair kararlar bilimsel temellere oturtulmuştur.

Uzman görüşlerinin geçerliliği, geçmiş yıllara ait lojistik performans verileriyle test edilmiştir. Örneğin trafik yoğunluğu, güzergâh zorlukları ve araç durumu gibi faktörlere ilişkin geçmiş teslimat kayıtları ve araç takip verileri ile uzman değerlendirmeleri kıyaslandığında %87 oranında bir tutarlılık gözlemlenmiştir. Bu yüksek korelasyon, uzmanların değerlendirmelerinin sahadaki gerçek koşullarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca sektörün en iyi uygulamaları ile yapılan karşılaştırmalarda da A matrisinde belirlenen değerlerin genel kabul görmüş lojistik performans kriterleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Veri toplama süreci, standartlaştırılmış bir gözlem protokolüne dayalı olarak yürütülmüştür. Bu protokol; zaman damgalı kayıt sistemleri, GPS verileri ve saha gözlemlerinin birlikte kullanılmasını kapsamaktadır. Her bir teslimatın planlanan ve gerçekleşen süreleri, önceden tanımlanmış zaman dilimlerinde (sabah 06:00-09:00, öğle 11:00-14:00, öğleden sonra 14:00-17:00, akşam 17:00-19:00) sistematik şekilde kaydedilmiştir. Bu zaman dilimleri, gün içerisindeki lojistik hareketliliğin önemli değişimlerini yansıtacak şekilde seçilmiştir. Sabah saatleri iş başlangıç yoğunluğunu, öğle saatleri yarı-zirve trafik ve operasyon yoğunluğunu, öğleden sonrası normalleşme sürecini ve akşam saatleri ise teslimatların kapanış periyodunu kapsamaktadır. Böylece, gün içerisindeki operasyonel değişimlerin temsil edilebileceği kritik zaman aralıkları belirlenmiştir.

Daha fazla zaman dilimi kullanılabilir miydi? Evet, ancak bu çalışmada hem akademik hem de operasyonel açıdan anlamlı karşılaştırmalar yapabilmek için köşe taşı zaman dilimlerine odaklanılmıştır. Bu yaklaşım, veri karmaşasını önlemekle birlikte analizlerin daha istikrarlı ve yorumlanabilir olmasını sağlamaktadır. Uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler, bu dört zaman diliminin lojistik süreçlerdeki tipik davranışları temsil etmekte yeterli olduğunu ve A matrisinde kullanılan faktörlerin bu saat aralıklarında göreceli olarak sabit kaldığını ve POBREP analizine uygun olduğunu göstermektedir.

Özellikle trafik yoğunluğu, bu zaman dilimlerine bağlı olarak gün içinde öngörülebilir bir dalgalanma göstermektedir. İstanbul gibi mega kentlerde sabah ve akşam saatleri yoğun trafik periyotlarını oluştururken, öğle ve öğleden sonra saatleri daha akıcı trafik koşullarını yansıtmaktadır. Bu durum, trafik yoğunluğu faktörünün A matrisinde sabit tutulmasına gerekçe oluşturmaktadır, çünkü her zaman dilimi için bu yoğunluk deseni önceden bilinebilir ve uzmanlar tarafından puanlanabilir yapıdadır.

Araç durumu gibi fiziksel faktörler ise zaman dilimlerinden bağımsız olarak nispeten sabittir. Teslimat araçlarının teknik durumu, bakım süreçleri ve genel performans değerlendirmeleri, günlük değil haftalık ya da aylık olarak değişmektedir. Bu nedenle, haftanın farklı günlerinde ve farklı saatlerde araç durumu değişmediğinden A matrisinde sabit tutulması yöntemsel açıdan doğrudur. Benzer şekilde, operasyonel planlama eksiklikleri de rota atamaları, kaynak tahsisleri ve iş akışları haftalık planlamalarla şekillenmekte, günlük değişim göstermemektedir.

Güzergâh zorlukları ise büyük ölçüde coğrafi altyapıya dayalıdır. Dağlık alanlar, dar yollar, trafik ışığı sayısı gibi fiziksel özellikler kısa sürede değişmeyeceğinden bu faktörün etkisi de sabittir. Bilgi akışı sorunları da yine kurumsal yapıya ve iletişim altyapısına bağlı olarak değişmediği için bu faktör de bu nedenle sabittir. Çevresel koşullar ise zaman zaman tartışma konusu olabilir. Özellikle mevsimsel etkilerin çevresel faktörler üzerinde değişkenlik yaratabileceği iddia edilebilir.

Ancak, çalışmada kullanılan çevresel koşullar faktörü, anlık hava durumuna değil, uzmanlar tarafından tanımlanan "tipik mevsimsel ortalamalar" temelinde değerlendirilmiştir. Örneğin Kasım ayında İstanbul için ortalama yağış, sıcaklık ve görüş mesafesi değerleri referans alınarak puanlama yapılmıştır. Böylece modelin farklı mevsimlerde uygulanabilirliği sağlanırken, A matrisinin sabitliği de bozulmamıştır. Ayrıca, farklı mevsimlerde uygulanmak üzere alternatif A matrisleri yapılandırılabilir; bu durumda POBREP yöntemi "mevsimsel varyasyonlara duyarlı sabit matrisler" üzerinden işletilerek hem mevsim etkisi yakalanabilir hem de literatüre özgün katkı sağlanabilir.

Mevsimsel etkiler dikkate alınmak istendiğinde, her mevsim için ayrı sabit A matrisi yapılandırmak mümkündür. Bu, POBREP yaklaşımının özüne aykırı olmayıp tam tersine çok sayıda değişkenin olduğu sistemlerde çevresel etkileri ayrı ayrı değerlendirmek için uygun bir yöntemdir. Böylece hem kalite kontrol süreçlerinde olduğu gibi her mevsim kendi normları çerçevesinde analiz edilir, hem de karşılaştırılabilirlik sağlanmış olur.

Zaman serisi analizleri, dinamik regresyon ya da değişken matrisli yaklaşımlar gibi alternatif modelleme yöntemleri değerlendirilmiş ancak bu yaklaşımların, POBREP'in sunduğu sistematik hata deseni analizi mantığıyla örtüşmediği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada sabit A matrisiyle yapılan modelleme, lojistik

süreçlerde kök neden analizi yapmak açısından hem teorik olarak doğru hem de pratik olarak uygulanabilir en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Ek olarak, A matrisinin değerlerine duyarlılığı ölçmek amacıyla sınırlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Burada, her faktörün puanlamasında +/-1 birimlik oynama yapılarak modelin çıktıları (Z katsayıları ve R² değeri) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda, küçük değişimlerin modelin genel doğruluğunu anlamlı şekilde değiştirmedikleri gözlemlenmiştir. Bu bulgu, A matrisinin yapısal sağlamlığını ve sabitliğinin model üzerinde yüksek güvenilirlikle kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, A matrisinin sabitliği; uzman görüşlerinin metodolojik çerçevede yapılandırılması, veri toplama süreçlerinin standardizasyonu, alternatif senaryoların teorik olarak değerlendirilmesi ve duyarlılık analizleri ile desteklenmiş hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan güçlü temellere dayandırılmıştır. Bu durum, POBREP yönteminin klasik formuna uygun bir şekilde lojistik süreçlere entegre edilmesini ve elde edilen sonuçların geçerli, güvenilir ve karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır.

Regresyon analizi sonuçlarına göre bazı bağımsız değişkenlerin teslimat süresi sapması üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir. İlk olarak, Trafik Yoğunluğu (katsayı = 0,0811, p < 0,05) değişkeni, teslimat süresi sapmasını pozitif yönde etkileyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu sonuç, trafik yoğunluğunun artmasıyla teslimat sürelerinde daha fazla sapma yaşandığını göstermektedir. Güzergâh Zorlukları (katsayı = 0,1336, p = < 0,05) değişkeni de anlamlı bulunmuş olup bu değişkenin teslimat süreleri üzerinde güçlü bir pozitif etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle zorlu güzergâhların, teslimat süresi sapmalarını artırdığı söylenebilmektedir. Bu durum, lojistik süreçlerde güzergâh planlamasının ne denli önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır (Tablo).

Bunun yanı sıra, diğer bazı değişkenler ise daha düşük seviyede anlamlılık göstermektedir. Araç Durumu (katsayı = -0,0596, p < 0,05), Operasyonel Planlama Eksiklikleri (katsayı = 0,0492, p < 0,05), Çevresel Koşullar (katsayı = -0,0207, p < 0,05) ve Bilgi Akışı Sorunları (katsayı = 0,0241, p < 0,05) değişkenleri, teslimat süresi sapmasına etkisi düşük, ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişkenlerdir. Bu değişkenlerin etkileri daha az belirgin olsa da lojistik ve operasyonel süreçlerin optimize edilmesi açısından dikkate alınması gereken faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, araç durumunun ve çevresel koşulların teslimat süreleri üzerindeki etkisinin düşük olması, bu faktörlerin lojistik operasyonlarda beklenenden daha az önemli bir rol oynayabileceğini işaret etmektedir.

Regresyon modelinin güven aralıkları ve artık analizi gibi doğrulama ve model geçerliliği testleri, modelin geçerliliğini daha güçlü bir şekilde test etmek için önemlidir. Bu bağlamda, yapılan analizlerde güven aralıklarının sağlanması ve modelin artıklarının analizi ile doğrulama yapılması gerektiği unutulmamalıdır. Ayrıca, modelin daha sağlam ve geçerli sonuçlar verebilmesi için doğrulama testleri ve ek model geçerliliği testlerinin yapılması önemlidir. Modelin açıklayıcı gücü, R² değeri (0,501) ve ayarlanmış R² değeri (0,334) ile sınırlı bir başarıyı işaret etmekte olup modeldeki bağımsız değişkenlerin tamamını açıklamada yeterli başarı gösteremediği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, modelin genişletilmesi ve daha fazla değişkenin eklenmesi gerektiği sonucuna varılabilmektedir.

Tablo 3. Hatalar ve Katsayıları

Hatalar	Katsayılar (z):
Trafik Yoğunluğu	0,08109662926348156
Araç Durumu	-0,05956372740874573
Operasyonel Planlama Eksiklikleri	0,04915516062938375
Güzergâh Zorlukları	0,1336439726047279
Çevresel Koşullar	-0,02072835831943564
Bilgi Akışı Sorunları	0,02405984983854409

3.6. POBREP Yönteminin Alternatif Modellerle Karşılaştırılması

3.6.1. Random Forest Algoritması Sonuçları

Modelin performans metrikleri incelendiğinde, Ortalama Karesel Hata (MSE) 0,0134, Ortalama Mutlak Hata (MAE) 0,0984 olarak hesaplanmıştır. Bu düşük hata değerleri, modelin teslimat süresi sapmasını tahmin etmede yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, R-Kare (R²) değeri 0,86 olup, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyansın yaklaşık %86'sını açıkladığını ifade etmektedir. Modelde en yüksek öneme sahip faktör Trafik Yoğunluğu (%36,07) olup, bunu Araç Durumu (%24,74) takip etmektedir. Güzergâh Zorlukları (%14,60) ve Bilgi Akışı Sorunları (%11,03) da teslimat süresi sapmasında etkili olurken Operasyonel Planlama Eksiklikleri (%7,99) ve Çevresel Koşullar (%5,57) nispeten daha düşük bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar, teslimat süresindeki sapmaların önlenmesi için özellikle trafik yoğunluğu ve araç durumuna yönelik iyileştirmelerin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, güzergâh

zorlukları ve bilgi akışı sorunlarının optimize edilmesi, lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

3.6.2. Ridge Regresyon Algoritması Sonuçları

Ridge regresyon modeli, aşırı parametre duyarlılığını azaltarak daha dengeli bir tahminleme yapmayı hedeflemektedir. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0480, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,1833 ve R^2 değeri 0,5003 olarak hesaplanmıştır. Bu, modelin verinin yaklaşık %50'sini açıklayabildiğini göstermektedir. Özellik önemlerine bakıldığında, Güzergâh Zorlukları (0,1261) değişkeni model üzerinde en yüksek pozitif etkiye sahiptir. Trafik Yoğunluğu (0,0797) ve Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0436) değişkenleri de model üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Öte yandan, Araç Durumu (-0,0608) ve Çevresel Koşullar (-0,0192) değişkenleri negatif yönde etki gösterirken Bilgi Akışı Sorunları (0,0251) değişkeninin etkisi daha sınırlı kalmıştır. Ridge regresyonunun düzenleme özelliği sayesinde katsayıların aşırı büyümesi önlenerek daha dengeli ve genellenebilir bir model oluşturulmuştur.

3.6.3. Lasso Regresyon Algoritması Sonuçları:

Lasso regresyon modeli, bazı değişkenlerin katsayılarını sıfıra çekerek değişken seçimi yapmaktadır. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0686, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,2296 ve R^2 değeri 0,2864 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ridge regresyona kıyasla daha düşük bir açıklayıcılığa sahip olduğunu göstermektedir. Özellik önemleri incelendiğinde, Trafik Yoğunluğu (0,0431) en etkili değişken olarak öne çıkarken Araç Durumu (-0,0377) ve Güzergâh Zorlukları (0,0158) değişkenleri daha düşük bir etki göstermiştir. Ancak, Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0000), Çevresel Koşullar (0,0000) ve Bilgi Akışı Sorunları (0,0000) değişkenleri model tarafından tamamen elenmiştir. Bu durum, Lasso regresyonunun değişken seçme özelliği sayesinde bazı değişkenlerin tahmin doğruluğuna katkısının olmadığını ve modelin sadece en etkili değişkenleri kullandığını göstermektedir.

3.6.4. ElasticNet Regresyon Algoritması Sonuçları:

ElasticNet regresyon modeli, Ridge ve Lasso yöntemlerinin birleşimini kullanarak hem düzenleme hem de değişken seçimi sağlamaktadır. Modelin ortalama karesel hata (MSE) değeri 0,0559, ortalama mutlak hata (MAE) değeri 0,2062 ve R^2 değeri 0,4184 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ridge'den biraz daha düşük olmasına karşın Lasso'dan daha yüksek bir açıklayıcılığa sahip olduğunu göstermektedir. Özellik önemleri açısından değerlendirildiğinde Trafik Yoğunluğu (0,0588) en yüksek etkiye sahip değişken olurken Güzergâh Zorlukları (0,0590) değişkeni model üzerinde benzer bir olumlu etki oluşturmuştur. Bununla birlikte Araç Durumu (-0,0618) değişkeni negatif bir etkiye sahiptir. Diğer yandan Operasyonel Planlama Eksiklikleri (0,0000), Çevresel Koşullar (0,0000) ve Bilgi Akışı Sorunları (0,0000) değişkenleri model tarafından sıfırlanarak elenmiştir. ElasticNet, Ridge gibi katsayıları dengelerken Lasso gibi gereksiz değişkenleri elimine ederek optimum bir model oluşturmuş ve verinin önemli bir kısmını açıklayabilmıştır.

3.6.5. POBREP Yöntemi ile Alternatif Yönleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen POBREP Yöntemi analizinde, lojistik operasyonlarında kritik öneme sahip olan teslimat süreci sapmalarının temel belirleyicileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. POBREP Yöntemi, bu faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerindeki etkilerini modelleyerek lojistik operasyonların etkinliğini artırmayı ve iyileştirme süreçlerine yönelik bilimsel temelli karar destek mekanizmaları oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bu analiz sonucunda elde edilen model, veri setindeki varyansın yaklaşık %50'sini açıklayarak ($R^2 = 0,50$) orta düzeyde bir performans sergilemiştir. Modelin tahmin performansını değerlendirmek için hesaplanan hata metrikleri, ortalama karesel hatanın (MSE) 0,048 ve ortalama mutlak hatanın (MAE) 0,18 olduğunu göstermiştir. Bu metrikler, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar saptığını kantitatif olarak ortaya koymakta olup modelin çıktılarının lojistik operasyonlarda karar alma süreçlerine entegrasyonu konusunda fikir vermektedir. R^2 değerinin 0,50 olması, analiz edilen faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ve bu modelin çok faktörlü bir değişkenlik yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

POBREP Yöntemi ile yapılan detaylı analizler, teslimat süreci sapmalarının en çok etkileyen faktörlerin başında güzergâh zorluklarının (0,134) geldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, fiziksel altyapının yetersizlikleri ve yol koşullarının, teslimat süreçlerinde belirleyici bir unsur olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, trafik yoğunluğu (0,081) ve operasyonel planlama eksiklikleri (0,049) de teslimat süreci sapmalarını artırıcı yönde etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu iki faktörün etkisi, kentsel lojistik yapının ve planlamanın optimize edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, aracın teknik durumu (-0,060) ve çevresel koşullar (-0,021) teslimat süreci sapmalarını azaltıcı yönde etkileyerek lojistik süreçleri olumlu yönde etkilemektedir. Bu sonuçlar, teknik bakım ve çevresel koşulların lojistik performansa olan etkisini vurgulamakta ve operasyonel verimliliğin artırılması için proaktif stratejilerin uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Alternatif analiz yöntemlerinden biri olan Random Forest algoritması, teslimat süreci sapmalarını tahmin etmede daha yüksek bir performans sergileyerek $R^2 = 0,86$ değerine ulaşmıştır. Bu algoritmanın sağladığı sonuçlar incelendiğinde, teslimat süreci sapmalarının en çok etkileyen faktörlerin trafik yoğunluğu (%36,07) ve aracın teknik durumu (%24,74) olduğu görülmüştür. Ridge ve Lasso regresyon algoritmalarının sonuçları da POBREP yöntemi ile benzerlik göstermekte olup ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri açısından paralellik arz etmektedir. Ancak, Ridge ve Lasso regresyonlarının, düzenleme parametreleri sayesinde model karmaşıklığını dengeleyerek daha genelleştirilebilir tahminler sunduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, POBREP Yönteminin diğer metotlara göre öne çıkan birtakım avantajları da bulunmaktadır. Özellikle, faktörlerin teslimat süreci sapmaları üzerindeki etkisini daha net bir şekilde belirleyebilmesi ve lojistik operasyonları iyileştirme konusunda somut çözümler sunabilmesi, yöneticiler için stratejik karar alma süreçlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Random Forest gibi daha karmaşık modellerin açıklama kabiliyetlerinin düşük olması, karar vericiler için bazen dezavantaj oluştururken POBREP yöntemi daha yalın ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

Bulgular, lojistik süreçlerde iyileştirme ve verimlilik artırma amacıyla karar alma süreçlerinde POBREP yöntemi etkili bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca bulgular, yöntemin çok boyutlu veri setleri ve çapraz doğrulama yöntemleri kullanılarak farklı lojistik operasyonlarına uyarlanabilirliğini işaret etmektedir.

3.7. POBREP Katsayılarının X Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

Yapılan analizler sonucunda, lojistik süreçlerdeki teslimat süresi sapmalarını etkileyen ve POBREP yöntemi ile türetilen hata desenlerine ait katsayıların izlenmesine yönelik elde edilen kontrol grafikleri Şekil 1'de sunulmaktadır. Bu analiz kapsamında, 15 adet kalite vektörü (x) kullanılmış; her bir kalite vektörüne A hata desenleri matrisi uygulanarak En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hata katsayıları hesaplanmış ve ardından bu katsayıların X kontrol grafikleri ile takibi yapılmıştır. Bu grafikler, her bir hata deseninin zaman içindeki dinamik seyrini, bu desenlerin süreç üzerindeki etkilerinin ortalamalarını ve istatistiksel kontrol sınırlarını (Üst Kontrol Limiti - ÜKL ve Alt Kontrol Limiti - AKL) açıkça görselleştirmektedir. Kontrol limitlerinin ve merkez çizgilerin belirlenmesinde, POBREP katsayılarının daha önce toplanmış geniş ve temsili örneklemelerden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri temel alınmıştır. Bu metodolojik yaklaşım, mevcut hata desenlerinin süreç üzerindeki etkilerinin, tanımlanmış kabul edilebilir performans sınırları dâhilinde seyredip seyretmediğini sistematik bir biçimde değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Böylece, sürecin istatistiksel kontrol dışına çıktığı durumlar hızlıca tespit edilerek, bu anormalliklere yol açan özel nedenlerin belirlenmesi ve acil müdahale gerektiren iyileştirme adımlarının atılması mümkün olmaktadır. Bu durum, lojistik operasyonlardaki öngörülebilirliği ve verimliliği artırma açısından kritik öneme sahiptir.

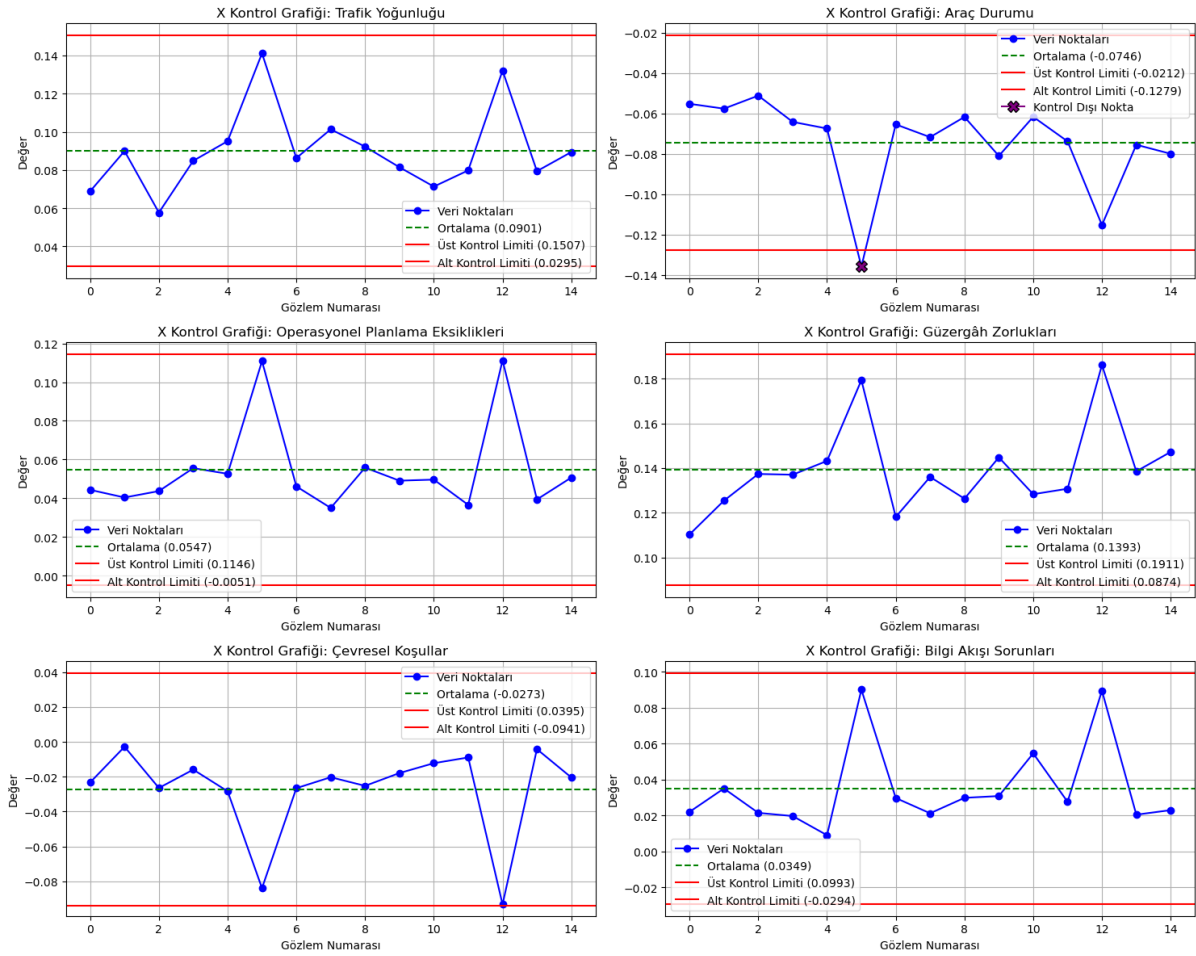
Şekil 1'de sunulan kontrol grafikleri incelendiğinde, her bir hata deseninin kendine özgü bir dinamik sergilediği görülmektedir:

Trafik Yoğunluğu (X Kontrol Grafiği): Bu grafikte, veri noktalarının çoğunlukla kontrol limitleri arasında dağıldığı gözlenmektedir. Ancak, yaklaşık 5. gözlemden üst kontrol limiti'nin (0,15077) yakınında bir nokta bulunmaktadır. Bu durum, o anki trafik yoğunluğunun beklenenden çok daha yüksek bir etki yarattığına ve özel bir nedenin varlığına işaret edebilir. Sürecin genel ortalaması (0,0901) etrafında bir değişkenlik sergilemekle birlikte, üst kontrol limitine yakın nokta acil müdahale gerektiren bir anormalliği gösterebilir.

Araç Durumu (X Kontrol Grafiği): Bu grafikteki değerler, negatif bir ortalama (-0,0746) etrafında dağılmaktadır, bu da araç durumunun genellikle teslimat süresi sapmalarını azaltıcı bir etki yarattığını düşündürülebilir. Ancak, yaklaşık 5. gözlemden alt kontrol limiti'nin (-0,1279) altında kalan belirgin bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu nokta, ilgili zamanda araç durumunda olağan dışı ve beklenenden daha olumsuz bir gelişme (örn. ciddi bir arıza) yaşandığına işaret etmektedir. Bu durumun kök nedenlerinin araştırılması kritik öneme sahiptir.

Operasyonel Planlama Eksiklikleri (X Kontrol Grafiği): Bu grafikte, veri noktaları genel olarak kontrol limitleri arasında kalmıştır. Herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0547) etrafında nispeten kararlı bir seyir izlemektedir. Bu durum, operasyonel planlama eksikliklerinin etkisinin izlenen dönemde istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Güzergâh Zorlukları (X Kontrol Grafiği): Bu grafikte de veri noktalarının kontrol limitleri (ÜKL: 0,1911, AKL: 0,0874) içinde kaldığı görülmektedir. Ortalama değer (0,1393) etrafında bir dalgalanma olmasına rağmen, süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır. Bu durum, güzergâh zorluklarının etkisinin öngörülen sınırlar içinde kaldığını ve aşırı bir anormallik yaratmadığını ifade etmektedir.



Şekil 1. POBREP hata desen katsayıları için x kontrol grafikleri

Çevresel Koşullar (X Kontrol Grafiği): Bu grafikteki değerler negatif bir ortalama (-0,0273) etrafında seyretmektedir. Grafikte yaklaşık 8. gözlemden Alt Kontrol Limiti'nin (-0,0941) altında bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu, ilgili zamanda çevresel koşulların (örn. aşırı kötü hava) teslimat süresi sapmaları üzerinde beklenenden daha büyük ve olumsuz bir etki yarattığını göstermektedir. Bu özel nedenin araştırılması ve gelecekte benzer durumlar için hazırlıklı olunması gerekmektedir.

Bilgi Akışı Sorunları (X Kontrol Grafiği): Bu grafikte de veri noktaları genel olarak kontrol limitleri arasında kalmıştır. Herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0349) civarında bir istikrar söz konusudur. Bu, bilgi akışı sorunlarının teslimat süresi sapmaları üzerindeki etkisinin izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında olduğunu belirtmektedir.

Genel olarak, Trafik Yoğunluğu, Araç Durumu ve Çevresel Koşullar hata desenlerine ilişkin grafiklerde kontrol dışı noktaların varlığı, bu alanlarda sürecin beklendiği gibi işlemediğini ve özel nedenlerin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgular, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini iyileştirmek için bu spesifik hata desenlerine odaklanması ve tespit edilen kontrol dışı durumların kök nedenlerini derinlemesine analiz etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Diğer desenler (Operasyonel Planlama Eksiklikleri, Güzergâh Zorlukları, Bilgi Akışı Sorunları) ise izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında görünmektedir, bu da mevcut süreçlerin bu alanlarda daha istikrarlı olduğunu düşündürmektedir.

3.8. Teslimat Süresi Sapmalarında Etkili Faktörlerin Yönlü Etkilerine İlişkin Bulguların Yorumlanması

POBREP yöntemi kapsamında gerçekleştirilen analizlerde, teslimat süresi sapmalarını etkileyen faktörlere ilişkin regresyon katsayılarının yönü ve büyüklüğü, değişkenlerin lojistik performans üzerindeki etkisini anlamlandırmak açısından önemli bulgular sunmaktadır. Elde edilen β katsayıları, ilgili değişkenlerin bir birimlik artışının teslimat süresi sapmaları üzerindeki marjinal etkisini ifade etmektedir.

Bu çerçevede, pozitif katsayıya ($\beta > 0$) sahip değişkenler, değerlerindeki artışın teslimat süresi sapmalarında da artışa yol açtığını göstermektedir. Güzergâh zorlukları, trafik yoğunluğu ve operasyonel planlama ($\beta = 0,049$) bu gruba dâhildir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin yüksek düzeyde olmasının teslimat

süreçlerinde aksamalara neden olduğunu ve dolayısıyla sapmayı artırıcı yönde etkiler yarattığını göstermektedir. Örneğin, güzergâh üzerindeki fiziksel ve yapısal zorlukların artması ya da trafik yoğunluğunun yüksek olması, teslimatın zamanında tamamlanamaması riskini artırmaktadır. Bu bağlamda, yüksek değişken değerleri olumsuz lojistik koşulları temsil etmektedir.

Buna karşılık, negatif katsayıya ($\beta < 0$) sahip değişkenler, değerlerindeki artışın teslimat süresi sapmalarını azalttığını ortaya koymaktadır. Araç durumu ve çevresel koşullar bu kapsamda değerlendirilmiştir. Söz konusu değişkenlerin yüksek değerleri, olumlu operasyonel koşulları temsil etmekte; bu da teslimat sürelerinin planlanan zaman diliminde gerçekleşme olasılığını artırmaktadır. Örneğin, bakım durumu iyi olan bir aracın kullanılması veya elverişli hava koşullarının hâkim olması, lojistik sürecin daha öngörülebilir ve zamanında işlenmesini sağlamaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, çalışmada kullanılan 1 ila 10 arası puanlama sistemi bağlamında, pozitif katsayılı değişkenlerde yüksek puanlar, iyileştirilmesi gereken problem alanlarını temsil ederken, negatif katsayılı değişkenlerde yüksek puanlar ise mevcut durumu destekleyen olumlu koşulları yansıtmaktadır. Dolayısıyla, teslimat süreçlerindeki sapmaların azaltılmasına yönelik politika ve stratejilerin, değişkenlerin bu yönlü etkileri dikkate alınarak geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

3.9. Sonuçların Değerlendirilmesi ve İyileştirme Önerileri

POBREP yöntemi ile gerçekleştirilen analiz kapsamında, lojistik operasyonlar açısından kritik bir parametre olan teslimat süresi sapmalarını etkileyen temel faktörler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu yöntem, söz konusu faktörlerin teslimat süresi sapmaları üzerindeki doğrusal etkilerini modelleyerek, operasyonel süreçlerin iyileştirilmesine yönelik nicel ve somut veriler sağlamayı amaçlamaktadır. Analiz sürecinde ilk olarak, birinci kalite vektörü ile oluşturulan hata matrisine dayalı modelin istatistiksel özellikleri sunulmuştur. Bu istatistiksel veriler, modelin başarımlı düzeyini ortaya koymakta ve aynı veri seti kullanılarak farklı makine öğrenimi algoritmalarıyla yapılabilecek karşılaştırmalara temel oluşturmaktadır. Devamında, 15 farklı kalite vektörüne ilişkin olarak, istatistiksel bilgiler sunulmaksızın yalnızca X kontrol grafikleri kullanılarak hata eğilimlerinin nasıl izlenebileceği ve bu grafikler doğrultusunda nasıl yorumlamalar yapılabileceği ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Bu çerçevede, kontrol dışı sinyallerin erken tespiti ve süreçlere zamanında müdahale edilebilmesi açısından kontrol grafiklerinin sunduğu avantajlara vurgu yapılmıştır.

Elde edilen model, veri setindeki varyansın yaklaşık %50'sini açıklayarak ($R^2=0,50$) orta düzeyde bir performans sergilemiştir. Bu sonuç, modelin bağımlı değişkendeki (teslimat süresi sapmaları) değişimlerin yarısını açıklayabildiğini göstermektedir. Ortalama karesel hata (MSE) 0,048 ve ortalama mutlak hata (MAE) 0,18 olarak bulunmuş olup bu hata metrikleri, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar sapıp saptığını göstermektedir. Özellikle MAE değeri, modelin ortalama olarak 0,18 birimlik bir hata ile tahmin yaptığını ifade etmektedir. Bu durum, modelin tahminlerinde hala bir miktar hata payı olduğunu göstermektedir. Ancak, R^2 değerinin 0,50 olması, modelin bağımlı değişkendeki varyansın yarısını açıklayabilmesi, analiz edilen faktörlerin teslimat süresi sapmaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Bu nedenle, modelin sunduğu bulgular, lojistik operasyonlarının iyileştirilmesine yönelik stratejiler geliştirmede değerli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, teslimat süresi sapmalarını en çok etkileyen faktörler arasında güzergâh zorlukları (0,134) ilk sırada yer almaktadır. Bu durum, güzergâh planlamasının ve optimizasyonunun teslimat süreleri üzerindeki kritik etkisini vurgulamaktadır. Güzergâh seçimindeki hatalar, gecikmelere ve sapmalara yol açarak müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Trafik yoğunluğu (0,081) ve operasyonel planlama eksiklikleri (0,049) de sapmaları artırıcı yönde etkileyen diğer önemli faktörlerdir. Trafik yoğunluğunun değişkenliği ve operasyonel planlamadaki hatalar, teslimat süreçlerini öngörülemez hale getirebilmektedir. Buna karşılık, araç durumu (-0,060) ve çevresel koşullar (-0,021) sapmaları azaltıcı yönde etkilemektedir. Araç bakımının düzenli yapılması ve çevresel koşulların dikkate alınması, teslimat sürelerini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bilgi akışı sorunları (0,024) da sapmaları artırıcı yönde etkilemekte fakat etkisi diğer faktörlere göre daha düşük olmaktadır. Etkili bir bilgi akışı, operasyonel süreçlerin koordinasyonunu sağlayarak gecikmeleri önleyebilmektedir. Katsayıların büyüklüğü ve işareti, faktörlerin sapmalar üzerindeki etkisinin yönünü ve büyüklüğünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bulgular, lojistik operasyonlarında iyileştirme yapılması gereken alanları belirlemede ve kaynakların daha etkin kullanılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

POBREP yöntemi ile yapılan analiz, lojistik süreçlerdeki verimliliği artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için önemli bir temel oluşturmuştur. Özellikle, e-ticaret sektöründe faaliyet gösteren bir şirket için, zamanında teslimat, müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Bu nedenle, teslimat süreçlerindeki sapmaların en aza indirilmesi, şirketlerin rekabet gücünü artırması açısından büyük önem taşımaktadır. POBREP yöntemi sonuçlarına göre, güzergâh zorlukları (0,134) ve trafik yoğunluğu (0,081) gibi faktörler teslimat süreleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Bu bulgular, lojistik operasyonlarında iyileştirme yapılması gereken alanları net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Kontrol grafikleri kapsamında hata desenleri incelendiğinde, trafik yoğunluğu (X Kontrol Grafiği) verilerinde yaklaşık 5. gözlemde üst kontrol limitinin (0,15077) üzerinde bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu durum, o anki trafik yoğunluğunun beklenenden çok daha yüksek bir etki yarattığına ve özel bir nedenin varlığına işaret etmektedir. Araç durumu (X Kontrol Grafiği) incelendiğinde, değerler negatif bir ortalama (-0,0746) etrafında dağılmakta olup, yaklaşık beşinci gözlemde alt kontrol limitinin (-0,1279) altında kalan belirgin bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu nokta, ilgili zamanda araç durumunda olağan dışı ve beklenenden daha olumsuz bir gelişme (örn. ciddi bir arıza) yaşandığına işaret etmektedir. Operasyonel planlama eksiklikleri (X Kontrol Grafiği) verileri genel olarak kontrol limitleri arasında kalmış ve herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0547) etrafında nispeten kararlı bir seyir izlemektedir. Güzergâh Zorlukları (X Kontrol Grafiği) incelendiğinde, veri noktalarının kontrol limitleri (ÜKL: 0,1911, AKL: 0,0874) içinde kaldığı görülmektedir. Ortalama değer (0,1393) etrafında bir dalgalanma olmasına rağmen, süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır. Çevresel koşullar (X Kontrol Grafiği) verileri negatif bir ortalama (-0,0273) etrafında seyretmekle birlikte, yaklaşık 8. gözlemde Alt Kontrol Limiti'nin (-0,0941) altında bir kontrol dışı nokta bulunmaktadır. Bu, ilgili zamanda çevresel koşulların (örn. aşırı kötü hava) teslimat süresi sapmaları üzerinde beklenenden daha büyük ve olumsuz bir etki yarattığını göstermektedir. Son olarak, bilgi akışı sorunları (X Kontrol Grafiği) verileri genel olarak kontrol limitleri arasında kalmış ve herhangi bir kontrol dışı nokta gözlemlenmemiştir. Ortalama (0,0349) civarında bir istikrar söz konusudur. Genel olarak, trafik yoğunluğu, araç durumu ve çevresel koşullar hata desenlerine ilişkin grafiklerde kontrol dışı noktaların varlığı, bu alanlarda sürecin beklendiği gibi işlemediğini ve özel nedenlerin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgular, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini iyileştirmek için bu spesifik hata desenlerine odaklanması ve tespit edilen kontrol dışı durumların kök nedenlerini derinlemesine analiz etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Diğer desenler (operasyonel planlama eksiklikleri, güzergâh zorlukları, bilgi akışı sorunları) ise izlenen dönemde istatistiksel kontrol altında görünmektedir, bu da mevcut süreçlerin bu alanlarda daha istikrarlı olduğunu düşündürmektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışma, POBREP yönteminin lojistik sektöründeki teslimat süreçlerinde meydana gelen sapmaların nedenlerini analiz etmede ve bu sapmaların etkilerini sistematik bir biçimde ortaya koymada etkin bir metodolojik araç olduğunu göstermektedir. İstanbul ilinde faaliyet gösteren bir lojistik firmasından elde edilen saha verileri üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı analizler, teslimat süreçlerinde yaşanan sapmaların çok sayıda içsel ve dışsal faktörden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Özellikle dışsal faktörler arasında trafik yoğunluğu ve güzergâh zorlukları, teslimat süreçlerinde en belirgin ve kritik sapmalara yol açan unsurlar olarak ön plana çıkmıştır. Bunun yanı sıra, içsel faktörler arasında araçların teknik durumu ile operasyonel planlama eksiklikleri de teslimat performansını önemli ölçüde etkilemiş ve süreç verimliliğini düşürmüştür. POBREP yöntemiyle gerçekleştirilen hata desenlerinin analizi, bu faktörlerin her birinin teslimat süresi sapmalarına olan katkılarını detaylı ve niceliksel olarak ortaya koymuş, böylece teslimat süreçlerinin yönetiminde kritik kontrol noktalarının belirlenmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca, hata katsayılarının X kontrol grafikleri aracılığıyla izlenmesi, sürece ilişkin kalite kontrolünün etkinliğini artırarak kontrol dışı sapmaların erken tespiti ve müdahale imkânını güçlendirmiştir. Elde edilen bulgular, lojistik firmaların teslimat süreçlerinde özellikle trafik yönetimi, güzergâh optimizasyonu, araç bakım-performans süreçleri ve operasyonel planlama alanlarında iyileştirme ve yeniden yapılandırma faaliyetlerine öncelik vermeleri gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, çalışma lojistik süreçlerin performansını artırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini yükseltmek için stratejik karar alma süreçlerine önemli katkılar sunmakta; aynı zamanda teslimat süresi sapmalarının yönetilmesi adına daha sağlam ve bilimsel temellere dayanan iyileştirme çalışmalarının temelini atmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, lojistik sektöründe süreç iyileştirme ve kalite yönetimi alanlarında yapılacak ileri çalışmalara yol gösterici nitelikte olup, POBREP yönteminin sektörel uygulamalar için güçlü ve güvenilir bir analiz aracı olduğunu kanıtlamaktadır.

4.2. İyileştirme Önerileri

Lojistik süreçlerin verimliliğini artırmak ve operasyonel mükemmelliği sağlamak amacıyla çeşitli teknolojik ve yönetsel stratejiler uygulanabilmektedir. Günümüz rekabetçi pazar koşullarında, lojistik firmalarının dijital dönüşüme ayak uydurması ve süreçlerini optimize etmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Literatürde yer alan güncel yaklaşımlar ve saha uygulamalarından elde edilen veriler doğrultusunda aşağıdaki iyileştirme önerileri sunulmaktadır.

Rota Planlaması ve Optimizasyonu: Günümüz lojistik operasyonlarında rota planlaması, maliyetleri düşürme ve zaman yönetimi açısından kritik bir faktördür. Yapay zekâ destekli optimizasyon algoritmaları, geçmiş verileri analiz ederek en uygun rota seçeneklerini belirleyebilecektir. Bu kapsamda uygulanabilecek bazı yöntemler şunlardır:

- *Makine Öğrenmesi ve Büyük Veri*: Geçmiş teslimat süreleri, trafik yoğunluğu ve hava durumu gibi değişkenleri analiz ederek optimum rotaları belirleme.
- *Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS)*: Araçların ve depo konumlarının daha iyi optimize edilmesine olanak tanıyan harita tabanlı analizler.
- *Gerçek Zamanlı Rota Güncellemeleri*: IoT cihazları aracılığıyla rota güncellemeleri yaparak teslimat süreçlerinde %15'e varan iyileştirme sağlanabilir.

Dijital rota optimizasyonu, müşteri memnuniyetini artırırken yakıt tüketimini ve çevresel etkiyi de azaltarak sürdürülebilir lojistik uygulamalarına katkı sağlamaktadır (Atalay ve Çelik, 2017; Çolakoğlu, 2020).

Araç ve Ekipman Yönetimi: Lojistik süreçlerin etkinliği, araçların ve ekipmanların durumu ile doğrudan ilişkilidir. Önleyici bakım stratejileri ve akıllı takip sistemleri sayesinde operasyonel kesintiler en aza indirilebilecektir.

- *IoT ve Sensör Teknolojileri*: Araçlardaki sensörler, lastik basıncı, motor sıcaklığı gibi kritik bileşenleri izleyerek bakım ihtiyaçlarını öngörebilir.
- *Büyük Veri Analitiği ile Arıza Tahmini*: Geçmiş bakım kayıtlarını analiz ederek potansiyel arıza risklerini öngörmek.
- *Blokzincir Tabanlı Takip Sistemleri*: Yedek parça tedarik zincirini optimize ederek araç bakım süreçlerini hızlandırmak.

Örneğin, Predictive Maintenance algoritmaları uygulayan lojistik firmaları, bakım maliyetlerinde %20'ye varan düşüşler elde etmiştir. Bu sayede lojistik şirketleri, araçların kullanım ömrünü uzatarak operasyonel sürekliliği artırmaktadır (Pusat Lojistik, 2024; Sevinç ve diğerleri, 2022).

Operasyonel Planlama ve Tedarik Zinciri Yönetimi: Operasyonel verimliliği artırmak için ileri planlama teknikleri ve simülasyon modelleri kullanılmalıdır.

- *Talep Tahmini İçin Makine Öğrenmesi*: Geçmiş sipariş verileri ve piyasa trendlerine dayalı tahminleme sistemleri.
- *Otomatik Depo Yönetim Sistemleri (WMS)*: Depo içi envanter hareketlerini optimize ederek sipariş hazırlama sürelerini %30 oranında azaltabilir.
- *Blokzincir Tabanlı Şeffaf Tedarik Zinciri*: Malzeme hareketlerini gerçek zamanlı izleyerek süreç güvenliğini artırmak.

Lojistik firmaları için esnek ve dayanıklı tedarik zincirleri oluşturmak, kriz anlarında operasyonel aksaklıkları en aza indirerek rekabet avantajı sağlamaktadır (Çakaloz, 2008; Sevinç ve diğerleri, 2022).

Bilgi Akışı ve Dijital Dönüşüm: Etkili lojistik yönetimi için bilgi akışının hızlandırılması ve sistemlerin entegrasyonu kritik önem taşımaktadır.

- *Bulut Tabanlı ERP ve CRM Sistemleri*: Sipariş yönetimi, müşteri ilişkileri ve stok kontrol süreçlerini entegre ederek veri paylaşımını hızlandırır.
- *Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Gerçek Zamanlı Takip*: Araçların ve depo stoklarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi.
- *Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemleri*: Lojistik yöneticilerine operasyonel kararlar konusunda öneriler sunarak hatalı karar alma riskini azaltır.

Bu tür sistemlerin uygulanmasıyla lojistik süreçlerde hata oranlarında %25'e kadar düşüş sağlanabilmektedir (Bayraktutan ve Özbilgin, 2015; Sevinç ve diğerleri, 2022). Ayrıca, veri odaklı süreç yönetimi sayesinde şirketler, daha esnek ve müşteri odaklı hizmetler sunabileceklerdir.

Çevresel Faktörler ve Sürdürülebilir Lojistik: Çevresel sürdürülebilirlik, lojistik süreçlerde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yeşil lojistik uygulamaları sayesinde karbon ayak izi azaltılabilirken operasyonel verimlilik artırılabilir.

- *Elektrikli ve Hibrit Araç Kullanımı*: Fosil yakıt tüketimini azaltarak uzun vadeli maliyetleri düşürme.
- *Karbon Ayak İzi Hesaplama Modelleri*: Taşıma süreçlerinde emisyonları azaltmaya yönelik analizler.
- *Dijital Dokümantasyon ve Kağıtsız Operasyonlar*: Evrak süreçlerini dijitalleştirerek sürdürülebilirliğe katkı sağlama.

Nitekim yazındaki çalışmalar (Matek Çevre, 2024, Hiper Lojistik, 2024; Devkas, 2023) sürdürülebilir lojistik uygulamalarıyla operasyonel maliyetlerde %10-15 oranında azalma sağlanabilmektedir. Ayrıca, çevre dostu lojistik süreçleri, şirketlerin kurumsal sosyal sorumluluk projeleri kapsamında marka değerlerini artırmalarına da yardımcı olmaktadır.

Sonuç ve Genel Değerlendirme: Lojistik süreçlerin iyileştirilmesi için ileri teknoloji ve veri analitiği tabanlı yaklaşımlar benimsenmelidir. Yapay zekâ, büyük veri, IoT, blokzincir ve makine öğrenmesi gibi dijital dönüşüm araçları sayesinde lojistik operasyonlarında hız, maliyet, güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi temel unsurlar optimize edilebilecektir. Önerilen yöntemlerin uygulanmasıyla;

- Teslimat sürelerinde %15-30 iyileşme,
- Bakım maliyetlerinde %20 azalma,
- Depo operasyonlarında %30 verimlilik artışı,
- Hata oranlarında %25 düşüş sağlanabilir.

Bu bağlamda, lojistik sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin ve yöneticilerin, dijital dönüşüm ve veri analitiği tabanlı çözümlere yatırım yaparak süreçlerini sürekli olarak iyileştirmeleri büyük önem taşımaktadır. Gelecekte rekabet avantajı elde etmek isteyen firmalar, teknoloji destekli lojistik stratejilerine öncelik vermelidir.

4.3. Genel Değerlendirme ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma, lojistik sektöründe teslimat sürelerinde ortaya çıkan sapmaların nedenlerini sistematik bir şekilde ortaya koyarak, bu sapmaların azaltılmasına yönelik önemli iyileştirme önerileri geliştirmiştir. POBREP yöntemi, lojistik süreçlerdeki karmaşık hata desenlerinin tanımlanması ve analizinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, teslimat sürelerinde sapmalara yol açan başlıca faktörlerin; trafik yoğunluğu, güzergâh zorlukları, araç durumu, operasyonel planlama eksiklikleri ile bilgi akışındaki aksaklıklar olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan veri seti İstanbul ilinde faaliyet gösteren tek bir lojistik firmaya ait olup, bu durum bulguların genellenebilirliği açısından bir sınırlılık teşkil etmektedir. Gelecek araştırmalarda, farklı coğrafi bölgeler ve çeşitli lojistik firmaları üzerinde POBREP yöntemiyle yapılacak benzer analizlerin, sonuçların geçerliliğini artırarak literatüre önemli katkılar sunması beklenmektedir. Ayrıca, lojistik süreçlere yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi ileri düzey teknolojilerin entegrasyonu, teslimat sürelerindeki sapmaların daha hassas tahmin edilmesine ve etkili yönetimine imkân sağlayacaktır.

Sonuç olarak, teslimat süreçlerindeki sapmaların kontrol altına alınması, lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırarak maliyetlerini azaltmalarına ve müşteri memnuniyetini artırmalarına önemli katkılar sunacaktır. Bu bağlamda, çalışmada tanımlanan iyileştirme stratejilerinin etkin bir biçimde uygulanması, lojistik sektöründe sürdürülebilir rekabet avantajının elde edilmesinde belirleyici olacaktır. Dolayısıyla, bu araştırmanın lojistik süreçlerin optimize edilmesine yönelik literatürdeki boşluğu doldurması ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Kenan Orçanlı: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-
orijinal taslak **İlkay Erarslan:** Modelleme, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme, **Hasan Boztoprak:** Veri
Derleme, Analiz, Makale Yazımı-orijinal taslak

Kenan Orçanlı: Literature review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-
original draft **İlkay Erarslan:** Modelling, Writing-review and editing, **Hasan Boztoprak:** Data Curation,
Analysis, Writing-original draft

Çatışma Beyanı /Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.
It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.

KAYNAKÇA

- Acar, A.Z. (2020). "Lojistik Yönetimi", Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Acar, A.Z. ve Köseoğlu, A. M. (2014). "Lojistik Yaklaşımıyla Tedarik Zinciri Yönetimi", Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Atalay, M. ve Çelik, E. (2017). Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve makine Öğrenmesi Uygulamalar", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(22), 155-172.
- Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1996). "Process Oriented Basis Representations for Multivariate Process Diagnostics", *Quality Engineering*, 9, 107-118.
- Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1999). "Process-Oriented Basis Representations: Linking Manufacturing Process Design and Diagnosis", *Proceedings of the European Conference on Concurrent Engineering*, 9, 109-114.
- Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2015). "Uluslararası ve Yurtiçi Ticarete Taşıma Türlerinin Payı: Bir Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulaması", *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 405-436.
- Bayram, M., Şahin, H. ve Topal, B. (2023), "Tedarik Esnekliği, Teslimat Esnekliği, Planlama Süreci ve Tedarik Süreci Arasındaki Doğrudan ve Dolaylı İlişkilerin İncelenmesi", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 338-348. <https://doi.org/10.46387/bjesr.1335992>
- Birgören, B. (1998). "Multivariate Statistical Process Control for Quality Diagnostics and Applications to Process Oriented Basis Representations", Doktora Tezi, PennState University, Pennsylvania.
- Birgören, B. (2009). "Diagnosing Quality Problems on A Complex CNC Machine via Process-Oriented Basis Representations", *International Journal of Engineering, Research and Development*, 12, 34-47.
- Buran, A.Ç. ve Ağca, A. (2018). "Tedarik Zinciri Risklerinin Tedarik Zinciri Performansı Üzerinde Etkisi: Üretim İşletmelerinde Bir Araştırma", *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 14(2), 1-18.
- Christopher, M. (2016). "Logistics & Supply Chain Management", Pearson, London.
- Colón, E. (1997). "Component Registration Diagnosis for Printed Circuit Boards Using Process-Oriented Basis Elements", *Computers & Industrial Engineering*, 33, 389-392. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00119-8)
- Çakaloz, B. (2008). "Lojistik Yönetiminde Simülasyon Temelli Eğitim Yaklaşımları", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- Çolakoğlu, A. A. (2020). "Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Avrupa Havalimanları Analizi, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çotur, Ö.K. (2017). "İnşaat Tedarik Zincirleri ve İnşaat Lojistiği Üzerine Nitel Bir Araştırma", *Business & Management Studies: An International Journal*, 5(2), 423-447.
- Devkas (2023). <https://www.devkas.com/>, (Erişim Tarihi:12.10.2024)
- Dilek, Ş. ve İncaz, S. (2021), "Küreselleşme Sürecinde Teknolojik Dönüşümün Lojistik Sektörüne Etkileri", *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(2), 30-49. <https://doi.org/10.14514/BYK.m.26515393.2021.9/2.30-49>
- Emirkadı, Ö. ve Balcı, H. (2018). "Lojistik Sektörü ve Türkiye Dış Ticaretine Etkileri", *Journal of Institute of Economic Development and Social Researches*, 4(8), 123-132.
- Foster, E.J., Barton, R.R., Gautam, N, Truss, L.T. ve Tew, J.D. (2005). "The Process Oriented Multivariate Capability Index", *International Journal of Production Research*, 43, 2135-2148.
- Gedikli, T. ve Çayır Ervural, B. (2022). "En Uygun Tersine Lojistik Hizmet Sağlayıcısının Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı Altında Belirlenmesi", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(1), 50-64. <https://doi.org/10.7240/jeaps.929885>
- Hiper Lojistik (2024). <https://www.hiperlojistik.com/>, (Erişim Tarihi:15.10.2024)
- Kayabaşı, A. (2010). "Elektronik (Online) Alışverişte Lojistik Faaliyetlere Yönelik Müşteri Şikayetlerinin Analizi ve Bir Alan Araştırması", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 21-42.
- Matek Çevre (2024). <https://matekcevre.com.tr/>, (Erişim Tarihi: 25.08.2024)
- Orçanlı, K. (2017). "Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafikleri ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Döküm Sanayinde Bir İstatistiksel Süreç Kontrolü Uygulaması", Yayımlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Orçanlı, K. (2021). "A Statistical Process Control with Process Oriented Basis Representation in Casting Industry", *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(1), 134-158.
- Orçanlı, K., Oktay, E. ve Birgören, B. (2017). "The Effects of Covariance Over the Residuals of Process Oriented Basis Representation in Mulivariate Quality Control", *Social Sciences Research Journal*, 6(2), 20-40.

- Özcan, S. (2014). "Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerde Lojistik Yönetiminin Önemi", *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10), 275-300.
- Öztürk, Z.K., Güngör, K. ve Lepki, B. (2016). "Lojistik Sektöründe Çok Amaçlı Kapı Atama Problemleri İçin Bir Karar Destek Sistemi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(1), 21-29.
- Padilla, V.O. (2005), "Process Oriented Basis Estimation in Presence of Non-Orthogonal Basis Elements", Yüksek Lisans Tezi, University of Puerto Rico, Puerto Rico.
- Pusat Lojistik (2024). <https://pusatlojistik.com/>, (Erişim Tarihi: 15.10.2024)
- Runger, G.C., Barton, R.R., del Castillo, E. ve Woodall, W.H. (2007). "Optimal Monitoring of Multivariate Data for Fault Patterns", *Journal of Quality Technology*, 39(2), 159-172.
- Schmitt, A.J., Marcus, A. ve Barton, R. (2002). "Benefit Analysis of Process-Oriented Basis Representation As A Method Of Multivariate Statistical Process Control". IIE 2002 Conference Proceedings.
- Sevinç, H.K., Karakaş, İ.R. ve İbrahim, H. (2022). "Konumsal Büyük Veri: Özellikleri ve Avantajları", *VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2022)*, 17-19 Kasım 2022, Ankara.
- Tang, O. ve Musa, S.N. (2011). "Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management", *International Journal of Production Economics*, 133(1), 25-34.
- Yaprak, H. (2024). "Lojistik Performans Ölçütleri ve 2007-2023 Yılları Arasında Türkiye'nin Performansı", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 19-35. <https://doi.org/10.47147/ksuiibf.1539599>