

Marmara Bölgesinde Elleçlenen Yüklerin Analizi ve Tahmin Edilmesi

Elvan DENİZ^{1*} 

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Çan Higher Vocational School, Çanakkale, TÜRKİYE

Makale Künye Bilgisi: Deniz, E. (2025). Marmara Bölgesinde Elleçlenen Yüklerin Analizi ve Tahmin Edilmesi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 26(1), 1-15.

Öne Çıkanlar	
➤ Elleçlenen yük miktarlarında 2012–2024 döneminde genel bir artış eğilimi gözlemlenmiş, bu artışın 2025–2029 döneminde de devam edeceği tahmin edilmiştir. ➤ Artan yük hacmine karşılık limanların kapasite artırımı, veri temelli lojistik planlama ve zamanında stratejik yatırımların yapılması gerektiği ifade edilmiştir. ➤ Uzun vadeli (parabolik) ve kısa vadeli (üstel düzeltme) modellerin birlikte kullanılması, karar vericilere dengeli ve esnek senaryolar sunma açısından önerilmiştir.	
Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihçesi: Geliş: 15 Mayıs 2025 Kabul: 29 Mayıs 2025	Liman lojistiği, deniz taşımacılığının kritik bir parçası olup, yüklerin limana girişinden çıkışına kadar olan tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Uluslararası ticarete önemli merkezler olarak hizmet veren Marmara Bölgesi limanları, coğrafi konumları ve güçlü sanayi hinterlandı nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, resmi istatistiklere dayanarak 2012–2024 yılları arasında Marmara limanlarında elleçlenen yıllık yük miktarlarını (ton cinsinden) analiz etmektedir. Geçmiş verileri değerlendirmek ve 2025–2029 dönemi için tahminler üretmek amacıyla zaman serisi yöntemleri olan trend analizi, hareketli ortalama ve üstel düzeltme teknikleri Minitab 17 yazılımı uygulanmıştır. En uygun tahmin modelleri istatistiksel değerlendirme ile belirlenmiştir. Sonuçlar, yük hacimlerinde istikrarlı bir artış olduğunu göstermekte olup, bölgedeki liman altyapısının genişletilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu bulgular, Marmara Bölgesi'nde deniz lojistiğinin geleceğine yönelik lojistik planlama, altyapı geliştirme ve stratejik yatırım alanlarında görev alan politika yapıcılar ile paydaşlar için değerli bilgiler sunmakta; veriye dayalı karar alma süreçlerinin teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Zaman Serisi Analizi; Liman Lojistiği; Marmara Bölgesi Kapasite Artırımı; Talep Tahminleme.	

Analysis and Forecasting of Cargo Handling in the Marmara Region

Article Info	Abstract
Article History: Received: May 15, 2025 Accepted: May 29, 2025	Port logistics is a crucial part of maritime transportation, covering all activities from cargo entry to departure. Serving as major hubs in international trade, ports in the Marmara Region hold strategic importance due to their location and strong industrial hinterland. This study analyzes annual cargo handling volumes (in tons) at Marmara ports from 2012 to 2024 based on official statistics. Time series methods, including trend analysis, moving averages, and exponential smoothing, were applied Minitab 17 software to evaluate historical data and generate forecasts for the 2025–2029 period. The most suitable forecasting models were identified through statistical evaluation. The results indicate a consistent upward trend in cargo volumes, highlighting the need to expand port infrastructure in the region. These findings provide valuable input for policymakers and stakeholders in logistics planning, infrastructure development, and strategic investment, promoting data driven decision-making for the future of maritime logistics in the Marmara Region.
Keywords: Time Series Analysis; Port Logistics; Marmara Region; Capacity Expansion; Demand Forecasting.	

1. Giriş

1980’li yıllarda etkisini göstermeye başlayan küreselleşme süreci, 1990’lı yıllarda hız kazanarak dünya ekonomileri arasındaki karşılıklı etkileşimi önemli ölçüde artırmıştır. Üretim ve tüketim zincirlerinin uluslararası ölçekte yeniden yapılandırılması, denizyolu taşımacılığı ve dolayısıyla liman faaliyetlerinin stratejik önemini daha da artırmıştır. Artan ticaret hacmi, ülkeler arası mal akışının daha verimli ve hızlı şekilde yönetilmesini zorunlu kılarken, limanlar yalnızca birer yük aktarma merkezi değil, aynı zamanda ekonomik büyümenin temel dinamiklerinden biri haline gelmiştir (Rodrik, 2006; Krugman ve Obstfeld, 2009).

Bu bağlamda Türkiye, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve Asya ile Avrupa kıtaları arasında doğal bir köprü görevi görmesi nedeniyle küresel denizyolu taşımacılığı açısından stratejik bir lojistik merkez olarak değerlendirilmektedir (UNCTAD, 2023). Bu stratejik konum, Türkiye’nin liman altyapısını dış ticaretin en kritik bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Nitekim Türkiye’nin toplam dış ticaretinin yaklaşık %88’inin denizyolu ile gerçekleştirildiği bildirilmektedir (UTİKAD, 2024).

Marmara Bölgesi, sanayi üretimi, hinterland kapasitesi ve mevcut liman altyapısıyla Türkiye’nin dış ticaretinde belirleyici bir role sahiptir. İstanbul, Kocaeli, Tekirdağ ve Yalova gibi illerde yer alan büyük ölçekli limanlar sayesinde Marmara Bölgesi, hem ulusal hem de uluslararası denizyolu taşımacılığı açısından yüksek yoğunlukta yük hareketliliğine sahne olmaktadır (Ekici ve Kabak, 2022). Bölgede ayrıca Bursa iline bağlı Gemlik ve Mudanya limanları, sanayi üretimiyle entegre yapıları ve çevresindeki organize sanayi bölgeleri ile dikkat çekmektedir. Özellikle Gemlik Limanı’nın, yakın çevresinde konumlanan Gemlik Serbest Bölgesi ile birlikte çalışması, dış ticaret işlemlerinin hızlı ve verimli bir biçimde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu çerçevede Marmara’daki limanlar,

yalnızca fiziksel mal taşımacılığının değil; aynı zamanda sanayi üretimi, ihracat-ithalat dinamikleri ve lojistik etkinliğin de doğrudan göstergesidir (Grossman ve Helpman, 1991).

Son yıllarda küresel ticaret hacmindeki büyüme, özellikle Marmara gibi yüksek kapasiteli bölgelerde limanlara yönelik yatırım planlaması, altyapı geliştirme ve lojistik entegrasyon stratejilerinin daha veriye dayalı şekilde yürütülmesini gerektirmektedir (Acar ve Aydın, 2021). Bu doğrultuda, limanlarda elleçlenen yük miktarlarının düzenli analiz edilmesi ve gelecek yıllara ilişkin tahminlerin yapılması, karar vericilere stratejik bir perspektif sunmaktadır.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi limanlarında 2012–2024 yılları arasında elleçlenen yük miktarları kullanılarak, 2025–2029 dönemine yönelik tahminler oluşturulmuştur. Bu amaçla zaman serisi analiz yöntemlerinden trend analizi, hareketli ortalama ve üstel düzeltme (exponential smoothing) gibi yöntemler de uygulanmış; farklı modellerin tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Trend analizi, zaman içerisindeki genel yönü belirlemeye yardımcı olurken; üstel düzeltme yöntemi, yakın dönem verilerine daha fazla ağırlık vererek kısa vadeli tahminlerde esneklik sağlamaktadır. Hareketli ortalama yöntemi ise serideki rastgele dalgalanmaların etkisini azaltarak genel eğilimi daha belirgin şekilde ortaya koymaktadır.

Tüm analizler Minitab 17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, Marmara Bölgesi’nin dış ticaretteki yük trafiğine dair mevcut eğilimi ortaya koymakta ve bu eğilim doğrultusunda altyapı planlaması ve liman stratejilerinin şekillendirilmesine katkı sağlamaktadır.

1.1. Talep Tahminin Önemi

Limanlarda gelecek dönemlerde elleçlenecek yük miktarını tahmin etmek, stratejik ve operasyonel planlama açısından kritik bir ihtiyaçtır. Doğru tahminler sayesinde limanlar, ileride oluşacak yük

talebini karşılayacak kapasiteyi önceden planlayabilir ve böylece ne aşırı kapasiteyle atıl kalma ne de yetersiz kapasiteyle tıkanıklık yaşama durumuna düşer. Liman altyapısı ve ekipman yatırımları yüksek maliyetli ve uzun vadeli olduğundan, kapasite arzının gelecekteki talebe uygun şekilde tasarlanması gerekir. (Jugović, A., Hess, S., ve Poletan Jugović, T.) Aksi halde talep ve arz uyumsuzluğu ciddi sonuçlar doğurur: Tahmini olduğundan fazla kapasite planlanırsa kaynaklar atıl kalır, düşük kapasite planlanırsa yoğun talep karşılanamaz. Ayrıca tahminler, liman işletmesinin günlük operasyonlarını ve kaynak dağılımını planlamasında da rehberlik eder. Kısacası, liman talep tahmini, limanların hem stratejik (uzun vadeli kapasite ve yatırım) hem de taktik/operasyonel (kısa vadeli işletme planları) düzeyde sağlıklı kararlar alabilmelerinin temelini oluşturur. (Jugović, A., Hess, S., ve Poletan Jugović, T. (2011).)

1.2. Literatür Taraması

Türkiye'nin dış ticaretinde önemli bir rol üstlenen Marmara Bölgesi limanları üzerine yapılan akademik çalışmalar, hem elleçleme faaliyetlerinin analizi hem de geleceğe dönük tahmin modelleri açısından oldukça çeşitlenmiştir. Bu çalışmalar zamanla klasik ekonometrik modellerden yapay zekâ tabanlı yöntemlere doğru evrilmiştir.

Akten ve Koldemir (2011), Marmara Bölgesi limanlarının yük türlerine göre karakteristik yapılarını incelemiş ve özellikle İstanbul ile Kocaeli limanlarının konteyner taşımacılığında ön plana çıktığını belirtmiştir.

Oral ve arkadaşları (2012), Marmara Bölgesi limanlarında ekonometrik modellerin tahmin performansını incelemiş; çoklu regresyon analizlerinin kısa vadeli öngörülerde etkili olduğunu belirtmiştir. Esmer ve Karataş Çetin (2013), İstanbul ve İzmit limanlarında elleçlenen konteyner yükleri için ARIMA

modeli uygulamış ve yüksek tahmin doğruluğu elde etmiştir.

Nas (2014), İzmit Körfezi'ndeki limanlarda tehlikeli madde elleçleme süreçlerini analiz etmiş ve bu bölgenin kimyasal ve petrol ürünleri taşımacılığındaki stratejik rolüne dikkat çekmiştir.

Zorlu ve Kuleyin (2016), bölgedeki liman altyapı yatırımlarının yük akışı üzerindeki etkisini analiz ederek, özellikle derin su limanlarının büyük tonajlı gemiler açısından önem kazandığını ifade etmiştir. Kara ve Deniz (2016), İstanbul'daki üç büyük limanı (Haydarpaşa, Ambarlı, Zeytinburnu) karşılaştırmalı olarak incelemiş ve şehir içi liman yapılarının dönüşümünü analiz etmiştir.

Çancı ve Önce (2016), ARIMA ve Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerini birleştirerek Marmara limanlarında hibrit tahmin modellemesi yapmış ve klasik modellere kıyasla daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Kuzu ve Önder (2017) ise, tarımsal ürünlerin elleçlenmesindeki mevsimsel desenleri analiz etmiş ve bu desenlerin liman planlamasında dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Öztürk ve Çetin (2017), Tekirdağ ve Çanakkale limanlarında elleçlenen tarım ürünlerini incelemiş ve güney Marmara'nın tarım ihracatında artan rolüne işaret etmiştir. Şener ve Başer (2018), İzmit Körfezi'nde petrokimya tesislerine hizmet veren limanların sıvı yük kapasitelerini analiz etmiştir.

Akar ve Esmer (2017), döviz kuru dalgalanmalarının Marmara limanlarında özellikle konteyner bazlı yüklerde belirgin etkiler yarattığını göstermiştir. Aydın ve Ünlüyurt (2019), Tekirdağ limanlarında derin öğrenme modelleri ile dökme yük tahmini yapmış ve geleneksel modellere göre üstün performans elde etmiştir.

Saatçioğlu ve Karaca (2019), Marmara limanlarının kara ve demiryolu bağlantılarını analiz ederek

multimodal taşımacılığın yük akışına etkisini tartışmıştır. Keleş ve Koldemir (2020), İstanbul ve Kocaeli limanlarında YSA modelleri ile konteyner tahminleri üretmiş ve başarılı sonuçlara ulaşmıştır.

Özdemir ve Çetin (2020), Çanakkale Boğazı'ndan geçen yük gemilerinin Marmara limanlarına yönelmesini analiz etmiş ve trafik yoğunluklarının dönemsel olarak değiştiğini vurgulamıştır. Ergin ve Eker (2022), gri sistem teorisi ve bulanık mantığı birleştirerek İzmit Körfezi limanlarında tehlikeli madde yükleri için belirsizlik altı tahmin modelleri geliştirmiştir.

Kırılmaz ve Erol (2021), COVID-19 pandemisinin liman elleçleme faaliyetleri üzerindeki etkilerini analiz etmiş ve tedarik zincirindeki aksaklıkların Marmara limanlarına olan yansımalarını ortaya koymuştur. Kıyak ve Tümen (2022), büyük veri analitiği kullanarak yük hareketlerini gerçek zamanlı izleyebilen modeller geliştirmiştir.

Marmara Bölgesi limanlarının artan yük hacmi dikkate alındığında, klasik zaman serisi analizlerinin yanı sıra simülasyon temelli yaklaşımların da planlama süreçlerine entegre edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, Tuncel, Yalçinkaya, Deniz ve Esmer. (2024) tarafından önerilen simülasyon çerçevesi, limanlardaki farklı vinç döngüleme stratejilerinin etkinliğini kıyaslayarak, karar vericilere operasyonel düzeyde destek sunmaktadır.

Yeşilbayrak ve Ertem (2023), dijital ikiz ve simülasyon teknolojileriyle Marmara limanlarındaki operasyonları modellemiş ve tahmin doğruluğunu artıran senaryolar üretmiştir.

Tuncel ve Deniz (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ambarlı Limanı'nda yürütülen bir vaka analizi kapsamında, liman operasyonlarının operasyonel etkinliğini artırmaya yönelik bir simülasyon tabanlı karar destek yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmada, gemi bekleme sürelerinin

azaltılması ve konteyner elleçleme maliyetlerinin düşürülmesi temel hedef olarak belirlenmiş; bu doğrultuda, süreç optimizasyonu için Tepki Yüzeyi Yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, RSM temelli modelin liman operasyonlarında performans iyileştirmesi sağladığını ve karar vericiler için etkili bir optimizasyon aracı sunduğunu ortaya koymaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Metot

Tahmin süreci, geçmiş ve güncel verilere dayanarak gelecekte ortaya çıkabilecek durumların veya değişkenlerin muhtemel sonuçlarını öngörmeye yönelik sistematik bir yaklaşımdır. İstatistiksel açıdan tahmin, doğrudan gözlemlenemeyen bir parametrenin değerinin, geçmiş verilerden türetilen örneklem bilgileri aracılığıyla hesaplanması sürecini ifade eder. Bu yöntemler sayesinde karar vericiler, belirsizlik ortamlarında daha etkili stratejik planlamalar yapabilmekte ve riskleri minimize etme fırsatı yakalayabilmektedir (Makridakis vd, 1998).

Bu bağlamda, liman faaliyetlerine ilişkin yük hacmi verilerinin analizi ve tahmini, özellikle ulaştırma, lojistik ve dış ticaret politikaları açısından büyük önem taşımaktadır. Zaman serisi analizleri, bu tür tahmin çalışmalarında sıklıkla başvuru alan temel yöntemlerden biridir. Zaman serisi verileri; belirli bir zaman dilimi içinde meydana gelen eğilimler, mevsimsel etkiler, rastlantısal dalgalanmalar ve yapısal değişiklikler gibi bileşenler içerebilir. Bu analizlerin temel amacı, gözlemlenen örüntülerden yararlanarak gelecekteki yük hareketlerine dair tahminlerde bulunmak ve dışsal faktörlerin olası etkilerini değerlendirmektir.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde yer alan limanlarda 2012–2024 yılları arasında elleçlenen toplam yük miktarlarına ilişkin yıllık veriler kullanılmıştır. Söz konusu veriler, Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM) gibi resmi ve

güvenilir kaynaklardan derlenmiştir (TÜRKLİM, 2025). Verilerin yıllık düzeyde düzenlenmiş olması, zaman serisi analizlerinin uygulanabilirliğini artırmış ve tahmin modellerinin istatistiksel geçerliliğini sağlamıştır.

2.2. İstatistiksel Analizler

2.2.1. Trend Analizi

Trend analizi, zaman serisi verilerinin genel eğilim yönünü belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Makridakis vd., 1998). Trend analizi, zaman serilerindeki uzun vadeli değişim yönünü ortaya koymak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Verilerdeki artış ya da azalış eğilimleri incelenerek, bu eğilimlerin gelecekte sürmesi ihtimali üzerinden tahminler yapılır. Yalnızca bireysel birimler (örneğin tek bir liman) için değil, aynı zamanda bölgesel veya ulusal düzeydeki makro değişkenlerin incelenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde, geçmiş verilere dayalı olarak belirlenen artış ya da azalış eğilimleri üzerinden geleceğe yönelik öngörüler geliştirmek mümkündür.

Liman yönetimi ve deniz taşımacılığı gibi alanlarda trend analizi, elleçlenen yük miktarlarının yıllar içindeki değişimlerinin değerlendirilmesinde stratejik bir araçtır. Örneğin, Türkiye genelindeki limanlarda son 10–20 yılda gözlemlenen yük artış trendi analiz edilerek, önümüzdeki dönemlerde toplam elleçleme kapasitesine yönelik senaryolar oluşturulabilir. Bu senaryolar genellikle kötümser, olasılık temelli (ortalama) ve iyimser varsayımlarla çeşitlendirilir (Makridakis vd., 1998).

Trend analizinin kullanım alanları sadece deniz taşımacılığı ile sınırlı kalmamakta; aynı zamanda enerji talebi tahminleri, nüfus projeksiyonları, ekonomik büyüme analizleri, satış ve gelir öngörülerini gibi pek çok alanda da uygulanmaktadır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Özellikle kamu politikalarının şekillendirilmesi, altyapı yatırımları ve uzun vadeli

lojistik planlamalarda bu yöntem karar vericiler için önemli bir girdi sunmaktadır (Stopford, 2009). Sonuç olarak, trend analizi liman yük istatistiklerinin uzun vadeli davranışını anlamamızı sağlar ve geleceğe yönelik en temel tahmin çizgisini çizer.

2.2.2. Basit Hareketli Ortalama

Basit Hareketli Ortalama (BHO), zaman serisi analizinde kullanılan temel bir tahmin yöntemidir ve belirli sayıda geçmiş gözlemin aritmetik ortalamasının alınmasıyla oluşturulur. Bu yöntem, veri setindeki kısa vadeli dalgalanmaları düzleştirerek genel eğilimleri ortaya koymayı amaçlar (Makridakis vd., 1998). Özellikle stok kontrolü, üretim planlaması ve talep tahmini gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Nahmias ve Olsen, 2015). BHO'nun temel avantajı, hesaplamasının kolay ve yorumlanabilir olmasıdır; ancak ani değişimlere duyarlı kalabilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Yöntemin doğruluğu, seçilen gözlem sayısına (örneğin 3 dönemlik veya 5 dönemlik ortalama) bağlıdır. Hareketli ortalama penceresi arttıkça model, veri setindeki rastlantısal etkileri daha fazla düzleştirir ancak bu durum öngörülerin güncelliğini azaltabilir (Montgomery, Jennings ve Kulahci, 2015). Bu nedenle, kısa dönemli tahminler için daha düşük periyotlar tercih edilmektedir.

2.2.3. Basit Üstel Düzeltme

Basit Üstel Düzeltme (Single Exponential Smoothing) (Brown, 1959), zaman serilerinde kısa vadeli tahminler yapmak amacıyla geliştirilen ve son gözlemlere daha fazla ağırlık veren bir yöntemdir. Bu yöntem, geçmiş verilere üstel azalan ağırlıklar uygulayarak geleceğe yönelik tahminler üretir. Basit hareketli ortalamanın aksine, eski veriler tamamen dışlanmaz; ancak etkileri zamanla azalır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Tahmin, önceki tahminin ve mevcut gözlemin bir kombinasyonudur; bu da yöntemin esnekliğini ve veri değişimlerine duyarlılığını artırır (Makridakis vd., 1998). Düzeltme katsayısı (α), modelin yeni verilere ne kadar hızlı tepki verdiğini belirler. α değeri 1'e

yaklaştıkça tahminler yeni verilere daha çok duyarlı olur, 0'a yaklaştıkça ise daha durağan hale gelir (Gardner, 1985). Yöntem, trend veya mevsimsellik içermeyen verilerde özellikle başarılı sonuçlar vermektedir.

2.2.4. Çift Üstel Düzeltme

Çift Üstel Düzeltme (Double Exponential Smoothing), zaman serilerinde hem düzey (seviye) hem de trend bileşenini içeren veriler için kullanılan bir tahmin yöntemidir. Basit üstel düzeltmenin aksine, bu yöntemde hem mevcut değere hem de eğilim (trend) değişimine duyarlılık gösterilir (Brown, 1963). Çift üstel düzeltme, iki parametreye dayanır: düzey katsayısı (α) ve trend katsayısı (β). Bu parametreler sayesinde model, veri setindeki eğilimleri daha etkili şekilde takip edebilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Özellikle doğrusal bir artış veya azalış içeren zaman serilerinde, bu yöntem tahmin doğruluğunu artırır (Makridakis, Wheelwright ve Hyndman, 1998). Her tahmin, önceki tahmin ve eğilim bileşeninin güncellenmesiyle elde edilir. Brown ve Holt'un geliştirdiği versiyonları uygulamada en çok tercih edilen varyantlardır (Gardner, 1985). Çift üstel düzeltme, kısa ve orta vadeli talep tahminlerinde sıklıkla kullanılmakta ve mevsimsellik içermeyen verilerde etkili sonuçlar vermektedir.

2.2.5. Talep Tahmininde Kullanılan Hata Ölçütleri

Talep tahmininde kullanılan hata ölçütleri, modelin doğruluğunu değerlendirmek ve alternatif tahmin yöntemlerini karşılaştırmak açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda en yaygın kullanılan hata ölçütlerinden biri Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) olup, tahmin hatalarının yüzde cinsinden ortalamasını ifade eder ve farklı ölçeklerdeki verilerin karşılaştırılmasına olanak tanır (Hyndman ve Koehler, 2006).

Bir diğer yaygın ölçüt olan Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation – MAD), tahmin edilen

değerlerle gözlemlenen gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını alarak tahmin hatalarının ortalama düzeyini yansıtır. Ortalama Karesel Sapma (Mean Squared Deviation – MSD) ise tahmin hatalarının karelerinin ortalamasını alarak, büyük hatalara daha yüksek ceza vererek modelin istikrarını değerlendirmede kullanılır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018).

2.3. Model Varsayımları, Sınırlamalar ve Model Seçim Süreci

Bu çalışmada kullanılan zaman serisi analiz yöntemleri belirli istatistiksel varsayımlara dayanmaktadır. Öncelikle, veri setinin doğrusal regresyon analizlerine uygun olup olmadığını test etmek amacıyla normal dağılım varsayımı Anderson-Darling testi ile değerlendirilmiş ve p-değeri %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde çıktığı için normal dağılım varsayımı kabul edilmiştir.

Zaman serisi modellerinin seçiminde temel kriterler; açıklayıcılık düzeyi (R^2 , R^2_{adj}), tahmin gücü (R^2_{pred}) ve hata ölçütleri (MAPE, MAD, MSD) olmuştur. Box-Jenkins (ARIMA) modeli veri setinin yapısı nedeniyle elenmiş, mevsimsellik içermeyen ve yıllık düzeydeki verilere daha uygun olan trend analizi (doğrusal, parabolik, üssel), hareketli ortalama ve üstel düzeltme yöntemleri tercih edilmiştir.

Her modelin tahmin gücü, hem istatistiksel anlamlılık hem de pratik geçerlilik açısından karşılaştırılmıştır. Modeller, mevsimsellik veya dışsal değişkenler içermediğinden yalnızca içsel örüntülere dayalı tahminler üretmiştir. Bu durum, çalışmanın temel sınırlamalarından biridir.

Model sınırlamaları arasında; dış ticaret politikaları, ekonomik krizler veya büyük yapısal kırılmalar gibi dışsal faktörlerin dikkate alınmaması sayılabilir. Ayrıca, veri seti yalnızca Marmara Bölgesi genelini kapsadığı için limanlar arası farklılıklar modelde yansıtılamamıştır. Bu bağlamda, elde edilen tahminler

mevcut örüntülerin devam edeceği varsayımıyla geçerlidir.

3. Araştırma Yöntemi

Bu çalışmanın temel amacı, Marmara Bölgesi limanlarında 2012–2024 yılları arasında elleçlenen yük miktarlarına ilişkin yapısal eğilimleri analiz ederek, bölgesel liman faaliyetlerinin geleceğine yönelik öngörüler sunmaktır. Marmara Bölgesi, Türkiye'nin sanayi ve dış ticaret açısından en yoğun hinterlanda sahip bölgesi olması nedeniyle, liman operasyonları bakımından stratejik bir konuma sahiptir. Bu kapsamda, elde edilen bulgular hem kamu kurumlarının altyapı ve yatırım planlamalarına yön verecek hem de özel sektör paydaşlarına stratejik karar alma süreçlerinde rehberlik edecek niteliktedir.

Analiz sürecinde, Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM) gibi güvenilir kurumsal kaynaklardan elde edilen yıllık bazdaki toplam yük elleçleme verileri kullanılmıştır. Veri seti, zaman serisi analizlerinin uygulanmasına elverişli biçimde düzenlenmiş olup, örüntü analizi ve tahminleme amacıyla kullanılmıştır. Verilerin ön işleme sürecinde, eksik gözlem veya aykırı değer bulunmamış; dolayısıyla düzeltme veya veri temizliği işlemi gerekmemiştir.

Model seçimi aşamasında, zaman serisi yapısına uygunluğun belirlenmesine özen gösterilmiştir. Ön değerlendirmeler sonucunda Box-Jenkins (ARIMA) yaklaşımı incelenmiş; ancak serinin mevsimsellik içermemesi, gözlem sayısının sınırlı olması ve model varsayımlarına yeterince uygun olmaması nedeniyle tercih edilmemiştir. Bunun yerine, zaman serisinin genel eğilimini ve kısa vadeli dalgalanmaları açıklamada daha etkin olan yöntemlere odaklanılmıştır. Bu doğrultuda trend analizleri (doğrusal, parabolik, üssel), hareketli ortalama (3 ve 5 dönemlik) ve üstel düzeltme (basit ve çift) yöntemleri uygulanmıştır.

Model değerlendirme sürecinde, yalnızca açıklayıcılık (R^2 , R^2_{adj}) değil aynı zamanda tahmin edilebilirlik

(R^2_{pred}) ve hata ölçütleri (MAPE, MAD, MSD) de dikkate alınmıştır. Modellerin varsayımları, sınırları ve seçilme gerekçeleri detaylı biçimde Bölüm 2.3'te sunulmuştur.

4. Bulgular

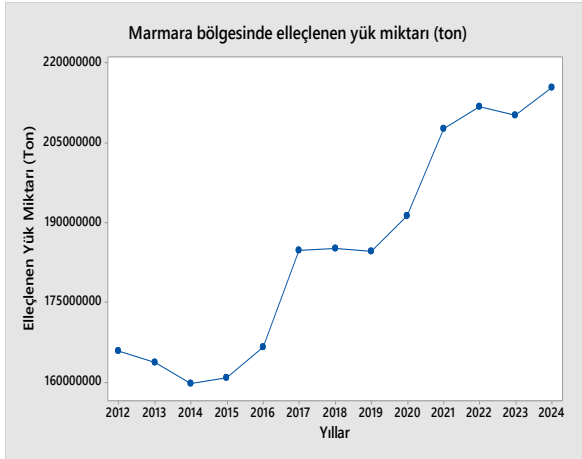
Tablo 1'de görüldüğü üzere, 2012 yılındaki yaklaşık 165,8 milyon ton seviyesinden 2024 yılında 215,3 milyon ton seviyesine bir artış gerçekleşmiştir. Bununla birlikte bazı yıllarda düşüşler veya dalgalanmalar dikkati çekmektedir (örneğin 2013–2014 arası düşüş, 2016'dan 2017'ye belirgin artış, 2022'den 2023'e küçük bir düşüş). Verilerin analizi öncesi normal dağılım gösterip göstermediği kontrollünün yapılması gerekmektedir.

Tablo 1. Marmara bölgesinde elleçlenen yük miktarı (ton)

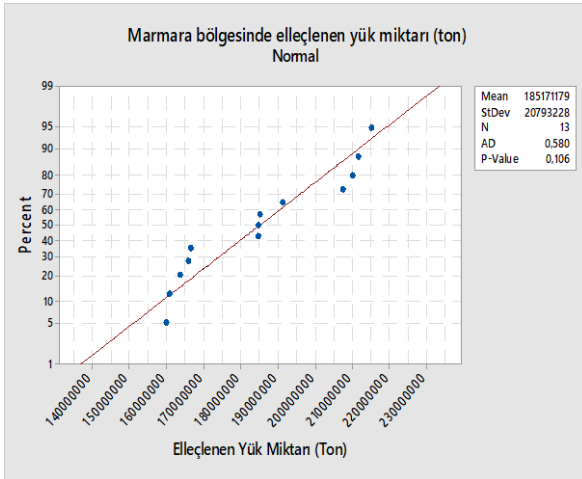
Yıllar	Elleçlenen Yük Miktarı (Ton)
2012	165.808.652
2013	163.739.271
2014	159.856.938
2015	160.810.595
2016	166.553.197
2017	184.699.191
2018	185.186.598
2019	184.661.739
2020	191.203.199
2021	207.554.085
2022	211.707.897
2023	210.169.062
2024	215.274.899

Şekil 1'de Marmara Bölgesi'nde elleçlenen yük miktarlarının yıllara göre dağılımını gösteren zaman serisi grafiği sunulmaktadır. Bu veri setinin normal dağılıma uygunluğunu değerlendirmek amacıyla, özellikle gözlem sayısının sınırlı olduğu durumlarda önerilen Anderson-Darling testi (AD) testi uygulanmış ve sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. AD testi

(Anderson & Darling, 1954), küçük örneklerde normal dağılım varsayımının test edilmesinde sıklıkla tercih edilen, güçlü ve duyarlı bir istatistiksel yöntemidir. Elde edilen sonuçlara göre, AD istatistik değeri 0,58, p-değeri ise 0,106 olarak hesaplanmıştır. P-değerinin, yaygın olarak kullanılan %5 anlamlılık düzeyinin ($\alpha = 0,05$) üzerinde olması nedeniyle, ilgili veri setinin istatistiksel olarak normal dağılıma uygunluk gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. Marmara bölgesinde elleçlenen yüklerin zaman serisi grafiği



Şekil 2. Marmara bölgesi'nde elleçlenen yük miktarının normal dağılıma uygunluk grafiği (Anderson-Darling testi)

4.1. Trend Analizleri

Bu çalışmada, zaman serisi verilerinin eğilim yapısını belirlemek amacıyla trend analizleri uygulanmıştır. Bu

kapsamda, veriye uygun farklı eğilim türlerini test edebilmek için üç farklı trend modeli dikkate alınmıştır: Doğrusal, parabolik ve üssel trend analizleri. Her bir model, serinin yapısal özelliklerine göre değerlendirilmiş ve uygunluk düzeyleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Trend analizlerinde kullanılan regresyon modellerindeki bağımsız değişken olarak zaman (yıl) alınmış ve 2012 yılı $t=0$ başlangıç noktası olacak şekilde kodlanmıştır (yani $t = \text{Yıl} - 2012$).

4.1.1. Doğrusal (Linear) Trend Analizi

Varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre, regresyon modeline ilişkin F-istatistiği 108,27 ve p-değeri = 0,00 olarak bulunmuştur. Bu durum, modelin genel olarak anlamlı olduğunu ve bağımlı değişkendeki (elleçlenen yük miktarı) değişimin büyük ölçüde bağımsız değişken (zaman-t) tarafından açıklandığını göstermektedir. Model özet istatistikleri incelendiğinde; açıklayıcılık oranını gösteren belirleme katsayısı (R^2) %90,78, düzeltilmiş belirleme katsayısı (R^2_{adj}) %89,94 ve tahmin edilebilirlik düzeyini gösteren tahmini R^2 (R^2_{pred}) %86,51 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, modelin yüksek bir doğrulukla veri setini açıkladığını ortaya koymaktadır.

Regresyon katsayılarına göre model denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_t = 154.648.872 + 5.087.051 \cdot t$$

Bu denklem doğrultusunda, yıllar ilerledikçe elleçlenen yük miktarının ortalama olarak her yıl yaklaşık 5.087.051 ton arttığı anlaşılmaktadır. Zaman değişkenine ait p-değeri 0,000 olup, istatistiksel olarak anlamlıdır.

4.1.2. Parabolik (Quadratic) Trend Analizi

Doğrusal model küçük sapmalarla birlikte genel artış eğilimini yakalasa da, veride 2012-2016 arasında nispeten yavaş artış/düşüş ve 2016 sonrası daha hızlı bir

artış trendi göze çarpmaktadır. Bu nedenle ikinci dereceden bir parabolik model de denenmiştir. Modelde zaman (t) ve zamanın karesi (t²) değişkenleri bağımsız değişkenler olarak kullanılmış, bağımlı değişken ise yıllık elleçlenen konteyner yük miktarı (ton) olarak tanımlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen ANOVA tablosuna göre model genel anlamda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F = 61,91; p < 0,001). Bu durum, zaman değişkeninin (doğrusal ve ikinci dereceden) birlikte modele anlamlı katkı sunduğunu göstermektedir.

Modelde R² %92,53, R²_adj değeri ise %91,03 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, kurulan regresyon modelinin toplam konteyner hacmindeki değişimin %91'inden fazlasını açıkladığını ve modelin yüksek bir uyum sergilediğini göstermektedir. Buna karşın, bireysel bağımsız değişkenlerin anlamlılığı incelendiğinde, zaman (t) değişkeni için p = 0,175 ve zamanın karesi (t²) için p = 0,157 olup istatistiksel anlamlılık düzeyinin üzerinde kalmaktadır. Bu sonuç, her iki değişkenin de tek başına modele anlamlı katkı sunmadığını, ancak birlikte değerlendirildiğinde modelin geneli açısından güçlü bir açıklama sağladıklarını göstermektedir. Elde edilen regresyon denklemi ise:

$$Y_t = 159.333.132 + 2.532.000 t + 212.921 t^2$$

4.1.3. Üssel (Exponential) Trend Analizi

Doğrusal ve parabolik analizlere ek olarak üçüncü trend analizi olan üssel trend analizinde model denenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, regresyon modeline ilişkin F-istatistiği 106,28 ve p-değeri = 0,00 olarak bulunmuştur ve model anlamlıdır. Regresyon katsayılarına göre model denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_t = 152011765 \cdot (1,02774)^{t+1}$$

Model özet istatistikleri incelendiğinde, R² %90,62, R²_adj değeri %89,77 ve R²_pred değeri %86,31 olarak elde edilmiştir.

4.1.4. Trend Analiz Sonuçları

Her üç model de istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü sonuçlar üretmiş olmakla birlikte, Tablo 2'de görüldüğü üzere parabolik trend modeli, en yüksek (R²) ile diğer modellerden ayrılmaktadır. Bu durum, söz konusu modelin veri setindeki değişkenliği açıklama kapasitesinin daha yüksek olduğunu ve tahmin performansı açısından daha üstün bir model olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Trend analizi modellerine ait istatistiksel uyum göstergeleri

Trend Analiz Türü	R ²	R ² (Adjusted)	R ² (Predicted)	P Value
Doğrusal (Linear)	90,78%	89,94%	86,51%	0,000
Parabolik (Quadratic)	92,53%	91,03%	85,70%	0,000
Üssel (Exponential)	90,62%	89,77%	86,31%	0,000

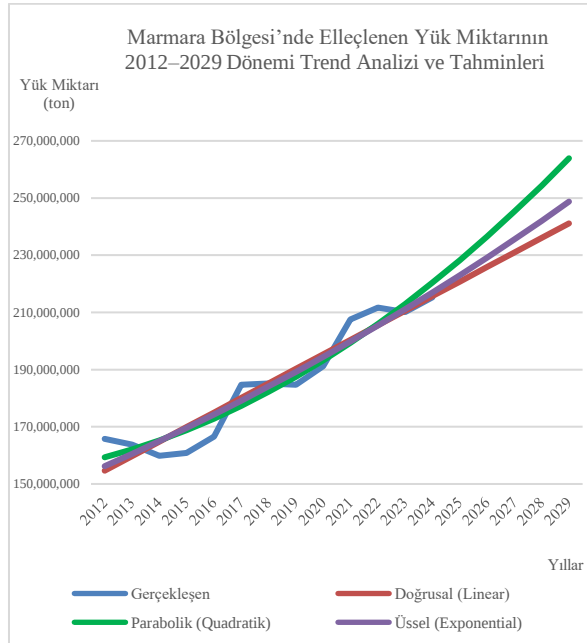
Doğrusal model, yorum kolaylığı açısından avantaj sağlamakta, Üssel model, sabit oranlı artışı başarıyla modellemekte, Parabolik model ise verinin farklı dönemlerindeki artış hızlarını en iyi yansıtan ve en yüksek R² sahip model olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 3. Trend analizi modellerine ait hata ölçütlerinin karşılaştırılması

Trend Analiz Türü	MAPE	MAD	MSD
Doğrusal (Linear)	2,88240	5,0929 x 10 ⁶	3,68068 x 10 ¹³
Parabolik (Quadratic)	2,74151	4,99463 x 10 ⁶	2,98251 x 10 ¹³
Üssel (Exponential)	2,82536	5,03898 x 10 ⁶	3,32212 x 10 ¹³

Trend analizi modellerine ilişkin istatistiksel uyum göstergelerine ek olarak, hata ölçütleri açısından da karşılaştırma yapılmıştır. Bu doğrultuda, MAPE, MAD ve MSD değerleri değerlendirilmiştir. Tablo 3'te

görüldüğü üzere, tüm hata ölçütleri bakımından en düşük değerlere sahip modelin parabolik trend modeli olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, parabolik modelin yalnızca istatistiksel uyum açısından değil, aynı zamanda tahmin performansı açısından da diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Marmara bölgesi için trend modelleri ile yük miktarı tahminleri

Bu nedenle, ileri dönemlere yönelik tahminleme ve stratejik planlama süreçlerinde, parabolik modelin dikkate alınması, daha isabetli ve güvenilir öngörüler elde edilmesini sağlayacaktır. Modellere ait tahminler şekil 3'te gösterilmektedir.

4.2. Hareketli Ortalama

3 dönemlik hareketli ortalama yöntemi ile geleceğe yönelik tahminleme yapılmıştır. Uygulanan model, serideki kısa dönemli dalgalanmaları ortadan kaldırarak daha sade bir eğilim profili ortaya koymuştur. Regresyon katsayılarına göre model denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_t = 139420866 + 5623909 * t$$

Analiz sonucunda, 2025–2029 yıllarına yönelik olarak her yıl için sabit bir tahmin değeri olan 212.383.953 ton elde edilmiştir. Alt ve üst tahmin sınırları %95 güven aralığında 187,5 milyon ton ile 237,2 milyon ton arasında değişmektedir.

Modelin performansı; %5,46 MAPE, 10,63 milyon ton MAD ve $1,61 \times 10^{14}$ ton MSD hata ölçütleriyle değerlendirilmiş olup, modelin genel doğruluk seviyesi kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır.

3 dönemlik hareketli ortalama yöntemiyle yapılan analiz, kısa vadeli dalgalanmaları azaltarak veri setinde güçlü bir eğilim ortaya koymuştur. Modelin özet istatistikleri incelendiğinde, %97,11 R^2 , %96,79 R^2_{adj} ve %94,90 R^2_{pred} değeri ile oldukça yüksektir. Ayrıca, p-değeri = 0,00 modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, yöntemin liman yük tahminlerinde güvenilir ve etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Beş dönemlik hareketli ortalama yöntemi ve doğrusal regresyon modeli yardımıyla geleceğe yönelik tahminleme yapılmıştır. Uygulanan yöntem, veri setindeki kısa vadeli dalgalanmaları yumuşatarak daha sade ve genel eğilimi yansıtan bir profil ortaya koymuştur. Regresyon katsayılarına göre model denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_t = 132869896 + 5677599 * t$$

Analiz sonucunda, 2025–2029 yıllarına yönelik ortalama yıllık tahmin değeri 207.181.828 ton olarak elde edilmiştir. %95 güven aralığına göre bu tahminin alt sınırı 171,5 milyon ton, üst sınırı ise 242,9 milyon ton olarak belirlenmiştir.

Modelin performansı, %8,95 MAPE, 17,74 milyon ton MAD ve $3,31 \times 10^{14}$ ton MSD hata ölçütleriyle değerlendirilmiş olup, genel doğruluk seviyesi kabul edilebilir düzeydedir.

5 dönemlik hareketli ortalama yöntemiyle gerçekleştirilen analiz, serideki kısa vadeli dalgalanmaları en aza indirerek güçlü ve dengeli bir eğilim profili sunmuştur. Modelin özet istatistikleri incelendiğinde, %99,30 R^2 , %99,20 R^2_{adj} , %98,77 R^2_{pred} değeri ile oldukça yüksektir. Ayrıca, p-değeri = 0,00 modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, modelin hem mevcut veriyle uyumlu hem de geleceğe yönelik öngörülerde yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir.

Her iki modelin karşılaştırmalı değerlendirmesi sonucunda, 3 dönemlik hareketli ortalamanın daha düşük hata değerleriyle daha yüksek bir doğruluk sağladığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, 5 dönemlik hareketli ortalama ile regresyon birleşimi daha geniş bir güven aralığı sunmakta ve potansiyel dalgalanmalara karşı daha kapsayıcı bir öngörü sağlamaktadır. Bu bağlamda, gelecekteki liman planlamaları ve yatırım kararları açısından her iki modelin de birbirini tamamlayıcı nitelikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

4.3. Üstel Düzeltme

Son aşamada veri üzerinde üstel düzeltme yöntemleri uygulanmış, hem serinin düzleştirilmiş bir versiyonu elde edilmiş hem de Holt'un yöntemi ile ileriye yönelik tahminlemeler yapılmıştır.

4.3.1 Basit Üstel Düzeltme

Basit üstel düzeltme modeli yardımıyla geleceğe yönelik tahminleme yapılmıştır. Uygulanan model, zamanla artan yük miktarlarını temsil eden doğrusal bir eğilim ortaya koymuş ve veri seti üzerinde yüksek uyum sağlayarak genel eğilimi açıklamada başarılı bir performans sergilemiştir. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon denklemi:

$$Y_t = 149.561.821 + 5.087.051 * t$$

Modelin özet istatistikleri incelendiğinde, %90,78 R^2 , %89,94 düzeltilmiş R^2 ve %86,51 R^2_{pred} değeri ile

oldukça yüksektir. Ayrıca, p-değeri = 0,00 modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama sapma değeri ise yaklaşık 6,6 milyon ton ($S = 6.595.370$) olarak belirlenmiştir.

Basit üstel düzeltme modeli $\alpha=0,95$ sabitiyle uygulanmış, %2,78 MAPE değeri ile düşük düzeyde tahmin hatası vermiştir. Model, 2025–2029 yılları için yaklaşık 215 milyon birimlik sabit tahminler üretmiştir. Alt ve üst güven sınırları sırasıyla 202 milyon ve 228 milyon civarında olup, modelin durağan veri yapısına uygun çalıştığını göstermektedir. Trend içermeyen serilerde kısa vadeli öngörüler için yeterli olan bu yaklaşım, uzun vadeli planlamalarda sınırlı kalabilir.

4.3.2 Çift Üstel Düzeltme

Çift üstel düzeltme modeli yardımıyla geleceğe yönelik tahminleme yapılmıştır. Uygulanan model, zaman serisinin hem seviye hem de eğilim bileşenlerini dikkate alarak artan yük miktarlarını temsil eden bir eğilim profili oluşturmuş ve veri seti üzerinde yüksek doğrulukla genel eğilimi açıklamada başarılı bir performans sergilemiştir. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon denklemi:

$$Y_t = 149.561.821 + 5.087.051 * t$$

Model özet istatistikleri incelendiğinde, %90,78 R^2 , %89,94 R^2_{adj} ve %86,51 R^2_{pred} değeri ile oldukça yüksektir. Ayrıca, p-değeri = 0,00 modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama sapma değeri ise yaklaşık 6,6 milyon ton ($S = 6.595.370$) olarak belirlenmiştir.

Çift üstel düzeltme yöntemi $\alpha=0,1$ ve $\gamma=0,1$ düzeltme sabitleriyle uygulanmıştır. Düşük düzeydeki bu sabitler, modelin geçmiş verilere yüksek ağırlık verdiğini ve trend değişimlerine daha temkinli yaklaştığını göstermektedir. Elde edilen MAPE değeri %3,03 olup, modelin kabul edilebilir düzeyde tahmin doğruluğu sağladığını ortaya koymaktadır. MAD değeri 5,37 milyon ve MSD $4,15 \times 10^{13}$ olup, veri setinin

büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda bu hata düzeyleri makul sınırlar içerisinde. Model, 2025–2029 yılları arasında artan bir eğilim öngörmüş; tahminler 220,7 milyondan başlayarak 241,1 milyona kadar yükselmiştir. Bu artış, seride pozitif bir trendin varlığını desteklemekte olup, alt ve üst güven sınırlarının yıllar ilerledikçe açılması tahminlerdeki belirsizliğin zamanla arttığını göstermektedir. Bu doğrultuda model, trend içeren veri yapıları için uygun bir öngörü aracı olarak değerlendirilebilir ve orta vadeli planlamalarda kullanılabilir.

Yapılan analizler sonucunda, hem basit üstel düzeltme hem de çift üstel düzeltme yöntemlerine ait ANOVA çıktılarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, her iki modelin de veri setiyle yüksek uyum sağladığını ve benzer düzeyde açıklayıcılığa sahip olduğunu göstermektedir.

5. Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi limanlarında 2012–2024 yılları arasında elleçlenen yük miktarları incelenmiş ve 2025–2029 dönemi için çeşitli zaman serisi analiz yöntemleri kullanılarak tahminlerde bulunulmuştur. Trend analizleri (doğrusal, parabolik ve üssel), hareketli ortalamalar (3 dönemlik ve 5 dönemlik) ile üstel düzeltme yöntemleri (basit ve çift) bu kapsamda uygulanmıştır.

Tablo 4. Zaman serisi analiz modellerine ait istatistiksel uyum göstergeleri

Analiz Türü	R ²	R ² (Adj.)	R ² (Pred.)	P Value
Doğrusal (Linear)	90,78%	89,94%	86,51%	0,000
Parabolik (Quadratic)	92,53%	91,03%	85,70%	0,000
Üssel (Exponential)	90,62%	89,77%	86,31%	0,000
Hareketli Ortalama 3D	97,11%	96,79%	94,50%	0,000
Hareketli Ortalama 5D	99,30%	99,20%	98,77%	0,000
Basit Üstel Düzeltme	90,78%	89,94%	86,51%	0,000
Çift Üstel Düzeltme	90,78%	89,94%	86,51%	0,000

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, tüm tahmin modellerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,001$; %95 güven düzeyi). Modellerin açıklayıcılık düzeyleri ise %86 ile %99 arasında değişmekte olup, bu bulgular Tablo 4’de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, kullanılan yöntemlerin Marmara Bölgesi limanlarında elleçlenen yük miktarlarının tahmini açısından hem geçerli hem de güçlü öngörü kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Zaman serisi analizi modellerine ait hata ölçütlerinin karşılaştırılması

Analiz Türü	MAPE	MAD	MSD
Doğrusal (Linear)	2,88240	$5,0929 \times 10^6$	$3,681 \times 10^{13}$
Parabolik (Quadratic)	2,74151	$4,9946 \times 10^6$	$2,983 \times 10^{13}$
Üssel (Exponential)	2,82536	$5,0390 \times 10^6$	$3,322 \times 10^{13}$
Hareketli Ortalama 3D	5,46401	$1,0632 \times 10^7$	$1,606 \times 10^{14}$
Hareketli Ortalama 5D	8,9469	$1,7741 \times 10^7$	$3,313 \times 10^{14}$
Basit Üstel Düzeltme	2,78	$5,274 \times 10^6$	$5,9248 \times 10^{13}$
Çift Üstel Düzeltme	3,03217	$5,3666 \times 10^6$	$4,1537 \times 10^{13}$

Analiz sonuçları, Marmara Bölgesi’nde yıllar itibarıyla artan bir yük elleçleme eğiliminin olduğunu ortaya koymuştur. Uygulanan trend analizleri arasında en yüksek açıklayıcılığa sahip modelin parabolik trend modeli olduğu belirlenmiş; bu model aynı zamanda en düşük MAPE, MAD ve MSD değerlerini sağlayarak tahmin performansı açısından da öne çıkmıştır. Bu bulgular Tablo 5’te ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

Kısa vadeli öngörüler açısından değerlendirildiğinde, hareketli ortalama ve üstel düzeltme yöntemleri güçlü tahmin kabiliyeti sergilemiştir. Özellikle basit üstel düzeltme modeli, %2,78 MAPE değeri ile oldukça düşük bir hata oranına ulaşmış ve bu durum, modelin güvenilirliğini desteklemiştir.

Parabolik model, uzun vadeli eğilimlerin daha gerçekçi biçimde yansıtılması açısından altyapı planlaması, kapasite yönetimi ve stratejik yatırım kararlarında

öncelikli olarak değerlendirilebilir. Diğer yandan, basit üstel düzeltme yöntemi, kısa vadeli karar destek sistemleri için daha istikrarlı ve düşük hata payına sahip bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

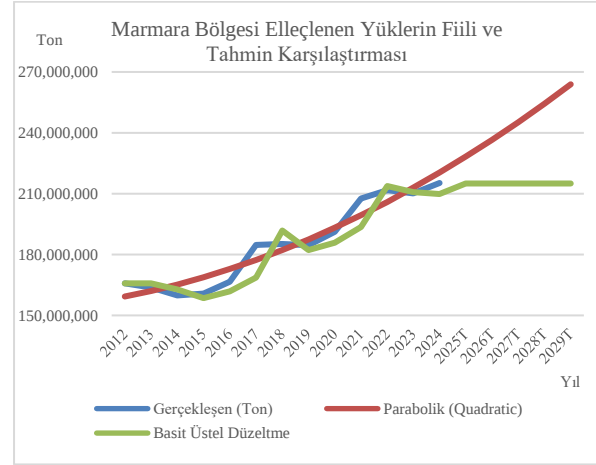
Diğer taraftan, her iki modelin birlikte kullanımı; karar vericilere hem iyimser hem de ihtiyatlı senaryolar oluşturma imkânı sunarak, daha dengeli ve esnek planlamalar yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Tablo 6. Elleçlenen Yük Miktarı ile Tahmin Değerlerinin Yıllara Göre Karşılaştırılması

Yıllar	Elleçlenen Yük Miktarı (Ton)	Parabolik (Quadratic)	Basit Üstel Düzeltme
2012	165.808.652	159333132	165774654
2013	163.739.271	162078053	165823942
2014	159.856.938	165248816	162801715
2015	160.810.595	168845421	158532559
2016	166.553.197	172867868	161835115
2017	184.699.191	177316156	168675099
2018	185.186.598	182190286	191905837
2019	184.661.739	187490258	182164699
2020	191.203.199	193216072	185784753
2021	207.554.085	199367727	193640081
2022	211.707.897	205945225	213811744
2023	210.169.062	212948564	210761717
2024	215.274.899	220377745	209902523
2025		228232768	215022831
2026		236513632	215022831
2027		245220338	215022831
2028		254352886	215022831
2029		263911276	215022831

Elde edilen Tablo 6 ve diğer bulgular doğrultusunda, Marmara Bölgesi limanlarında önümüzdeki yıllarda yük elleçleme hacminin artış eğilimini sürdüreceği öngörülmektedir. Bu öngörü, Şekil 4'te sunulan grafikte de görsel olarak desteklenmekte olup; gerçek veriler ile parabolik trend ve basit üstel düzeltme modellerinin tahmin değerleri karşılaştırmalı şekilde gösterilmiştir. Bu doğrultuda, bölgedeki liman altyapısının kapasite artırımına yönelik planlamaların önceliklendirilmesi, lojistik süreçlerin veri temelli

yaklaşımlarla yönetilmesi ve stratejik yatırımların zamanında hayata geçirilmesi kritik önem taşımaktadır.



Şekil 4. Marmara Bölgesi'nde Elleçlenen Yük Miktarının Yıllara Göre Tahmini ve Trend Modelleri Karşılaştırması

Bu çalışma, karar vericilere ampirik temelli öngörüler sunarak, sürdürülebilir liman yönetimi ilkeleri doğrultusunda uzun vadeli altyapı planlarının geliştirilmesine ve ulusal düzeyde lojistik stratejilerin şekillendirilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, elde edilen analiz sonuçları, yalnızca bölgesel değil, aynı zamanda ülke genelinde liman politikalarının bütüncül bir perspektifle ele alınmasına zemin oluşturmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, bölge geneli yerine tekil limanlar bazında analizler yapılarak her limanın kendi dinamikleri doğrultusunda daha detaylı değerlendirmeler sunulabilir. Yalnızca yük miktarlarıyla sınırlı kalınmaksızın, operasyonel verilerin (bekleme süresi, elleçleme süresi vb.) entegre edilmesiyle liman performansı daha bütüncül biçimde analiz edilebilir.

Çıkar Çatışması: Yazarların beyan edilecek herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

ORCID

Elvan DENİZ, 0000-0002-4237-1358

Referanslar

- Acar, A. Z., & Aydın, G. (2021). Türkiye'de lojistik altyapı yatırımlarının bölgesel kalkınma üzerindeki etkileri. *Uluslararası Lojistik ve Ticaret Dergisi*, 9(2), 110–129.
- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1954). A test of goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765–769.
- Akar, M., & Esmer, S. (2017). Döviz kuru dalgalanmalarının liman yük hacmi üzerindeki etkisi: Marmara bölgesi örneği. *Denizcilik Ekonomisi ve Politikaları Dergisi*, 9(1), 15–29.
- Akten, N., & Koldemir, B. (2011). Marmara Bölgesi limanlarının yük türlerine göre değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3(1), 45–60.
- Aydın, M., & Ünlüyurt, T. (2019). Derin öğrenme tabanlı dökme yük tahmin modelleri: Tekirdağ Limanı örneği. 3. *Uluslararası Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildirileri*, 1(1), 45–52.
- Brown, R. G. (1959). *Statistical forecasting for inventory control*. McGraw-Hill.
- Brown, R. G. (1963). *Smoothing, forecasting and prediction of discrete time series*. Prentice-Hall.
- Çancı, B., & Önce, S. (2016). Hibrit tahmin modelleri ile Marmara Bölgesi limanlarında yük tahmini. *İstatistik, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Dergisi*, 5(3), 67–83.
- Ergin, E., & Eker, S. (2022). Gri sistem teorisi ve bulanık mantık ile tehlikeli madde yük tahmini: İzmit Körfezi örneği. *Ulaştırma ve Lojistik Dergisi*, 8(2), 91–105.
- Esmer, S., & Karataş Çetin, Ç. (2013). Türkiye limanlarında elleçlenen konteyner yüklerinin ARIMA modeli ile tahmini. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 200(2), 55–66.
- Gardner, E. S. (1985). Exponential smoothing: The state of the art. *Journal of Forecasting*, 4(1), 1–28. <https://doi.org/10.1002/for.3980040103>
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. MIT Press.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (2nd ed.). OTexts.
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688.
- Jugović, A., Hess, S., & Poletan Jugović, T. (2011). Traffic demand forecasting for port services. *Promet-Traffic&Transportation*, 23(1), 59–69.
- Kara, M., & Deniz, M. (2016). İstanbul limanlarındaki yük hareketlerinin karşılaştırmalı analizi. *Kent ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 41–58.
- Keleş, Y., & Koldemir, B. (2020). YSA ile Marmara limanlarında konteyner yük tahmini. *Yapay Zeka ve Lojistik Dergisi*, 2(1), 24–38.
- Kırılmaz, M., & Erol, Y. (2021). COVID-19'un Marmara limanlarında yük elleçleme faaliyetlerine etkisi. *Lojistik ve Pandemi Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 12–30.
- Krugman, P. R., & Obstfeld, M. (2009). *International Economics: Theory and Policy* (8th ed.). Pearson Education.
- Kuzu, A., & Önder, S. (2017). Mevsimsellik analizleri ile liman planlaması: Marmara Bölgesi örneği. *Ziraat ve Tarım Ekonomisi Dergisi*, 6(2), 17–29.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to time series analysis and forecasting*. John Wiley & Sons.

- Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis* (7th ed.). Waveland Press.
- Nas, S. (2014). Tehlikeli madde taşımacılığı ve liman güvenliği: İzmit Körfezi örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(1), 45–61.
- Önsel Ekici, Ş., & Kabak, Ö. (2022). Türkiye limanlarının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 270, 33–42.
- Özdemir, M., & Çetin, H. (2020). Çanakkale Boğazı yük gemisi trafiği ve Marmara limanlarına etkisi. *Denizcilik ve Ulaştırma Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 75–89.
- Öztürk, Y., & Çetin, D. (2017). Tekirdağ ve Çanakkale limanlarında tarım ürünleri taşımacılığı. *Tarım Ekonomisi ve Pazarlama Dergisi*, 9(1), 51–64.
- Rodrik, D. (2006). The social cost of foreign exchange reserves. *International Economic Journal*, 20(3), 253–266.
- Saatçioğlu, M., & Karaca, E. (2019). Marmara Bölgesi limanlarının art alan bağlantıları ve yük akışı üzerindeki etkileri. *Lojistik ve Ulaştırma Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 23–38.
- Stopford, M. (2009). *Maritime Economics* (3rd ed.). Routledge.
- Şener, N., & Başer, M. (2018). İzmit Körfezi sıvı yük limanları kapasite analizi. *Enerji Lojistiği ve Petrokimya Dergisi*, 5(1), 19–33.
- Tuncel, G., & Deniz, E. (2024). Optimization of container terminal operations using response surface methodology. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 23(4).
- Tuncel, G., Yalçınkaya, Ö., Deniz, E., & Esmer, S. (2024). Simulation Modeling Frameworks for Single-Cycling and Double-Cycling Strategies in Container Terminals. *Journal of ETA Maritime Science*, 12(3).
- Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM). (2025). *Sektör İstatistikleri*. <https://www.turklim.org/sektor-istatistikleri/> (Erişim tarihi: 03 Mayıs 2025)
- UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations Conference on Trade and Development.
- UTİKAD. (2024). *Türkiye Lojistik Sektörü Raporu 2024*. Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği.
- Yeşilbayrak, S., & Ertem, M. A. (2023). Dijital ikiz ve simülasyon modelleri ile Marmara liman operasyonlarının modellenmesi. *Akıllı Lojistik ve Tedarik Zinciri Dergisi*, 4(1), 77–92.