

BÜTÜNLEŞİK ZAMAN SERİSİ ANALİZİ İLE TALEP TAHMİNİ: İLAÇ TEDARİK ZİNCİRİNDE BİR UYGULAMA*

Tuğba SARI¹, Bünyamin Salih GÜL²

ÖZET

Amaç: Bir ürünün tedarik zinciri faaliyetlerinin etkin bir şekilde planlanıp yürütülmesi, o ürünün gelecekteki talebinin isabetli bir şekilde tahmin edilmesini gerektirir. Bu kapsamda bu çalışmada, ilaç sektöründe geçmiş dönem satış verileri analiz edilerek, bir ürünün gelecekteki talebine yönelik bir tahmin yapılması hedeflenmiştir.

Yöntem: Çalışma kapsamında Türkiye’de üretilen bir ilacın 36 aylık satış verileri zaman serisi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, ARIMA, Holt-Winters üstel düzeltme ve her iki yöntemin yapay sinir ağları (YSA) ile bir araya getirildiği bütünlük YSA tahmin modelleri kullanılmıştır.

Bulgular: Çalışmanın bulgularına göre, her üç yöntemle yapılan tahminlerin düşük seviyede hata verdiği ve oldukça isabetli olduğu belirlenmiştir. Bu üç model arasında en iyi tahmin sonucunu veren yöntemin ise bütünlük YSA modeli olduğu tespit edilmiştir.

Özgünlük: Bu çalışma literatürde kısıtlı araştırma alanı bulan ilaç talep tahmini probleminin çözümü için önerdiği bütünlük analiz modeli ile hem yöntem hem de kullanılan veri seti itibarıyla mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır. Çalışmanın ilaç talep tahmini literatüründeki açığın giderilmesine katkıda bulunacağı ve pratikte uygulanabilirliği sayesinde tedarik zinciri yönetimi kararlarında yöneticilere destek sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Talep Tahmini, Zaman Serileri Analizi, ARIMA, Holt- Winters Üstel Düzeltme, Yapay Sinir Ağları, İlaç Tedarik Zinciri.

JEL Kodları: M10, M11, C32.

DEMAND FORECASTING WITH INTEGRATED TIME SERIES ANALYSIS: A CASE STUDY IN PHARMACEUTICAL SUPPLY CHAIN

ABSTRACT

Purpose: In order for the supply chain activities of a product to be carried out efficiently, the future demand for that product must be accurately forecasted. In this study, it is aimed to make a forecast for the future demand of a product by analyzing the sales data of the past periods in the pharmaceutical industry.

Methodology: Within the scope of the study, 36-month sales data of a pharmaceutical product produced in Türkiye were analyzed by ARIMA, Holt-Winters exponential smoothing and integrated artificial neural networks (ANN) models.

Findings: The results reveal that all these methods yield quite low forecasting errors. In between these three methods, the one that gives the most accurate forecasting result is the integrated ANN model.

Originality: This study differs from existing studies in terms of both the method and the data set used. It is anticipated that the study will contribute to the demand forecasting studies in the pharmaceutical industry which is limited in the literature and will provide support in supply chain management decisions due to its practical applicability.

Keywords: Demand Forecasting, Time Series Analysis, ARIMA, Holt-Winters Exponential Smoothing, Artificial Neural Networks, Pharmaceutical Supply Chain.

JEL Codes: M10, M11, C32.

* Bu çalışma, Bünyamin Salih GÜL tarafından Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü’nde Doç. Dr. Tuğba SARI danışmanlığında yürütülen “Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltme ve Trend Analizi Yöntemleri ile Talep Tahmini: İlaç Sektöründe Bir Uygulama” başlıklı Yüksek Lisans Tezi’nden türetilmiştir.

¹ Doç. Dr., Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Konya, Türkiye, tugba.sari@gidatarim.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9536-5541 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye, bunyaminsalih1@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1108-4230.

1. GİRİŞ

İlaç sektörü, tüm dünyada ve Türkiye’de insan sağlığı ile olan doğrudan ilişkisi nedeniyle sağlık hizmetlerinin önemli bir bileşeni oluşturmaktadır. Kimya sektörünün bir alt dalı olarak değerlendirilen ilaç sektörü, farklı yapıda pek çok üretici firmayı içeren, ağırlıklı olarak alt sektörler bazında yoğunlaşmanın görüldüğü bir yapıdadır (Levry, 1999).

Toplumların demografik yapısındaki değişim, ortalama yaşam süresinin artışı, sağlık hizmetlerine erişimde sağlanan kolaylık ve sosyal devlet olgusunun daha da önemli hale gelmesi ilaç sektörünün büyümesine neden olmaktadır (Kaynak, 2016). Dünya nüfusunun artışı, nüfusun yaşlanması, hastalık yüklerindeki değişimler, yeni tedavi yöntemlerinin oluşturulması, artan farkındalık ile kalite beklentilerinin yükselmesi; sağlık hizmetlerine ve ilaca olan ihtiyaç ve talebi artırmıştır (Atasever, 2015). Bu bağlamda ilaç sektörü, hayat standardının artmasında, insan ömrünün uzamasında ve sürdürülebilir bir sağlık sektörünün inşasında oynadığı rol itibarıyla, kritik öneme sahip stratejik bir sektördür (Ercan ve Top, 2016).

İlaç sektörü aynı zamanda ürün sayısının çok ve çeşitli olması, üretilen ürünlerin katma değerlerinin oldukça yüksek olması ve hem ulusal hem de uluslararası yüksek satış hacmine bağlı olarak küresel ölçekte tedarik zincirlerine sahip olması nedeniyle büyük önem taşır. İlaç sektörünün dünyada Ar-Ge yatırımlarına en çok pay ayıran sektörlerin başında gelmesi, Türkiye açısından, büyüyen ilaç pazarında ekonomik sürdürülebilirliğin ve inovasyon odaklı yaklaşımın önemine işaret eder (Türkiye Ekonomi Politikaları Vakfı [TEPAV], 2015). Türkiye’de ilaç pazarı 2019 yılında %31,7 büyüme göstermiş ve ekonomik değerde 40,7 milyar TL’ye, kutu ölçeğinde ise 2,37 milyar hacme ulaşmıştır (İlaç Endüstrisi İşverenler Sendikası [İEİS], 2020).

İlaç sektörünün sahip olduğu büyük ekonomik değerin ve potansiyelin yanında, toplum sağlığına olan doğrudan etkileri nedeniyle ilaç tedarik zincirlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi kritik bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, ilaç tedarik zincirlerinin bir üyesi olarak faaliyet gösteren firmaların dönemsel olarak talep edilen ürünü, doğru miktarda, doğru kalite ve çeşitte, doğru zamanda, doğru fiyatla ve doğru yerde karşılaması büyük önem arz etmektedir. İsabetli satış/talep tahmini genellikle stok maliyetleri ve müşteri memnuniyeti arasında bir denge sağlar. İlaç tedarik zincirinde ise insan sağlığına yönelik ürünlerin kısa yaşam döngüleri ve yüksek kalite gereksinimleri nedeni ile tahmin problemi daha da önemli hale gelmektedir (Ribeiro ve diğerleri, 2017). İlaç sektöründe talep tahmininin iyileştirilmesi, ilaç tedarik zincirini oluşturan firmaların, finansal ve finansal olmayan kaynaklarını optimum düzeyde kullanarak verimliliklerini artırmalarına yardımcı olur.

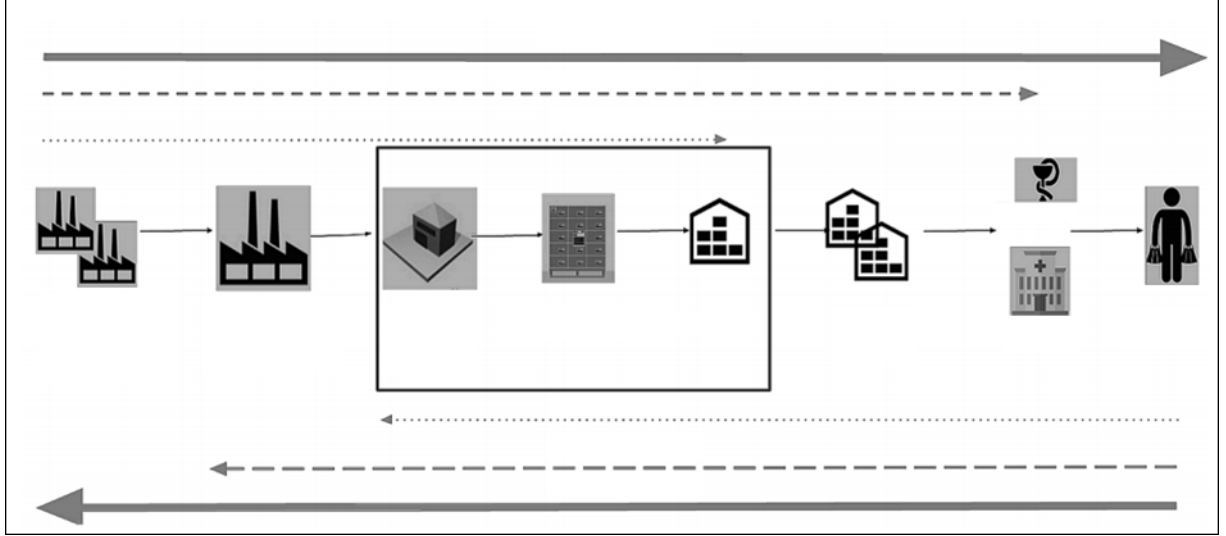
İlaç tedarik zincirlerinin yukarıda bahsedilen amaçlara ulaşması etkili bir talep tahmini ile mümkündür. Ancak ilaç sektöründe talep tahmini, kâr baskısı, yüksek stok düzeyleri, artan düzenleme ve cezalar, tedarik zincirlerinin karmaşık yapısı gibi nedenlerle yönetilmesi zor bir konudur (Durbha, 2016). Ülkemizde ise, devletin sektör içindeki ağırlığı; hastalıkların ortaya çıkışındaki belirsizlikler ve doktorlar, hastalar ve diğer paydaşlar arası bilgi akışındaki sorunlar (Karakoç, 2005,10) ilaç sektörü ile ilgili tahmin ve planlamaları güçleştirmektedir.

Bu güçlüklerle paralel olarak ilaç tedarik zinciri yönetiminde analize dayalı tahmin yöntemlerinin kullanımı göreceli olarak yenidir ve sektörde gerçekleşen talep tahminlerinin hata payı oranları %40'lara kadar çıkmaktadır (Merkuryeva ve diğerleri, 2019). Karşılaşılan bu tablo, sektörde talep tahmini çalışmalarının gelişime ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Konunun akademik boyutu incelendiğinde, ilaç tedarik zincirlerinde talep tahminine yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunduğu gözlemlenmektedir. Literatürde ve sektörde bu alanda oluşan açığın kapanmasına katkıda bulunmayı amaçlayan bu çalışma, ilaç tedarik zincirinde gelecekteki talebin tahmin edilmesine odaklanmaktadır. Bu amaçla ulusal bir ilaç firmasında üretimi ve satışı yapılan bir ilacın dönemsel satış verileri kullanılarak, zaman serisine dayalı alternatif yöntemler aracılığıyla karşılaştırmalı talep tahmini analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde ilaç tedarik zincirlerinin yapısı açıklanmıştır. Ardından literatür taraması bölümünde ilaç talep tahminine yönelik akademik çalışmalara yer verilmiştir. Yöntem bölümünde talep tahmininde kullanılan yöntemler ve bu yöntemlere ilişkin hata payı hesaplamaları açıklanmıştır. Bulgular kısmında, yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak tartışılıp yorumlanmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar, çalışmanın literatüre katkıları ve çalışmanın kısıtları açıklanmış olup gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. İLAÇ TEDARİK ZİNCİRİNDE TALEP TAHMİNİ

İlaç tedarik zincirleri ilacın ham maddesinin tedarik edilmesinden başlayarak, üretim, depolama, dağıtım ve satışını kapsayan bir dizi faaliyet sonucu, tüketici konumunda olan hastalara ilacın ulaştırılması ile son bulur. Şekil 1’de örnek ilaç tedarik zincirinin aşamaları görülmektedir.



Şekil 1. İlaç tedarik zinciri (Merkuryeva ve diğerleri, 2019)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi ilaç üreticisi firmalar, ham madde tedarikçilerinden satın aldıkları ilaç bileşenlerini nihai ürünleri olan ilaçlara dönüştürdükleri üretim sürecini gerçekleştirirler. Sonrasında ise ürettikleri ürünleri ecza dağıtımını yapan işletmelerin merkez deposuna sevk ederler. Ecza depolarının alt kırımlarını aynı isimdeki bölgesel dağıtımçıları oluşturur. Ecza depoları tarafından kendi bölgelerine dağıtım yapılan ilaçlar, hastaneler ve sağlık ocakları gibi sağlık hizmeti veren kuruluşlar ile eczanelere ulaştırılarak, hastaların kullanımına sunulur. Söz konusu işleyiş, ilaç tedarik zinciri boyunca sadece ürün akışını içermez, aynı zamanda çift yönlü olarak bilgi ve para akışını da içerir.

İlaç tedarik zinciri üyesi olan işletmeler, üretim için gereken ham madde siparişinden, üretim kapasitesinin belirlenmesine, stok yönetiminden, satış planlamasına kadar pek çok faaliyetin etkin bir şekilde yürütülebilmesi için gelecekteki ilaç talebinin isabetli bir şekilde tahmin edilmesine ihtiyaç duyarlar.

Tahmin için iyi bilinen iki yaklaşıma dayalı olarak, nitel ve nicel üst başlıklar altında toplanan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak, yönetici görüşleri, Delphi tekniği, satış gücü anketi ve tüketici araştırması gibi nitel yöntemler yargılara veya fikirlere dayalı tahminler üretir (Chopra ve Meindl, 2016, 180). Nicel yöntemler ise geçmiş dönem verilerine dayanan bir dizi yöntemi içeren zaman serisi analizlerini (örneğin trend analizi, üstel düzeltme modelleri, ağırlıklı ortalamalar) veya nedensellik ilişkilerini tanımlayan basit veya çoklu regresyon modellerini içerebilir (Heizer ve diğerleri, 2017, 112). İlaç endüstrisinde, en yaygın olarak zaman serisi modelleri (%52) kullanılırken nedensel modeller tüm modellerin %24'ünü, yargıya dayalı modeller %19'unu, karma ve diğer modeller ise kalan %5'i temsil eder (Merkuryeva ve diğerleri, 2019).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yerli ve yabancı literatürde ilaç sektöründe talebin tahminine yönelik oldukça kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı (Candan ve diğerleri, 2014; Ahmad ve diğerleri, 2015; Merkuryeva ve diğerleri, 2019; Amalnick ve diğerleri, 2020; Siddiqui ve diğerleri, 2021) ilaç üretimi yapan firmaların nihai ürünü olan ilaçların gelecekteki talebinin tahminine odaklanmaktadır.

Doğrudan ilaç talep tahminini hedef alan çalışmaların bir diğer bölümü, ilaç tedarik zincirinin bir sonraki halkasını oluşturan ecza depolarında (Erman, 2018; Nasuhoğlu, 2019) ve eczanelerde (Anusha ve diğerleri, 2014; Obamiro, 2019) satılan ilaçların talebini belirlemeye yönelik analizler içerir. Tablo 1'de ilaç talebine yönelik tahmin çalışmaları, bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular sıralanmıştır.

Tablo 1. İlaç sektöründe talep tahminine ilişkin literatür

Yazar,Yıl	Amaç	Yöntem	Bulgular
Anusha ve diğerleri (2014)	Bir eczanede satılan iki tip ilaca yönelik talep tahmini	Hareketli Ortalama, Üstel Düzeltme, Winter's Üstel Düzeltme	Analiz sonuçları bir çeşit ilaçta Winter's üstel düzeltme yönteminin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği bulunurken, diğer ürünün tahmininde yöntemler arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.
Candan ve diğerleri (2014)	Bir ilaç ürünü için yıllık talep tahmini	Yapay Sinir Ağları	Çalışmada Türkiye'de üretimi yapılan bir ilaç ürününün 6 yıllık verileri yapay sinir ağları yöntemiyle analiz edilerek gelecek yıl için başarılı bir tahmin gerçekleştirilmiştir.
Khalil Zadeh ve diğerleri (2014)	İran'da ilaç dağıtım firmaları için satış tahmini	ARIMA, Yapay Sinir Ağları ve Hibrit Yapay Sinir Ağları	Çalışmadan elde edilen bulgulara göre hibrit yapay sinir ağları, geçmiş verinin sınırlı olduğu durumlarda bile isabetli satış tahmin sonuçları vermiştir.
Ahmad ve diğerleri (2015)	Bir ilaç firmasının gelecekteki satışlarının tahmini	ARMA Metodu	Çalışmada Merck Pharma ilaç firmasının 5 yıllık satış verileri ARMA yöntemi ile analiz edilerek gelecek dönem satışlarının beklenen artış değeri hesaplanmıştır.
Nikolopoulos ve diğerleri (2016)	İngiltere'de markalı ve jenerik ilaçlar için yıllık verilere dayanan talep tahmini	Difüzyon modelleri, ARIMA, Basit ve Holt Üstel Düzeltme, Regresyon Analizi	Analiz sonuçları, markalı ilaçların kısa vadeli tahmininde ARIMA yönteminin, jenerik ilaçların kısa vadeli tahmininde ise Holt üstel düzgünleştirmenin en iyi sonuç verdiğini göstermiştir. 2-5 yıllık zaman periyodu göz önüne alındığında naif ve drift yaklaşımları daha isabetli tahmin sonuçları vermiştir.
Riberio ve diğerleri (2017)	Portekiz'de bir ilaç dağıtım firmasının satış tahmini	Pegels ile düzeltilmiş zaman serisi analizi ve veri madenciliği	Firmanın 24 aylık geçmiş satışlarını temel alan analiz sonucu, önerilen yöntem ile ilaç satış tahmininde iyileştirme sağlanmıştır.
Erman (2018)	Optimum talep tahmini ve stok yönetiminin sağlanması	Hareketli ortalama, Holt üstel düzeltme	Çalışma sonucunda bir ecza deposunda toplam sipariş ve elde bulundurma maliyetlerini en aza indirecek bir model önerilmiştir.
Merkuryeva ve diğerleri (2019)	İlaç tedarik zincirinde talep tahmini	Hareketli ortalama, Çoklu doğrusal regresyon, Genetik programlama ile sembolik regresyon	Çalışmanın sonuçlarına göre, ilaç talebini en isabetli tahmin eden yöntemin, sembolik regresyon analizine dayanan yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Nasuhoglu (2019)	Farklı ilaç gruplarına olan talebin tahmin edilmesi	Yapay sinir ağları, Hareketli ortalama, Üstel düzeltme	Çalışmada, her bir ilaç grubu için farklı tahmin yönteminin en iyi sonuç verdiği bulunmuş, toplamda en çok sayıda ilaç için en iyi tahmini yapan yöntemin yapay sinir ağları olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Aydemir ve diğerleri (2019)	İlaç talep tahmini ve ilaç satışına bağlı gelirin tahmini	Decision stump, Random forest ve RandomTree ile makine öğrenmesi yöntemi	Çalışmanın bulguları, ilaç grubuna göre satın alma tutarları tahmininde en iyi sonucun Random Forest algoritması ile yapılan analizden elde edildiğini göstermektedir.
Obamiro (2019)	Bir eczanede satılan ilaçlara yönelik talep tahmini	Hareketli ortama, Üstel düzeltme	Yapılan çalışmanın bulgularına göre, ilaç talebinin tahmin edilmesinde en iyi yöntemin üstel düzeltme yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.
Amalnick ve diğerleri (2020)	İlaç üretimi yapan bir işletmede nihai ürün için talep tahmini	Kümeleme analizi ve yapay sinir ağları	Çalışma sonuçlarına göre K-ortalama ve karar ağaçları ile kümeleme analizi ve yapay sinir ağları ile analiz yöntemleri kullanılarak ilaç talep tahmininde iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 1. (Devamı)

Han (2020)	İlaç talep tahmini için yeni bir model önerisi	Bütünleşik ARIMA- LSTM yapay sinir ağları modeli	Altı yıllık ilaç satış verisi ile yapılan analizlerde ARIMA ile bütünleşik LSTM (kısa ve uzun dönem hafızalı) yapay sinir ağları modeli, bu iki yöntemin tek başına kullanılmasına oranla daha iyi sonuç vermiştir.
Siddiqui ve diğerleri (2021)	Pakistan'da 6 farklı ilaç için satış tahmini	Bütünleşik ARIMA ve Holt-Winter's Yöntemi (ARHOW)	Bulgulara göre en düşük ortalama hata oranını veren yöntemin, ARIMA ve Holt-Winters yönteminin birleşimi olan ARHOW yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Zhu ve diğerleri (2021)	Çeşitli ilaç grupları için tahmini	Çeşitli ileri makine öğrenmesi modelleri	Nihai ürün stok verilerinin dâhil edildiği, 10 yıllık ilaç satış verilerine uygulanan tekrarlayan yapay sinir ağı (RNN) temelli farklı makine öğrenmesi modelleri ile talep tahmininde iyileştirme elde edilmiştir.

Yukarıdaki tablo incelendiğinde talep tahmininde zaman serileri analizine dayanan yöntemlerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanında son yıllarda yapılan çalışmalarda geleneksel olarak kullanılan zaman serisi yöntemlerine alternatif olarak veya bu yöntemlerin tamamlayıcısı niteliğinde yapay sinir ağları temelli (Candan ve diğerleri, 2014; Amalnick ve diğerleri, 2020) veya diğer makine öğrenmesi algoritmalarına dayanan (Aydemir ve diğerleri, 2020; Zhu ve diğerleri, 2021) analiz yöntemlerine başvurulduğu görülmektedir. En yeni bazı çalışmalar ise yöntemlerin tek başına kullanıldıklarında gösterdiği zayıflıkları bertaraf ederek daha isabetli tahminler yapabilmek adına bütünleşik (hibrit) yöntemler önermektedir (Han, 2020; Siddiqui ve diğerleri, 2021).

Talep tahmin analizlerinin etkinliği, ele alınan dönemin uzunluğu, incelenen verinin boyutu, farklı faktörlerin hesaplama dâhil edilmesi gibi etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu sebeple talep tahmin yönteminin ne kadar isabetli sonuç verdiğinin anlaşılması için, aynı veri setine yönelik karşılaştırmalı analizler kullanılmaktadır. Khalil Zadeh ve diğerleri (2014); Nikolopoulos ve diğerleri (2016) ve Siddiqui ve diğerlerine (2021) ait çalışmalarda görüldüğü gibi, temel zaman serisi analizi tahmin yöntemlerinden biri olan ARIMA metodu, literatürde sıklıkla alternatif yöntemlerin başarısını ölçmek için bir kıyaslama metodu olarak kullanılmaktadır.

İlaç tedarik zincirlerinin mevcut yapısı ve sektördeki sınırlı bilgi paylaşımı, dünyada olduğu gibi ülkemizde de talep tahmini çalışmaları için kısıt oluşturmaktadır. Son yıllarda yeni tekniklerin kullanılmaya başlanması ile literatürde bu konuya odaklanan çalışmalar artış göstermekle beraber, uygulanan analizlerin tahmin hatası oranları %40'lara kadar çıkmaktadır (Merkuryeva ve diğerleri, 2019). Bu çalışmanın, önerdiği özgün hibrit tahmin yöntemi ile sektördeki talep tahminlerinin iyileştirilmesine katkıda bulunması beklenmektedir.

4. YÖNTEM

Bu çalışmanın veri setini oluşturan ilaç satış rakamları öncelikle zaman serileri analizi yöntemleri olan ARIMA ve Holt-Winters modelleri ile analiz edilmiştir. Ardından, yapay sinir ağları ile analizler tekrarlanmış ve sonrasında ARIMA ile Holt Winters yöntemlerinin yapay sinir ağları ile bir araya getirildiği bütünleşik model uygulanmıştır. Son olarak tüm yöntemlere ilişkin hata oranları hesaplanarak oluşturulan modeller karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler ve bu yöntemlere ait formüller aşağıda açıklanmıştır.

4.1. ARIMA Yöntemi ile Talep Tahmini

George Box ve Gwilym Jenkins tarafından 1970 yılında geliştirilen ARIMA tahmin yöntemi, hareketli ortalamalar (MA) metodunun, otoregresif (AR) modelle birleştirilmiş halidir (Siddiqui ve diğerleri, 2021). Bir ARIMA (p,d,q) modelinde p simgesi AR modelin derecesini, d kaçınıcı dereceden fark alınması gerektiğini, q değeri ise MA modelin derecesini ifade eder ve bu parametrelere göre tahmin denklemi aşağıdaki gibi gösterilir (Sariaslan ve diğerleri, 2017, 644):

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + e_t + W_1 e_{t-1} + W_2 e_{t-2} + \dots + W_q e_{t-q} \quad (1)$$

Burada; Y_t , dönem içi tahmin değeri; $A_p Y_{t-p}$, p değerine göre Y 'deki gecikmelerin doğrusal kombinasyonu ve $W_q e_{t-q}$, q değerine göre tahmin hatasındaki gecikmelerin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilir.

ARIMA modelleri geçmiş değerleri ve hataların bileşimini kullanarak, verinin durağan olduğunu varsayan AR ve MA modellerinin tek başına başaramayacakları şekilde modeli veriye uydurur. Ancak ARIMA model parametrelerini (p , d , q) belirlemek her zaman kolay olmaz. İncelenen veri setine en uygun

ARIMA model parametrelerinin, istatistik paket programının önerdiği optimum parametreler olan (4,1,0) olarak alındığı analiz sonucunda ARIMA yönteminin sunduğu en isabetli tahmin değerleri elde edilmiştir.

4.2. Holt – Winters Yöntemi ile Talep Tahmini

Basit üstel düzeltme yöntemi ile talep tahmininde tahmin sonucu, bir önceki dönemin tahmin değerine, gerçekleşen ile tahmin edilen değer arasındaki farkın, [0,1] aralığında değişen düzeltme katsayısı α değeri ile çarpımının eklenmesi ile bulunur (Jacobs and Chase, 2010, 259). Charles Holt 1957 yılında basit üstel düzeltme yöntemini doğrusal trend faktörü β ile bütünleştirerek, verideki trendi yakalayacak şekilde geliştirmiştir (Chase, 2013, 149). 1960 yılında ise Peter Winters, Holt'un yaklaşımını, modele mevsimsellik bileşenini (γ) ekleyip genişleterek, literatüre Holt-Winters metodu olarak geçen ve aşağıda formülü verilen yöntemi önermiştir (Siddiqui ve diğerleri, 2021):

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (4)$$

$$F = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (5)$$

Burada; $L_{t/d}$, serinin derecesini; b_t , trend sabitini; S_t , mevsimsel trendi ve F , m periyodu için tahmin değerini ifade etmektedir. Formüle dahil edilen α , β ve γ sabitlerinin optimum değeri istatistiksel hatayı minimize edecek şekilde bulunur. Bu çalışmada veri setine en uygun sabitlerin bulunmasında yine istatistik programından yararlanılmıştır.

4.3. Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki nöronların etkileşiminden örnek alınarak geliştirilmiş bir teknik olup amacı, insanların düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren veri sınıflandırması, optimizasyon, veri ilişkilendirme ve geleceğe yönelik tahminler gibi saf aritmetik yöntemlerle yapılması güç işlemleri matematiksel ortamda yapay olarak çözebilmektir (Bulut ve Başoğlu, 2017). Buna göre YSA aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Walczak, 2018):

- Bağımsız değişkenleri temsil eden ve girdi vektörü olarak da adlandırılan bir girdi katmanı,
- İsteğe bağlı olarak bir veya birden fazla gizli işleme katmanı,
- Bitişik katmanlardaki düğümler arasındaki ağırlıklı bağlantılar,
- Bağımlı değişkeni temsil eden bir veya daha fazla öğeden oluşan bir çıktı katmanı.

Son yıllarda YSA modellerinin talep tahmininde özellikle doğrusal olmayan modellerde kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Ancak YSA geleneksel zaman serileri analizi yöntemlerine göre her zaman daha iyi sonuç vermemektedir. Bununla birlikte araştırmacılar zaman serilerine entegre edilmiş YSA modelleri ile mevcut tahmin modelini iyileştirmenin yollarını aramaktadırlar. Khashei ve Bijari (2010) bu amaçla Box-Jenkins temelli bir zaman serisini geçmiş gözlemlerin ve rastgele hataların doğrusal olmayan fonksiyonu olarak kabul ettikleri bir sinir ağı kullanır. Modelde ARIMA metoduyla elde edilen tahminler YSA ile iyileştirilir. Khan ve diğerleri (2020) kuraklık tahmini yaptıkları çalışmalarında ARIMA ve YSA yöntemlerini bütünleştirerek, yöntemlerin tek başına kullanıldıklarından daha yüksek bir isabet oranı elde etmişlerdir.

4.4. Tahmin Hatasının Hesaplanması

Kullanılan her bir tahmin yönteminin ne kadar isabetli sonuç verdiğinin anlaşılması ve yöntemlerin birbiri ile kıyaslanabilmesi için tahmin hatalarının ölçümü yapılır. Ortalama mutlak hata (MAD), ortalama hata kareleri (MSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) bu amaçla kullanılan hesaplama yöntemlerindedir. Bu çalışmada, oransal sonuç vererek, hataların daha kolay anlaşılmasına ve karşılaştırılmasına olanak sağlayan ve literatürde en sık kullanılan yöntem olan, aşağıda formülü verilen MAPE hesaplamalarından yararlanılmıştır (Krajewski ve diğerleri, 2010, 291):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t} * 100}{n} \quad (6)$$

Burada; t , dönem sayısını; A_t , t döneminde gerçekleşen değeri, F_t , t dönemi için tahmin değerini ve n , kapsanan dönem sayısını ifade eder.

4.5. Bütünleşik ARIMA ve Holt-Winters Modeli ile Talep Tahmini

Bu çalışma, kullanılan verinin doğasına uygun iki farklı tahmin yöntemini bütünleştirerek, tahmin doğruluğunu artıran hibrit bir model önermeyi hedeflemektedir. Bu amaca yönelik olarak öncelikle, geçmiş

dönemleri baz alan talep tahmin çalışmalarında literatürde en yaygın yöntem olarak görülen ve bu nedenle yöntemlerin kıyaslanması için bir referans teşkil eden ARIMA modeli aracılığıyla gelecek aylara ait satış talebi tahmin edilmiştir. İkinci aşamada, incelenen verinin hem trend hem de mevsimsellik içermesi nedeni ile bu iki faktörü içeren Holt-Winters üstel düzeltme yöntemi ile tahmin yapılmıştır. Son aşamada ise her iki tahmin yönteminden elde edilen çıktılar YSA ile bütünleştirilerek talep tahmini gerçekleştirilmiştir. Uygulanan hibrit modelin, diğer iki yöntemin tek başına verdiği kadar isabetli tahmin sonuçları verip vermediği, modelin hatasını ölçen MAPE yöntemi ile karşılaştırmalı olarak test edilmiştir.

5. BULGULAR

Araştırma kapsamında Türkiye’de üretilen ve satışı yapılan bir ilacın gelecekteki talebinin tahmin edilmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kronik bir hastalığın tedavisinde kullanılan söz konusu ilacın 2019-2021 tarihleri arasında gerçekleşen 36 aylık satış hacmi, veri seti olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda geçmiş satış verilerinin elde edilmesi için, ilacın üretimini gerçekleştiren ilaç firmasının kullandığı “İlaç Takip Programı” çıktılarından yararlanılmıştır.

Araştırmanın odağını oluşturan ilaç, geçmişten gelen pazarlama aktiviteleriyle hedef branş hekimleri tarafından bilinen bir marka olmasının ve etken maddesinin Türkiye’de yerli olarak üretiliyor olmasının yanında yüksek konsantrasyon, düşük sıvı hacmi, özel iğne ucu ve form seçenekleri gibi hastaların tedavi uyumunu olumlu yönde etkileyen özelliklere sahip olmasıyla da rakip ürünlere kıyasla farklılaşmayı başarmış bir marka olarak son yıllarda geçmiş dönemlere göre büyüyerek pazar payını artırmıştır.

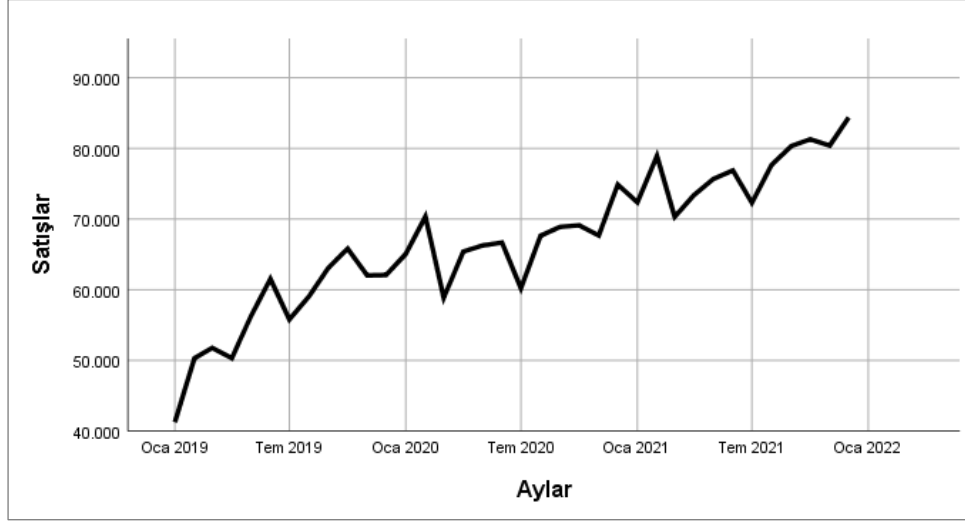
İlacın içeriğindeki preparatların kullanıldıkları endikasyonların ilerleyici bir seyir göstermesi ve tedavinin aksaması durumunda geri dönüşümü olmayan kalıcı hasarların oluşması ihtimali sebebiyle ilaç kullanım sürekliliği ciddi bir önem arz etmektedir. Kronik ilaçlarda eczanelerde muadil verilmesi durumu akut ilaçlarda karşılaşılan durumlara kıyasla çok daha düşük oranda gerçekleşmektedir. Yapılan pazar araştırmalarında satış verileri incelenen ilacın pazar payının bu durumdan olumlu etkilendiği ifade edilmektedir. Araştırma kapsamında söz konusu ilacın seçilmesinin nedenleri arasında, ilacın kronik olması ve dolayısıyla kullanımının süreklilik içermesi ve aynı zamanda ilacın satışının dışsal etkenlerden etkilenme ihtimalinin düşük olması bulunmaktadır.

Kronik bir hastalığın tedavisinde kullanılan bahse konu ilacın 2019-2021 tarihleri arasındaki 36 aylık satış miktarları Tablo 2’de gösterilmiştir. Gerçekleşen geçmiş dönem satışlarının listelenmesinde, ilacın ticari olarak piyasaya sürüldüğü “enjeksiyon çözeltisi içeren kullanıma hazır şırınga” kutusu adedi baz alınmıştır.

Tablo 2. Aylara göre geçmiş ilaç satışları

<i>Satış Dönemi</i>	<i>İlaç Satış Hacmi</i>	<i>Satış Dönemi</i>	<i>İlaç Satış Hacmi</i>	<i>Satış Dönemi</i>	<i>İlaç Satış Hacmi</i>
Ocak 2019	41.243	Ocak 2020	65.078	Ocak 2021	72.380
Şubat 2019	50.308	Şubat 2020	70.343	Şubat 2021	78.939
Mart 2019	51.776	Mart 2020	58.870	Mart 2021	70.328
Nisan 2019	50.316	Nisan 2020	65.403	Nisan 2021	73.450
Mayıs 2019	56.204	Mayıs 2020	66.259	Mayıs 2021	75.670
Haziran 2019	61.529	Haziran 2020	66.675	Haziran 2021	76.890
Temmuz 2019	55.789	Temmuz 2020	60.215	Temmuz 2021	72.303
Ağustos 2019	59.064	Ağustos 2020	67.650	Ağustos 2021	77.650
Eylül 2019	63.125	Eylül 2020	68.900	Eylül 2021	80.313
Ekim 2019	65.816	Ekim 2020	69.125	Ekim 2021	81.290
Kasım 2019	62.028	Kasım 2020	67.670	Kasım 2021	80.400
Aralık 2019	62.084	Aralık 2020	74.879	Aralık 2021	84.373

Tablo 2’de verilen ilaç satışları incelendiğinde ilk tarih olan Ocak 2019’da 41.243 adet ile başlayan satış adedinin, genel anlamda bir artış trendi gösterdiği ve Aralık 2021’de 84.373 ile tepe noktasına ulaştığı görülür. İlaç satış adetlerinin zamana karşı çizilen grafiği, ilaç talebindeki artış trendini daha net göstermektedir (Şekil 2). İlaç firması yöneticileri 2020 yılında 70 kişi olan satış kadrosunun, 2021 yılında 80 personele çıkartılması sonucu, insan kaynağındaki bu değişimin talebi tetiklediğini ifade etmiştir.



Şekil 2. Aylara göre geçmiş ilaç satışları

Şekil 2'deki satış grafiğine göre, son iki yılda ilaç talebi ocak ayından şubat ayına bir sıçrama göstermiş, takip eden mart ayında ise keskin bir düşüş yaşamıştır. Üretici firma, bu iniş-çıkışın nedeni olarak ilaç fiyatının şubat ayında zamlanması olduğunu belirtmiştir. Grafikte bir diğer dikkat çeken nokta ise her üç yılın temmuz ayında talebin keskin bir düşüş göstermesi, sonraki ay ise ani çıkış yapmasıdır. Seçilen ilacın kronik olması nedeniyle kullanımının süreklilik arz etmesine karşın, talepte görülen belirli aylara özgü dalgalanmalar, veride mevsimsellik etkisi olduğuna işaret etmektedir.

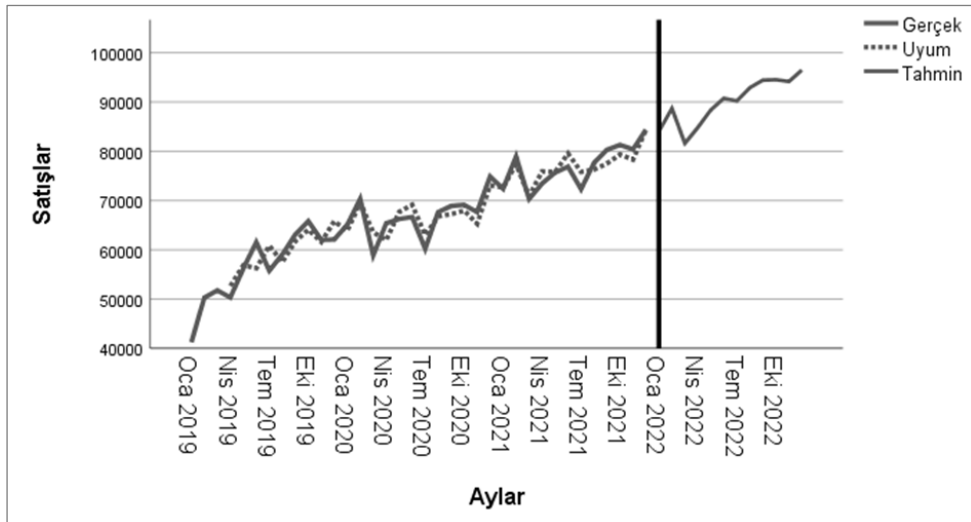
Yukarıda verilen ilaç satış rakamları zaman serileri analizi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analizlerde SPSS 25.0 istatistik paket programının "tahmin" ve "yapay sinir ağları" modülleri kullanılmış ve elde edilen çıktılar, grafikler yardımı ile görselleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre veriye en uygun ARIMA modeli (4,1,0) olarak belirlenmiştir. Tablo 3'te verilen model istatistiklerine göre, modelin R^2 değeri 0,913 ile kullanılan modelin veriye uygun olduğunu göstermektedir. MAPE ile ölçülen hata oranı %3,56 ile sektör için düşük bir değer olarak bulunmuştur.

Tablo 3. ARIMA modeli istatistikleri

Model	Tahminci Sayısı	Model Uyum İstatistikleri				
		Durağan R^2	R^2	RMSE	MAPE	MAE
ARIMA İlaç Talep Modeli	1	0,723	0,913	2574,229	3,056	2007,082

ARIMA modelinin geçmiş verileri tahmin etmekteki başarısı test edildikten sonra model, Ocak ve Aralık 2022 tarihleri arasındaki 12 ayın ilaç talebini tahmin etmek için kullanılmıştır. Modelin gerçekleşen satış değerleri (Gerçek), geçmiş satışları tahmin ettiği uyum verileri (Uyum) ve geleceğe yönelik tahmin sonuçları (Tahmin) Şekil 3'teki grafik aracılığı ile görselleştirilmiştir.



Şekil 3. ARIMA modeli ile talep tahmini

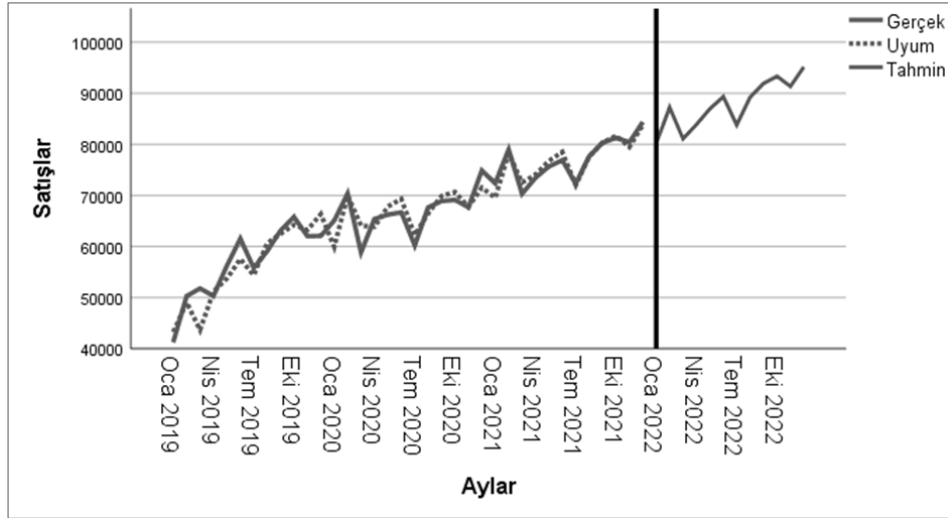
Şekil 3'teki ARIMA ile tahmin grafiğine göre, modelin geçmiş dönem tahminlerinin gerçek verilere oldukça yakın olduğu ve özellikle Ocak-Nisan arası dönemi yüksek isabetle tahmin ettiği, ancak Nisan-Temmuz döneminde gerçekleşenden fazla tahmin yapma eğiliminde olduğu görülmektedir. Uyum verileri ile gelecek tahminine beraber bakıldığında modelin beklenildiği gibi verideki trendi yakaladığı anlaşılmaktadır. Diğer yandan mevsimselliğin tahmine yansıtılması noktasında modelin iyileştirilebilir olduğu görülmektedir.

Mevcut veri setine ikinci tahmin yaklaşımı olan Holt-Winters üstel düzeltme modeli uygulanmış ve modelin istatistikleri Tablo 4'te paylaşılmıştır. Tabloya göre, modelin R^2 değeri 0,934 ile ARIMA modelinden biraz daha iyi sonuç vermiş olup bu değere göre modelin veriyi daha iyi açıkladığı söylenebilir. Modelin geçmiş dönem ortalama mutlak tahmin hatası %2,987 MAPE değeri ile daha düşük seviyede elde edilmiştir.

Tablo 4. Holt-Winters modeli istatistikleri

Model	Tahminci Sayısı	Model Uyum İstatistikleri				
		Durağan R^2	R^2	RMSE	MAPE	MAE
Holt-Winters İlaç Talep Modeli	0	0,826	0,934	2618,797	2,987	1842,552

Holt-Winters tahmin modeli ile gelecek 12 ay için ilaç talep tahminleri (Tahmin), modelin gerçekleşen satışları (Gerçek) ve tahminlerin geçmiş dönem satışlarına uyumu (Uyum) Şekil 4'te görülebilir.



Şekil 4. Holt-Winters modeli ile talep tahmini

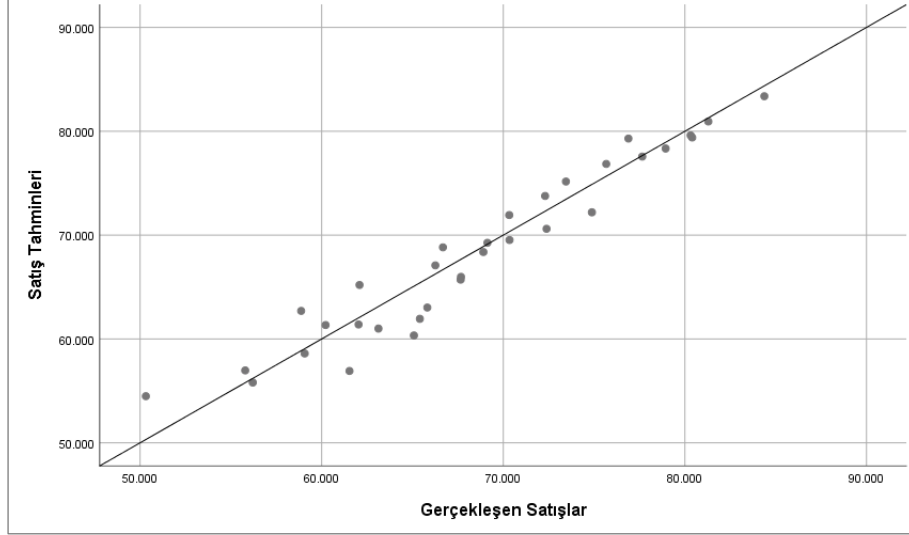
Şekil 4'te verilen grafiğe göre Holt-Winters modelinin hem talepteki zamana bağlı olarak artan trendi, hem de Şubat ve Temmuz aylarında gerçekleşen dalgalanmaları (mevsimsellik etkisini) daha iyi yakaladığı söylenebilir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, YSA ile tahmin çalışmaları yapılmıştır. Bu aşamada öncelikle gerçek satış verileri ile eğitilmiş model çıktıları incelenmiştir. YSA modellerinde eğitim-test verisi oranları ağırlıklı olarak %70-%30 ile %80-%20 aralığında değişkenlik gösterdiğinden, bu aralıkta farklı yüzdeler için tahminler yapılarak, hata oranları karşılaştırılmıştır. Buna göre toplam 36 dönemlik verinin %69-%31; %72-%28; %75-%25; %78-%22; %81-%19 eğitim-test yüzdelerine karşılık gelen MAPE oranları sırasıyla %3,325; %4,222; %4,379; %4,537; %4,671 olarak bulunmuştur. Hata oranları kabul edilebilir seviyelerde olmasına rağmen, denemelerin en düşük sonuç değerinin %3,325 ile ARIMA ve Holt-Winters yöntemlerinin hata oranlarından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında yukarıda elde edilen bulgulara göre, en iyi sonuç veren iki yöntemin çıktılarını birleştirecek ve modellerin tek başına kullandıklarından daha güçlü bir sonuç verecek bütünleşik YSA modeli kullanılmıştır. YSA modelinde ilk iki yöntemden elde edilen talep değerleri girdi (bağımsız değişken) olarak modele dâhil edilmiş, geçmiş dönem gerçekleşen satışlar ise çıktı (bağımlı değişken) olarak ele alınmıştır.

ARIMA modelinin 3 aylık ortalama almasından ötürü 3 aylık gecikme verisi hariç tutulmuş, toplam 33 adet veri yine farklı eğitim-test yüzdeleri ile analize tabi tutulmuştur. Buna göre %70-%30; %73-%27; %76-%24 ve %79-%21 eğitim-test yüzdelerine karşılık gelen MAPE oranları sırasıyla %2,743; %2,664; %2,887 ve %2,716 olarak elde edilmiştir.

Deneme sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu ve değişen eğitim-test yüzdesine rağmen her seferinde ARIMA ve Holt-Winters yöntemlerinden daha düşük hata oranı verdiği görülmektedir. Test edilen alternatif bütünleşik YSA modellerinin en iyisi, en düşük hata oranına sahip olan %73-%27 eğitim-test yüzdeli YSA modelidir. Bu modelde verinin 24'ü (%73) eğitim, 9'u (%27) test amaçlı kullanılmıştır. Bu yolla 4 gizli katmanlı bir YSA modeli elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre oluşturulan YSA modeline dâhil edilen Holt-Winters değişkeninin önem derecesi %63,7 olurken, ARIMA değişkeninin önem derecesi %36,3 olarak bulunmuştur. YSA modelinin satış tahminleri ile gerçek satışların uyumunu gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. YSA modeli tahminlerinin gerçekleşen satışlar ile uyumu

Şekil 5'e göre, YSA modelinin ilaç talebini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Ancak YSA ile bütünleştirilmiş modelin ARIMA ve Holt-Winters tekli modellerinden daha iyi sonuç verip vermediğini anlamak için tahmin hatalarının incelenmesi gerekmektedir. Tablo 5 her üç yöntemin tahmin hatalarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Tablo 5. Talep tahmini hataları

	<i>ARIMA Modeli</i>	<i>Holt-Winters Modeli</i>	<i>Bütünleşik YSA Modeli (ARIMA-Holt-Winters)</i>
MAPE	%3,056	%2,987	%2,664

Tablo 5'e bakıldığında bütünleşik YSA modelinin, diğer iki modelin tahmin yaklaşımlarını birleştirerek, yöntemlerin her ikisinden de daha düşük hata oranı veren ve dolayısıyla daha isabetli tahminde bulunan bir yöntem olduğu görülmektedir. Her üç model ile geçmiş 36 aylık dönem ile gelecek 12 aylık dönemi içeren ve toplam 48 ay için gerçekleştirilen talep tahminleri aşağıda verilmiştir (Tablo 6).

Tahmin sonuç tablolarına bakılarak, kullanılan her üç yöntemin ilaç tedarik zincirlerinin genel yapısı gereği sektördeki tahmin hata paylarının yüksek oluşu göz önüne alındığında her biri %5'in altında MAPE oranı ile oldukça isabetli sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Bütünleşik YSA modeli diğer iki modelin güçlü yanlarını birleştirerek, toplamda her iki yöntemden daha düşük hata vermiştir. Her üç modelle elde edilen gelecek 12 ayın (37 - 48 ay) ilaç talep tahminleri incelendiğinde genel olarak ARIMA modelinin diğer iki yöntemle göre daha yüksek tahmin değerleri verdiği görülmüştür. Holt-Winters modeli değerleri diğer iki yöntemin arasında bulunmakta ve en düşük tahminler YSA modeli tarafından yapılmaktadır. Ayrıca YSA modeli tahminlerinin gelecek ilk üç aydan sonra, her iki yöntem sonuçlarından daha fazla ayrıştığı görülmektedir.

Tablo 6. Talep tahminleri

Aylar	Satış	ARIMA	Holt-Winters	Bütünleşik YSA	Aylar	Satış	ARIMA	Holt-Winters	Bütünleşik YSA
1	41.243		43.248		25	72.380	72.662	69.541	70.608
2	50.308		49.079		26	78.939	77.320	78.241	78.339
3	51.776		43.634		27	70.328	70.922	72.526	71.929
4	50.316	52.659	51.192	54.488	28	73.450	75.914	74.048	75.160
5	56.204	56.856	53.737	55.808	29	75.670	75.798	76.759	76.853
6	61.529	56.266	57.575	56.919	30	76.890	79.554	78.512	79.300
7	55.789	60.850	54.379	56.970	31	72.303	75.827	72.032	73.768
8	59.064	57.504	60.650	58.602	32	77.650	76.280	77.606	77.563
9	63.125	61.737	62.472	61.000	33	80.313	77.521	80.354	79.608
10	65.816	64.090	64.243	63.029	34	81.290	79.373	81.692	80.940
11	62.028	61.593	63.214	61.395	35	80.400	78.300	79.474	79.400
12	62.084	65.809	66.359	65.200	36	84.373	84.417	83.825	83.375
13	65.078	63.858	59.928	60.339	37		84.043	80.203	81.599
14	70.343	69.622	69.996	69.531	38		88.699	87.233	85.569
15	58.870	63.530	64.094	62.704	39		81.639	81.094	81.350
16	65.403	61.979	63.851	61.938	40		84.844	83.894	83.509
17	66.259	67.698	67.832	67.089	41		88.416	86.949	85.423
18	66.675	69.155	69.314	68.824	42		90.755	89.337	86.543
19	60.215	63.003	62.246	61.340	43		90.216	83.809	84.617
20	67.650	66.780	66.474	65.710	44		92.901	89.229	86.820
21	68.900	67.250	69.887	68.369	45		94.433	91.955	87.659
22	69.125	67.964	70.672	69.260	46		94.513	93.320	87.942
23	67.670	65.303	67.781	65.984	47		94.156	91.343	87.495
24	74.879	73.079	71.517	72.198	48		96.460	95.155	88.448

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

İlaç talebinin isabetli olarak tahmin edilmesi, ilaç tedarik zinciri faaliyetlerinin etkin bir şekilde planlanması ve yürütülmesi için büyük katkı sağlayan bir unsurdur. Bu faaliyetler arasında üretim ve kapasite planlama, ham madde siparişi, stok yönetimi ve satış planlama gibi tedarik zinciri faaliyetleri sıralanabilir. Bu doğrultuda ilaç sektöründeki dönemsel satış verilerinin analiz edilmesi, geleceğe yönelik öngörülebilir stratejik kararların alınması için kritik öneme sahiptir. Bu sayede, günümüzün rekabetçi piyasa koşullarında ilaç sektöründeki tedarik, fiyatlandırma ve depolama faaliyetlerinde etkin bir hedef maliyetleme sistemi işletilebilecektir. Ayrıca iş gücü planlaması, yapılan tahminlere göre şekillendirilebilecektir. Sonuç olarak ham madde, personel, ekipman ve finansal kaynakların verimli kullanımı, işletmelerin ve tüm ilaç tedarik zincirinin verimliliğini olumlu etkileyen bir unsur olarak karşımıza çıkacaktır. Bu nedenle bu çalışmada, ilaç sektöründeki yöneticilerin stratejik planlama aşamasında alacağı kararlarda kullanılmak üzere, geçmiş dönem verileri analiz edilerek, gelecekteki ilaç talebine yönelik isabetli bir tahmin gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma ile firmaların, ilaç fiyatlarında yaşanan dalgalanmalardan asgari seviyede etkilenmesi, ilaçların depolanmasında karşılaşılan problemlerin giderilmesi ve ilaç satışlarının etkin olarak planlanması gibi işletme verimliliğini artıran faaliyetlere katkıda bulunmak hedeflenmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak Türkiye’de yerli bir firma tarafından üretilen ve kronik bir hastalığın tedavisinde kullanılan bir ilacın 2019-2021 tarihleri arasındaki 36 aylık satış verileri incelenerek, literatürde yaygın olarak kullanılan zaman serisi analizine dayanan yöntemler ile geleceğe yönelik talep tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ARIMA, Holt-Winters üstel düzeltme ve her iki yöntemin YSA ile bütünleştirildiği hibrit YSA modeli ile tahmin yöntemleri kullanılmıştır.

Yapılan analizlerin ortalama mutlak hata oranları incelendiğinde, ARIMA modelinin %3,056, Holt-Winters modelinin %2,987, bütünleşik YSA modelinin %2,664 hata verdiği görülür. İlaç sektöründe tahmin yöntemlerinin kullanımı nispeten yenidir ve yapılan tahminlerdeki hata payı %40'lara kadar çıkmaktadır (Merkuryeva ve diğerleri, 2019). Bu doğrultuda sektör değerlerine bakıldığında, kullanılan yöntemlerin oldukça yüksek doğruluk payı ile isabetli tahminler yaptığı söylenebilir. İki başarılı zaman serisi yönteminin birleşimi olan YSA modeli, bu iki yöntemin tek başına kullanıldıklarında gösterdikleri zayıf yönleri bertaraf

ederek, daha güçlü bir tahmin gerçekleştirmiş ve en düşük hata oranını vermiştir. Elde edilen bulgular, ilaç talep tahmininde ARIMA ve Holt-Winters metodu çıktılarını makine öğrenmesi ile bütünleştirerek daha isabetli bir tahmin yapan Siddiqui ve diğerlerinin (2021) ve yine aynı sektörde ARIMA ve YSA hibrit modelini oluşturarak tahmin doğruluğunu artıran Han'ın (2020) sunduğu bulgular ile paralellik göstermektedir. Bununla birlikte YSA modeli ile geleceğe yönelik analiz sonuçlarında ilk üç aylık tahminlerin ARIMA ve Holt-Winters tahminleri ile yakın olduğu ancak, 4. aydan itibaren verideki artış trendini daha az yansıtarak, diğer iki yöntemle elde edilen tahmin sonuçlarından gözle görülür şekilde ayrıştığı belirlenmiştir. Bu durum tahmin sonuçlarının kısa dönemde daha isabetli olabileceğini düşündürmekle beraber, kesin bir kaniya varabilmek için ileriki dönemlerde analizlerin yinelenerek geçmişe dönük test edilmesi gerekir.

Bu çalışmanın literatürde ilaç sektöründe kısıtlı uygulama alanı bulan talep tahmin çalışmalarına katkıda bulunması ve ilaç sektöründe faaliyet gösteren firma yöneticilerinin ilaç tedarik zinciri yönetimine ilişkin verecekleri kararlarda yardımcı olması beklenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan zaman serisi analizlerinin ortak noktası geçmişte satış verilerini etkileyen faktörlerin gelecekte de aynı etkiyi göstereceğini varsaymasıdır. Çalışmada ele alınan ürünün tercih edilmesinin en önemli nedeni kronik pazarda yer alması nedeniyle, ürün talebinin dışsal faktörlerden etkilenme olasılığının düşük olmasıdır. Buna rağmen seçilen ürünün satış miktarının, sahada yer alan tıbbi tanıtım temsilcisi sayısı, yapılan pazarlama aktiviteleri, rakip firma faaliyetleri ve yıl içerisinde yapılan depo kampanyaları gibi faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir. Bunun yanında ilaç sektörü 2020 ve 2021 yıllarında 2019 yılından farklı olarak, tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgınından etkilenmiştir.

Mevcut çalışmalarda farklı ürünler için farklı yöntemlerin etkili olabileceği belirlenirken (Nasuhoglu, 2019), bazı durumlarda en iyi tahmin yönteminin ele alınan zaman periyoduna bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir (Nikolopoulos ve diğerleri, 2016). Literatürde bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında, tahmin başarısının, kullanılan yöntemin veri setine ne kadar uyum sağladığı ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan modeller, yüksek R^2 çıktıları ve düşük MAPE oranları ile kullanılan veri setini iyi temsil ederek başarılı tahmin sonuçları vermiştir. Bütünleşik YSA modeli ise iyi olan tahminleri daha da isabetli hale getirmiştir. Önerilen yöntem sadece ilaç sektöründe talep tahmin faaliyetlerinde karar desteği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kullanım alanı gıda ve içecek sektöründen tarım sektörüne, otomotiv sektöründen tekstil sektörüne genişletilerek, pek çok farklı alanda talep tahmini çalışmalarında yol gösterici olabilir.

Bu çalışmada ele alınan veriler, kullanımı nispeten stabil olan bir ilaç çeşidinin üç yıllık satışları ile sınırlıdır. Geçmişe yönelik daha fazla verinin analizlere dahil edilmesi ve modellerin farklı ilaç grupları üzerinde uygulanması tahmin sonucunu etkileyebilir. Bu doğrultuda gelecekteki çalışmalar, farklı türdeki ilaçlara ait uzun dönem satış verilerinin analiz edilmesini içeren ilaç tedarik zinciri talep tahminleri ile farklı sektörlerdeki ürünlerin tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerine temel olan talep tahmini araştırmalarına doğru genişletilebilir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Tuğba Sarı: Metodoloji, Modelleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme *Bünyamin Salih Gül:* Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Veri Derleme.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışma herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği almamıştır.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, N., Nasir, F. ve Aleem, U. (2015). "Sale Forecasting of Merck Pharma Company using ARMA Model", *Research Journal of Finance and Accounting*, 6(21), 30-36.
- Amalnick, M.S., Habibifar, N., Hamid, M. ve Bastan, M. (2020). "An Intelligent Algorithm for Final Product Demand Forecasting in Pharmaceutical Units", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(2), 481-493.
- Anusha, S.L., Alok, S. ve Ashiff, S. (2014). Demand Forecasting for the Indian Pharmaceutical Retail: A Case Study", *Journal of Supply Chain Management Systems*, 3(2), 1-9.
- Atasever, M. (2015). "Türkiye İlaç Sektörü Analizi", Absam Sağlık Araştırma Merkezi, Ankara, https://www.academia.edu/33533565/Turkiye_Ilac_Sektoru_Analizi, (Erişim tarihi: 01.05.2021).
- Aydemir, E., Kaysi, F. ve Yavuz, M. (2020). "İlaç Satış Verileri Kullanılarak Ağaç Algoritmaları ile Elde Edilen Gelirin Tahmin Edilmesi", *Bilgisayar Bilimleri*, 5(1), 14-21.
- Bulut, M. ve Başoğlu, B. (2017). "Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 1-9.
- Candan, G., Taskin, M.F. ve Yazgan, H.R. (2014). "Demand Forecasting in Pharmaceutical Industry Using Artificial Intelligence: Neuro-Fuzzy Approach", *Journal of Management and Information Science*, 2(2), 41-49.
- Chase, C. (2013). "Demand-Driven Forecasting: A Structured Approach to Forecasting", John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- Cheng, C.Y., Chiang, K.L. ve Chen, M.Y. (2016). "Intermittent Demand Forecasting in a Tertiary Pediatric Intensive Care Unit", *Journal of Medical Systems*, 40(10), 1-12.
- Chopra, S. ve Meindl, P. (2016). "Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, Pearson Publishing, New Jersey, USA.
- Durbha, D. (2016). "State of the Pharmaceutical Supply Chain: Key Takeaways from LogiPharma. 21st Century Supply Chain Blog, <https://blog.kinaxis.com/2016/09/state-pharmaceutical-supply-chain-key-takeaways-logipharma-us-2016>, (Erişim tarihi: 15.03.2021).
- Ercan, T. ve Top, M. (2016). "İlaç Tanıtım ve Pazarlama Faaliyetlerinin Önemi", *Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 1-7.
- Erman, M. (2018). "Talep Tahmini ve Envanter Yönetiminde Matematiksel Modelleme: Bir Ecza Deposuna Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Han, Y. (2020). "A Forecasting Method of Pharmaceutical Sales Based on ARIMA-LSTM Model", In 2020 5th International Conference on Information Science, Computer Technology and Transportation (ISCTT), November, pp. 336-339, IEEE.
- Heizer, J., Render, B. ve Munson, C. (2017). "Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management", Pearson Publishing, New Jersey, USA.
- İlaç Endüstrisi İşverenler Sendikası [İEİS], (2020). Temel Göstergeler, Türkiye İlaç Pazarı, <http://www.ieis.org.tr/ieis/tr/indicators/33/turkiye-ilac-pazari>, (Erişim tarihi: 10.05.2021).
- Jacobs, F.R. ve Chase, R.B. (2010). "Operations and Supply Management: The Core", McGraw-Hill, New York, USA.
- Karakoç, H. (2005). "İlaç Sektöründe Fiyat Rekabeti", Rekabet Kurumu, Uzmanlık Tezi, Ankara, <https://www.rekabet.gov.tr/Dosya/uzmanlik-tezleri/70-pdf>, (Erişim tarihi: 20.09.2021).
- Kaynak, S. (2016). "Türk İlaç Sektörünün Rekabet Yapısı ve Yoğunlaşma Analizi", *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 6(2), 49-66.
- Khalil Zadeh, N., Sepehri, M.M. ve Farvaresh, H. (2014). "Intelligent Sales Prediction for Pharmaceutical Distribution Companies: A Data Mining-Based Approach", *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-15.
- Khan, M.M.H., Muhammad, N.S. ve El-Shafie, A. (2020). "Wavelet Based Hybrid ANN-ARIMA Models for Meteorological Drought Forecasting", *Journal of Hydrology*, 590, 125380.
- Khashei, M. ve Bijari, M. (2010). "An Artificial Neural Network (p, d, q) Model for Timeseries Forecasting", *Expert Systems with Applications*, 37(1), 479-489.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. ve Malhotra, M.K. (2010). "Operations Management: Processes and Supply Chains", Pearson Publishing, New Jersey, USA.
- Levy, R. (1999). The Pharmaceutical Industry: A Discussion of Competitive and Antitrust Issues in an Environment of Change, Bureau of Economics Staff Report, Federal Trade Commission, p.214. <https://www.ftc.gov/reports/pharmaceutical-industry-discussion-competitive-antitrust-issues-environment-change> (Erişim Tarihi: 08.06.2021).

- Merkuryeva, G., Valberga, A. ve Smirnov, A. (2019). "Demand Forecasting in Pharmaceutical Supply Chains: A Case Study", *Procedia Computer Science*, 149, 3-10.
- Nasuhoglu, H. (2019). "Eczacılık Sektöründe Yapay Sinir Ağları ve Zaman Serileri Analizi ile Talep Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nikolopoulos, K., Buxton, S., Khammash, M. ve Stern, P. (2016). "Forecasting Branded and Generic Pharmaceuticals", *International Journal of Forecasting*, 32(2), 344-357.
- Obamiro, J.K. (2019). "Demand Forecasting and Measuring Forecast Accuracy in a Pharmacy", *Acta Oeconomica Universitatis Selye*, 8(1), 104-115.
- Ribeiro, A., Seruca, I. ve Durão, N. (2017). "Improving Organizational Decision Support: Detection of Outliers and Sales Prediction for a Pharmaceutical Distribution Company", *Procedia Computer Science*, 121, 282-290.
- Sarıaslan, H., Karacabey, A. ve Gökgöz, F. (2017). "Nicel Karar Yöntemleri", Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Siddiqui, R., Azmat, M., Ahmed, S. ve Kummer, S. (2021). "A Hybrid Demand Forecasting Model for Greater Forecasting Accuracy: The Case of the Pharmaceutical Industry", *In Supply Chain Forum: An International Journal*, 1-11, Taylor & Francis.
- Türkiye Ekonomi Politikaları Vakfı [TEPAV] (2015, Nisan). İlaç Ar-Ge Ekosistemi Raporu. https://www.tepav.org.tr/upload/files/1430228364-4.Ilac_ARGE_Ekosistemi_Raporu.pdf, (Erişim tarihi: 20.09.2021).
- Walczak, S. (2018). "Artificial Neural Networks", In *Encyclopedia of Information Science and Technology, Fourth Edition*, 120-131, IGI Global.
- Zhu, X., Ninh, A., Zhao, H. ve Liu, Z. (2021). "Demand forecasting with supply-chain information and machine learning: Evidence in the Pharmaceutical Industry", *Production and Operations Management*, 30(9), 3231-3252.