

Araştırma Makalesi

Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini: İstanbul Örneği

Ayşenur ÖLÇENOĞLU[†], Oğuz BORAT^{††}

[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

aysenur.olcenoglu@istanbulticaret.edu.tr, oborat@ticaret.edu.tr



0009-0009-9850-5851, 0000-0002-2242-6024

Atf/Citation: ÖLÇENOĞLU, A., BORAT, O., (2023). Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini: İstanbul Örneği, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.81-96 , DOI: 10.56809/icujtas.1330019

ÖZET

Su kaynakları, tarih boyunca şehirlerin konumlandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak günümüzde küresel ısınma ve ekolojik sistemin bozulması, yıllık yağışların azalmasına yol açmıştır. Ayrıca, hızlı nüfus artışı ve bilinçsiz su tüketimi de su kaynaklarının verimli kullanılmasını çevresel zorunluluk haline getirmiştir. Dolayısıyla, sürdürülebilirlik ve gelecek nesillerin devamı için su tüketimi yönetimi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, su tüketimini etkileyen faktörlerin analizi ve gelecekteki taleplerin tahmin edilmesi hayati bir konudur. Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul gibi büyük bir metropolün, su tüketimi ve tahminleri üzerine yapılan araştırmalar su temini ve tüketimi yönetimine önemli bir örnektir.

Su temini ve tüketimi yönetiminde, su dağıtım şebekesi çalışmalarında ve operasyon planlarında su tahminlerinden yararlanır. Gelecekteki su tüketimi talebini tahmin etmeye odaklanan bir su yönetiminin stratejisi hazırlamak; su tutma, depolama ve arıtma maliyetlerini optimize etme fırsatı sağlar.

Bu çalışmada İSKİ tarafından sağlanan İstanbul'un aylık su tüketim verileri ve TÜİK'ten elde edilen İstanbul'un yıllık nüfus verileri analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Holt-Winters ve Box-Jenkins yöntemleri kullanılarak modeller oluşturulmuş olup, İstanbul ilindeki su tüketimine dair 2033 yılına kadar olan yıllık su tüketimi tahmini ve yıllık nüfus tahmini yapılmıştır. Oluşturulan modellerin performans değerleri karşılaştırılmıştır. En iyi tahmin modelleri olarak nüfus tahmini için ARIMA (3,1,2) ve su tüketimi tahmini için Toplamsal Winters' yöntemi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2010 yılında kişi başına düşen su tüketim miktarı 58,69 m³/kişi iken, 2033 yılında bu miktarın 75,83 m³/kişi olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su Tüketimi Tahmini, Nüfus Tahmini, Zaman Serileri Analizi, Holt-Winters', Box-Jenkins

Forecasting Water Consumption Using Holt-Winters and Box-Jenkins Models: A Case Study of İstanbul

ABSTRACT

Water resources have played a significant role in the location of cities throughout history. However, today, global warming and the disruption of the ecological system have led to a decrease in annual precipitation. Additionally, rapid population growth and indiscriminate water consumption have made the efficient use of water resources an environmental necessity. Therefore, water consumption management is crucial for sustainability and the continuity of future generations. In this context, the analysis of factors affecting water consumption and the prediction of future demands are vital issues.

Research conducted on water consumption and forecasts in a large metropolis like İstanbul, Turkey's most populous city, serves as an important example for water supply and consumption management. In water supply and consumption management, water predictions are utilized in water distribution network studies and operational plans. Developing a water management strategy that focuses on predicting future water consumption demand provides an opportunity to optimize water retention, storage, and treatment costs.

Geliş/Received	:	19.07.2023
Gözden Geçirme/Revised	:	24.07.2023
Kabul/Accepted	:	01.08.2023

In this study, monthly water consumption data provided by ISKI (Istanbul Water and Sewerage Administration) and annual population data obtained from TUIK (Turkish Statistical Institute) for Istanbul have been analyzed. Based on the analysis results, models were created using the Holt-Winters and Box-Jenkins methods, and annual water consumption and population estimates for Istanbul until the year 2033 were made. The performance values of the generated models were compared. ARIMA (3,1,2) was selected as the best model for population estimation, and the Additive Winters' method was chosen for water consumption estimation. According to the results obtained, the per capita water consumption in the year 2010 was 58.69 m³/person, while it is expected to reach 75.83 m³/person by the year 2033.

Keywords: Water Consumption Estimation, Population Estimate, Time Series Analysis, Holt-Winters', Box-Jenkins

1. GİRİŞ

Günümüzde metropoller sürekli büyüyen, nüfusu artan buna bağlı olarak da enerji, su, yakıt tüketimi taleplerinin her geçen yıla göre artarak şekillendiği yerleşimlerdir. Türkiye'nin en büyük metropolü olan gerek konum gerekse stratejik ve ekonomik canlılığıyla bilinen İstanbul'un su kaynakları yönetimi kritik bir öneme sahiptir.

Sabit ve hareketli nüfus artışı, endüstriyel faaliyetler ve iklim değişikliği gibi etkenler, su kaynakları kısıtlı olan İstanbul'un su tüketim talebini artırmakta ve mevcut su kaynaklarının ihtiyaca yetmemesi nedeniyle su kaynaklarının yönetiminin çok dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir.

Su hizmetleri yönetiminde, su tesislerini tasarlamak ve gelecekte gerekli olabilecek su ihtiyaçlarını planlama amacıyla uzun vadeli su tüketimi tahmin modellerinden yararlanır. İstanbul için bu görev İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir. İSKİ; nüfus artışı, endüstrileşme ve benzeri faktörler nedeniyle su kaynakları sistemleri strese girdikçe, su hizmetleri yönetiminde mevcut su kaynakları sistemlerinin işletme ve yönetimini optimize etmek zorundadır. Su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi için kısa vadeli su talepleri modellerinden faydalanılmalıdır (Jain ve Ormsbee, 2002).

Bu makale, İstanbul'da su tüketimi konusunda bilgi ve farkındalığın artırılması, su kaynaklarının etkili bir şekilde korunması ve yönetilmesi için İstanbul'da su tüketimi üzerine bir analiz sunmaktadır. Mevcut su tüketimi durumunun anlaşılması ve gelecekteki su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmak; İstanbul'daki su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gelecekteki su tüketimi ihtiyaçlarının karşılanabilmesi konusunda karar vericilere yardım etmeyi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Su önemli ve sınırlı bir kaynaktır, bu nedenle su kaynakları yönetimi için çalışmalar yapılması önemlidir. Literatürde su tahmini konusunda birçok farklı metot kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Donkor ve ark. (2014), makalelerinde, kentsel su talebi tahmininde kullanılan farklı yöntemler ve modellerin bir arada kullanılmasının avantajları ve dezavantajlarını incelemişler ve öneriler sunmuşlardır.

Maidment ve ark. (1984) makalelerinde, belediyelerin aylık su kullanımını tahmin etmek için kullanılan bir kademeli modeli ele almışlardır. Kozłowski ve ark. (2018) yayınladıkları makalede, Holt-Winters yönteminin su tüketimi tahmininde kullanılabilirliğini ve doğru veri analizinin önemini vurgulamışlardır.

Aslan ve ark. (2018) makalelerinde Diyarbakır'ın içme suyu ihtiyacının Genetik İfadeli Programlama (GİP) yöntemi ile modellenmesini ele almıştır. Bu çalışmada kullanılan GİP, bir yapay zekâ metodudur ve bu yöntem optimizasyon ve tahminleme tekniği olarak kullanılmıştır.

Mombeni ve ark. (2013) yayınladıkları makalelerinde, SARIMA modellerini kullanmış ve İran'da su talebinin tahmin edilmesini ele almıştır.

Razali ve ark. (2018) yayınladıkları makalede, Holt-Winters ve ARIMA yöntemlerinin su tüketimi harcamalarının tahmininde kullanılabilirliğini, su kaynakları yönetimi için veri toplama ve analizinin önemi vurgulanmıştır.

Akdağ (2016) yaptığı çalışmada, Diyarbakır kent merkezi içme suyu talebi Yapay Sinir Ağları ve Winters' Yöntemi ve Box-Jenkins yöntemleri ile tahmin edilmesi ve tahminlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, Yapay Sinir Ağları'nın diğer yöntemlere göre daha iyi tahmin sonuçlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Dutta ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, Hindistan'daki Chennai şehrini bir örnek olay olarak ele almakta ve dört büyük barajın su seviyelerini gelecek için tahminlemeyi amaçlamaktadır. Su rezervuarlarının, su seviyelerindeki mevsimsel etkilerle değişen trendi tahminlemek için SARIMA modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda SARIMA yönteminin ARIMA yöntemine göre mevsimsel etkilerden dolayı daha iyi performans gösterdiğine ulaşılmıştır.

Jorge (2007) makalesinde, çok aşamalı su talebi tahmini için İspanya'daki 1 Ocak 2001'den 30 Haziran 2006'ya kadar olan günlük su tüketimi verilerinden yararlanarak; Holt-Winters, ARIMA ve GARCH modellerini

kullanmıştır. Tek değişkenli zaman serisi modellerinin kısa vadeli tahminlerde oldukça etkili olduğunu ve haftanın her günü için farklı yöntemlerin ve birleşik tahminlerin kullanılmasının tahmin doğruluğunu artırabileceği sonucuna varmıştır.

Almanjahie ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada Ocak 2010 ve Temmuz 2017 arasında su tüketimi verileri kullanılarak, SARIMA modeli ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, Suudi Arabistan'daki su tüketimi için en iyi modelin SARIMA(1,0,1)(1,1,2)₁₂ olduğu belirlenmiştir. İlgili çalışma su üretimi yönetimi ve iyileştirilmesi amacıyla yetkililere rehberlik etmeyi amaçlamıştır.

Boudhaouia & Wira (2022) çalışmalarında gelecekteki su talebini tahmin etmeye odaklanan bir su yönetimi stratejisi önerilmektedir. Akıllı bina bağlamında su tüketimini izlemek için SARIMA, yapay sinir ağı modelleri (LSTM) ve MLP yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, SARIMA ve MLP'nin birleşimiyle elde edilen tahminlerin, SARIMA modelinin tahminlerine göre %4,6 daha güvenilir ve doğru olduğu belirlenmiştir. Su maliyetlerini azaltmak ve tüketici faturalarını düşürmek için faydalı olabileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Enbeyle ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, Güneybatı Etiyopya'daki Tepi kasabasında aylık su tüketimi tahminini ARIMA modelleri kullanılarak incelemiştir. Tepi kasabasında su tüketimi verilerine uygun ARIMA modelini belirlemek ve gelecekteki su tüketimini tahmin etmeyi amaçlamış olup, Ocak 2016'dan Aralık 2021'e kadar olan aylık su tüketim verileri ile çeşitli ARIMA modelleri arasında en uygun modelin ARIMA (1, 1, 1) olduğunu bulmuşlardır. Tahmin sonuçları, su tüketiminin Aralık ayından Eylül ayına doğru arttığını göstermektedir.

Wang ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, ARIMA ve ANN modellerinin yüzey suyu kalitesi tahmini performansını istatistiksel olarak karşılaştırmayı amaçlamışlardır. 6912 farklı SARIMA ve 110,592 farklı ANN modeli yapıları kullanılarak yaptıkları karşılaştırmada, ANN modellerinin daha düşük MSE ve daha iyi genelleme yeteneğine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada, su kaynakları yönetimi ve kalite tahmini için ANN modellerinin tercih edilebileceğini vurgulanmaktadır.

Mousavi-Mirkalaei & Banihabib (2019) yaptıkları çalışmada, Tahran Metropolü için günlük Şehir İçi Su Tüketimini (UWC) tahmin etmek amacıyla ARIMA-NARX hibrit bir model önermiştir. UWC'nin lineer ve doğrusal olmayan bileşenleri, ARIMA ve yapay sinir ağı kullanılarak tahmin etmişlerdir. Güneş saati gibi ek bir özellikle geliştirilen hibrit model, diğer varsayımlarla birlikte değerlendirerek daha etkili bir alternatif olarak belirlenmişlerdir. Önerilen hibrit modelin performansı, ARIMA ve NARX modelleri ile karşılaştırılmış ve daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle, hibrit modelin kullanılması, şehir içi su rezervuar yönetimi için daha iyi sonuçlar aldığını önermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Zaman Serileri

Zaman serisi, belirli periyotlar (saatlik, günlük, haftalık, aylık, yıllık gibi) içinde toplanan veri gruplarıdır ve ihtiyaca uygun şekilde düzenlenir. Verilerin zaman serisi verisi olarak kabul edilebilmesi için, verilerin zaman içinde düzenli bir şekilde dağılması ve ölçüm aralıklarının düzenli ve eşit olarak bölünmesi gerekmektedir. Palma (2016), zaman serilerini zaman içinde ardışık olarak alınan gözlemlerin bir koleksiyonu olarak tanımlar. Zaman serilerinin birçok yöntemi bulunmaktadır. Yöntem seçiminde veri setinin özelliklerinden faydalanılır. Zaman serileri mevcut durum analizi ve gelecek tahminleri için kullanılmaktadır. Veriye en uygun tahmin yöntemi seçmek için zaman serisinin bileşenlerini dikkate almak gerekmektedir. Zaman serilerinin bileşenleri sistematik ve sistematik olmayan olarak ikiye ayrılır. Sistematik zaman serisi bileşenleri; trend, mevsimsellik ve döngüdür. Sistematik olmayan zaman serisi bileşeni ise gürültüdür (Shmueli & Lichtendahl, 2016).

Mevsimsellik bileşeni, verinin haftalık, aylık gibi belirli zaman aralıklarında meydana gelen değişimini ifade etmektedir (Dutta ve ark., 2020). Trend bileşeni, zaman serisinde uzun vadeli olarak gerçekleşen düzenli artış ve azalış; döngü bileşeni, zaman serisindeki uzun dönemde tekrar eden dalgalanmaları; gürültü bileşeni ise zaman serilerinde tahmin edilemeyen düzensiz hareketleri ifade etmektedir. Gürültü bileşenine örnek olarak doğal afetler, salgın hastalıklar, savaşlar gösterilebilir.

3.1.1. Holt's Yöntemi (Çift Üstel Düzleştirme)

Holt'un 1957 yılında literatüre kazandırdığı, Holt's yöntemi olarak da anılan çift üstel düzleştirme yöntemi, veride trend olması durumunda kullanılmaktadır. Trend; zaman serisinde uzun vadeli olarak artan ya da azalan eğimi temsil etmektedir. Model iki adet düzeltme parametresi üzerine odaklanmaktadır. Bunlardan biri üstel düzleştirme parametresi olan α ve trend düzleştirme parametresi olan β 'dir. Holt's yönteminin denklemi aşağıdaki gibidir;

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

Trend Denklemi:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

Holt's Tahmin Denklemi:

$$F_{t+p} = L_t + p \cdot T_t \quad (3)$$

- L_t t zamanındaki düzleştirilmiş seviye değeridir,
- Y_t t zamanındaki gerçek gözlemlenen değerdir,
- T_t t zamanındaki trend değeridir,
- α Seviye düzleştirilmesi için üstel düzleştirme parametresidir, 0 ile 1 arasındadır,
- β Trend düzleştirilmesi parametresidir, 0 ile 1 arasındadır,
- L_{t-1} bir önceki zaman periyodunda düzleştirilmiş seviye değeridir,
- T_{t-1} bir önceki zaman periyodundaki trend değeridir,
- F_{t+p} t zamanında p adım sonrasının tahmin değeridir.

3.1.2. Winter's Yöntemi

Winter (1960), Holt's yöntemine mevsimsellik özelliğinin eklenmesi ve seride belirli periyodik dönemlerde tekrar eden desenlerin ortaya konması mevsimsellik özelliğinin görünür hale getirilmesini sağlamıştır. Holt-Winters' yöntemi Toplamsal Winters' Yöntemi ve Çarpımsal Winters' Yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Eğer veride mevsimsel etki trendle birlikte düzenli bir artış veya azalış gösteriyorsa Çarpımsal Winters' Yöntemi, mevsimsel etki düzensiz bir eğilimle artış veya azalış gösteriyorsa Toplamsal Winters' yöntemi kullanılması önerilmektedir (Hafid & Al-maamary, 2011). Çarpımsal Winters' yönteminde farklı mevsimlerdeki değerler yüzdelik oranlarda farklılık göstermektedir, buna karşılık Toplamsal Winters' yönteminde sabit miktarda farklılık ortaya çıkmaktadır (Shmueli & Lichtendahl ,2016).

Toplamsal Winters' Yöntemi

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (4)$$

Trend Denklemi:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (5)$$

Mevsimsellik Denklemi:

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (6)$$

Toplamsal Winters' Tahmin Denklemi:

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (7)$$

Burada;

- α , ortalama düzeyi, 0 ile 1 arasındadır,
- β , eğim parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- γ , mevsimsellik parametresi ,0 ile 1 arasındadır,
- m , tahminin kaçınıcı gelecekteki döneme ait olduğunu belirten değer,
- S , mevsimselliğin uzunluğu
- Y_t , değişkenin t anındaki gözlemlenen değeri,
- L_t , serinin t dönemindeki seviyesi,
- b_t , trend bileşeni,
- S_t , mevsimsel bileşen,
- F_{t+m} , m kadar dönem sonrası için tahmin değerini belirtmektedir.

Çarpımsal Winters' Yöntemi

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (8)$$

Trend Denklemi:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (9)$$

Mevsimsellik Denklemi:

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (10)$$

Çarpımsal Winters' Tahmin Denklemi:

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (11)$$

Burada;

- α , ortalama düzeyi, 0 ile 1 arasındadır,
- β , eğim parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- γ , mevsimsellik parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- m , tahminin kaçınıcı gelecekteki döneme ait olduğunu belirten değer,
- S , mevsimselliğin uzunluğu
- Y_t , değişkenin t anındaki gözlemlenen değeri,
- L_t , serinin t dönemindeki seviyesi,
- b_t , trend bileşeni,
- S_t , mevsimsel bileşen,
- F_{t+m} , m kadar dönem sonrası için tahmin değerini belirtmektedir.

3.1.3. ARIMA (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama)

Box ve Jenkins (1970) tarafından bulunan, tam ismi Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemine göre gelecekteki oluşumların geçmişe benzer olduğu varsayılmaktadır. Bunun için durağanlaştırma işleminden faydalanılmaktadır.

ARIMA'nın 3 bileşeni bulunmaktadır;

- AR (Otoregresif bileşen): Geçmiş gözlemlerin bugünkü değerini tahminlemek için kullanılır. Bu bileşen, geçmiş değerlerin bir ağırlıklandırılmış toplamı olarak ifade edilir. AR bileşeni, serinin otokorelasyon yapısını temsil eder.
- I (Entegrasyon bileşeni): Serinin durağanlığını sağlamak için kullanılmaktadır. Entegrasyon, serinin fark alma işlemiyle birlikte düzgünleştirilmesini sağlar. Serinin fark alma seviyesi, I bileşeninin derecesini belirler. 0 ise seri durağandır.
- MA (Hareketli Ortalama bileşeni): Hata terimlerinin geçmiş değerlerini tahminlemek için kullanılır. Bu bileşen, hataların bir ağırlıklandırılmış toplamı olarak ifade edilir. MA bileşeni, serinin rasgele yapısını temsil eder.

ARIMA'nın genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Burada;

- y_t , serinin zamanındaki gözlem değeri,
- c , sabit terim,
- ϕ_1, \dots, ϕ_p , AR bileşeninin kat sayıları,
- ε_t , rastgele hata terimi,
- $\theta_1, \dots, \theta_q$, MA bileşeninin katsayıları,
- p , AR bileşeninin derecesi,
- d , entegrasyon derecesi,
- q , MA bileşeninin derecesini belirtmektedir.

3.1.4. SARIMA (Mevsimsel Otoresif Entegre Hareketli Ortalama)

Seride mevsimsellik etkisinin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. SARIMA'nın genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$y_t = c + \sum_{n=1}^p \phi_n y_{t-n} + \sum_{n=1}^q \theta_n \varepsilon_{t-n} + \sum_{n=1}^P \delta_n y_{t-mn} + \sum_{n=1}^Q \omega_n \varepsilon_{t-mn} + \varepsilon_t \quad (13)$$

Burada;

- y_t , serinin zamanındaki gözlem değeri (d ve mevsimsel D farklılaştırılmasıyla),
- c, sabit terim,
- ϕ_1, \dots, ϕ_p , AR bileşenin kat sayıları,
- ε_t , rastgele hata terimi,
- $\theta_1, \dots, \theta_q$, MA bileşenin katsayıları,
- p, AR bileşenin derecesi,
- d, entegrasyon derecesi,
- q, MA bileşenin derecesi,
- P: mevsimsel AR bileşenlerin sayısı,
- ω : mevsimsel AR bileşenlerin katsayıları,
- Q: mevsimsel MA bileşenlerinin sayısı,
- δ : mevsimsel tahmin hatalarının katsayıları,
- m: mevsimsel periyodun uzunluğunu belirtmektedir.

3.2. Performans Ölçütleri

Zaman serilerinde analiz veya tahmin yapmak için birden fazla yöntem kullanılabilir. Performans ölçütleri, zaman serisinde kullanılan modelin etkinliğini ve doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan yöntemlerdir. Performans ölçütleri kullanılan yöntemin gerçek değerlerle ne kadar uyumlu olduğu ve kullanılan tahminin ya da analizin başarı derecesini ölçmektedir. Bu ölçütler, kullanılan modelin hatalarını analiz ederek, modelin doğruluğunu ve hassasiyetini değerlendirmektedir. Modelin performansını ölçmek için bu çalışmada aşağıdaki performans ölçütlerinden yararlanılmıştır, kullanılan performans ölçütlerinin denklemleri Denklem (14), Denklem (15), Denklem (16), Denklem (17)' de gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (14)$$

Burada,

- SSR (Sum of Squares Residual): Tahminin gerçek değerlerden sapmalarının karelerinin toplamı,
- SST (Sum of Squares Total): Bağımlı değişkenin ortalamasından sapmalarının karelerinin toplamı.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_t - y'_t)^2}{N-P}} \quad (15)$$

Burada,

- y_i , i'inci gözlem için gerçek değer,
- y'_i , i'nci gözlem için tahmin edilen değer,
- N, gözlem sayısı,
- P, sabit dahil olmak üzere parametre tahminlerinin sayısıdır.

$$MAPE = \frac{\sum |y_i - y'_i|}{n} * 100 \quad (16)$$

Burada,

- n , tahminde bulunulan dönem sayısı,
- y_i , i döneminde gerçekleşen değer,
- y'_i , i dönemi için tahmin değerini belirtmektedir.

$$\text{Normalize BIC} = \frac{-2 \cdot \log(\text{likelihood}) + k \cdot \ln(N)}{N} \quad (17)$$

Burada,

- k , modelin toplam parametre sayısı,
- N , verinin örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir. (Schwarz,1978)

4. UYGULAMA

Bu bölümde İstanbul'un aylık su tüketim verileri ve İstanbul'un yıllık nüfus verileri analiz edilmiş olup geleceğe yönelik su tüketimi tahmin değerleri hesaplanmıştır. Bu tahmin değerleri için kullanılan veriler İSKİ ve TÜİK'ten alınmıştır (İBB, 2023; TÜİK, 2023). Holt-Winters ve Box-Jenkins modelleri ile tahmin çalışması yapılarak hesaplanmıştır.

4.1. Holt-Winters' ve Box-Jenkins Yöntemleri ile İstanbul Aylık Su Kullanımı ve Yıllık Nüfus Tahminleri

Bu çalışmada Box-Jenkins ve Holt-Winters' modelleri kullanılarak, tahmin değerlerini gösteren bir program olan IBM SPSS Statistics 27.0 ile çalıştırılmıştır. Gerekli hesaplamalar için kullanılan veriler 2010-2022 yılları arasındaki İstanbul'un yıllık nüfusu ve 2010-2021 yılları arasındaki aylık su tüketim miktarıdır. Bu çalışmada Box-Jenkins ve Holt-Winters' modellerini kullanarak, 2033 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen İstanbul'un nüfusu ve su tüketim verileri hesaplanmıştır. TÜİK' den ve İSKİ'den alınan gerçek değerler ile gerçekleşen değerlerin karşılaştırması yapılarak hata oranları hesaplanmıştır. Bulunan hata oranının düşük çıkması bu çalışmada kullanılan modelin geçerli olduğunu ve gerçek değerlere yakın sonuç vermesi de modelin doğruluğunu göstermiştir.

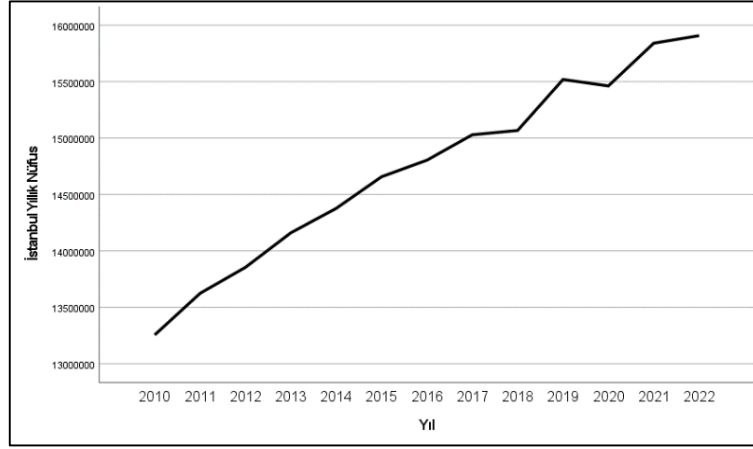
4.1.1. Veri Setleri

İstanbul aylık su tüketim verilerine İBB'nin açık veri portalından (İBB, 2023) ve İstanbul'un yıllık nüfus değerlerine TÜİK web sitesinden (TÜİK, 2023) ulaşılarak sırasıyla milyon m^3 ve milyon kişi cinsinden 2010–2021 yılları arasındaki İstanbul'un aylık su tüketimi verisi ve 2010–2022 yılları arasındaki İstanbul'un nüfus verisi kullanılmıştır. İlgili veri setleri Tablo 1'de, nüfus verileri ve doğal gaz tüketim verileri aynı tablo içerisinde verilmiştir.

Tablo 1. İstanbul'da yıllık nüfus ve su tüketimi, (İBB, 2023; TÜİK 2023)

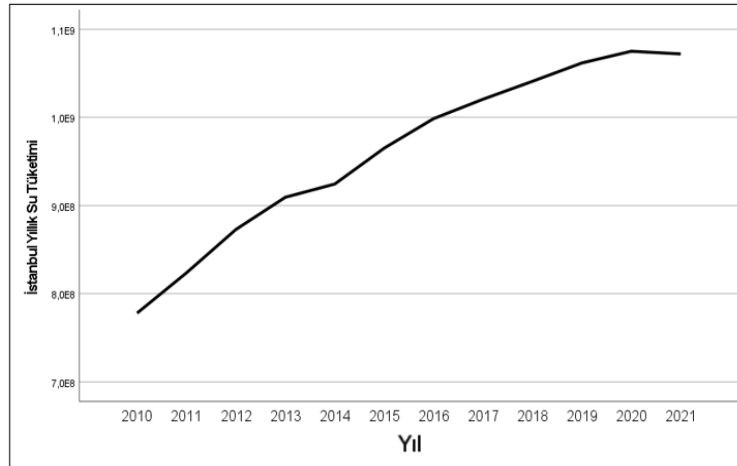
Yıl	Su Tüketimi (m^3)	Nüfus (Milyon Kişi)
2010	778.027.398	13.26
2011	823.749.364	13.62
2012	872.936.475	13.85
2013	909.454.169	14.16
2014	924.448.577	14.38
2015	965.155.404	14.66
2016	998.622.627	14.80
2017	1.020.641.179	15.02
2018	1.040.965.331	15.06
2019	1.061.769.837	15.52
2020	1.075.063.993	15.46
2021	1.072.001.098	15.84
2022	Henüz yayınlanmadı	15.91

Şekil 1’de İstanbul’un yıllara göre nüfus değişimi gözlenmektedir, 2020 yılından 2021 yılına kadar olan dönemde nüfusta hafif bir düşüş mevcuttur. Bu düşüşün, Covid-19 salgınının etkilerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Covid-19 ve benzeri etkilerin olmaması halinde nüfusun artan bir eğilim göstereceği söylenebilir (TÜİK, 2023).



Şekil 1. İstanbul’un yıllara göre nüfus değişimi (2010-2022), (TÜİK 2023)

Şekil 2’de İstanbul’un 2010-2021 yılları arasındaki yıllık su tüketimi verilmiştir, İstanbul su tüketiminin düzenli bir artış gözlemlenmektedir (İBB, 2023).



Şekil 2. İstanbul’un yıllık su tüketimi (2010-2021), (İBB, 2023).

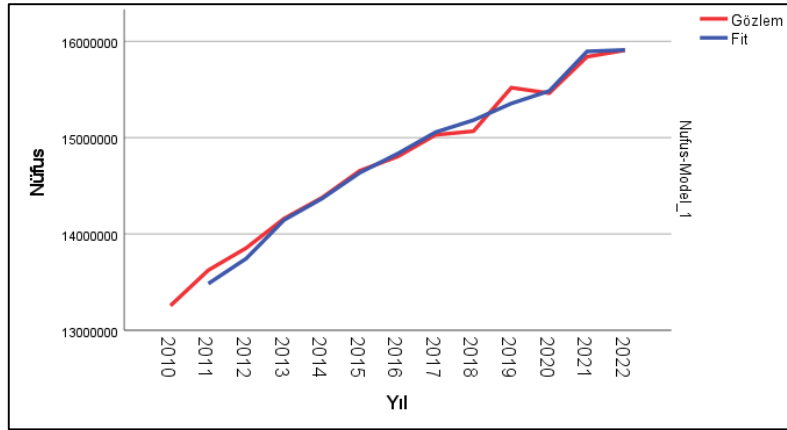
4.1.2. İstanbul’un Yıllık Nüfus Tahmini

Yıllık nüfus verilerinde mevsimsel etkiler bulunmadığından, çift üstel düzleştirme yöntemi olarak da adlandırılan Holt’s yöntemi ve ARIMA yöntemi çalışılmıştır. Çalışmada 21 adet ARIMA modeli uygulanmış ve performans ölçütleri bakımından en uygun olan 2 model seçilmiştir. İstanbul yıllık nüfus tahmini için uygulanan yöntemlerin performans ölçütleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Holt’s ve ARIMA modelleri performans ölçütleri

Modeller	R-kare	RMSE	MAPE	Normalize BIC
Holt’s Linear	0,983	114707,6	0,568	23,695
ARIMA (1,1,0)	0,982	105044,2	0,579	23,538
ARIMA (3,1,2)	0,988	113616,5	0,404	24,524

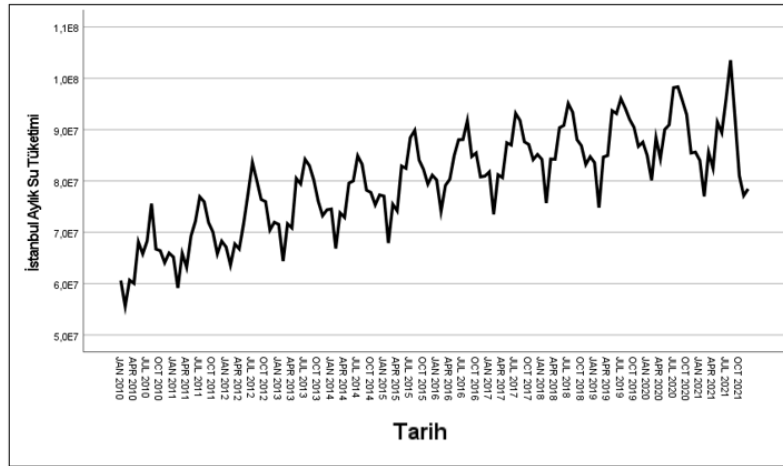
Performans ölçütlerine göre ARIMA (1,1,0) modelinin MAPE değeri en yüksek değerde olmasına rağmen diğer performans ölçütlerinde iyi bir performans sergilemiştir. Modelin R- Kare değeri yüksek, RMSE değeri diğer modellere göre düşük ve Normalize BIC değeri de düşüktür. Bu model üç model arasında en düşük Normalize BIC değerine sahiptir ve bu nedenle verilere en uygun olanı olarak görünebilir ancak, daha düşük bir BIC değeri her zaman en iyi model uyumunu anlamına gelmemektedir ve R-kare ile MAPE değerleri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. ARIMA (3,1,2) modeli, en yüksek R kare değerine sahip ve en düşük MAPE değerine sahiptir. Seçim yaparken kullanım amacına göre en uygun olan model seçilmesi gerekmektedir. Model seçiminde doğruluğun en önemli faktör olduğu durumda ARIMA (3,1,2) modeli İstanbul yıllık nüfus tahmini için en uygun model olarak seçilmiştir. Seçilen modelinin ARIMA (3,1,2) verilere uygulanması ile elde edilen gerçek değerleri ve modelin oluşturmuş olduğu değerlere ait grafik Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. ARIMA (3,1,2) modeli gerçek ve model değerleri

4.1.3. İstanbul'un Aylık Su Tüketimi Tahmini

Ocak 2010 ile Eylül 2021 ayları arasındaki İstanbul'a ait su tüketim verilerinin değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İstanbul'un aylık su tüketimi (Ocak 2010- Eylül 2021), (İSKİ,2023)

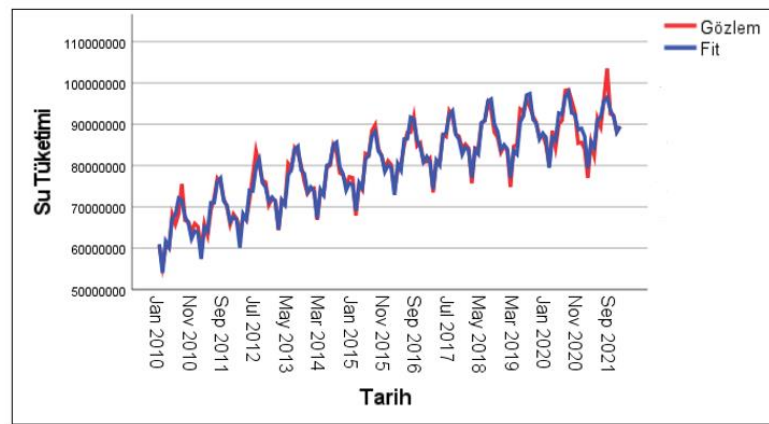
Şekil 4'teki verilerde belirgin bir şekilde, zamana göre su tüketiminin aylara göre sürekli arttığı görülmektedir; bu da her bir farklı ay için benzer bir eğilim olduğunu göstermektedir. Yıl içindeki belirli periyotlarda tekrarlayan artış ve azalışlar aylara karakteristik bir özellik kazandırmaktadır; bu da verilerde mevsimsellik özelliğinin bulunduğunu göstermektedir. Verilerde bu özelliklerin bulunmasından dolayı, mevsimsel zaman serisi yöntemlerini kullanmak tahmin sonuçlarının daha sağlıklı olmasını sağlar. İstanbul'un aylık su tüketimi tahminini yapmak için Toplamsal Winters', Çarpımsal Winters' ve SARIMA yöntemleri çalışılmıştır. Çalışmada 21 adet SARIMA yöntemi uygulanmış ve performans ölçütleri bakımından en uygun model olan SARIMA(2,1,2)(1,1,2)₁₂

modeli seçilmiştir İstanbul'un aylık su tüketimi tahmini için uygulanan modellerin performans ölçütleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. İstanbul aylık su tüketimi modelleri performans ölçütleri

Fit Statistics	R-squared	RMSE	MAPE	Normalize BIC
ARIMA (2,1,2)(1,1,2)	0,955	1904035	1,799	29,222
Toplamsal Winter's	0,971	1647238	1,525	28,735
Çarpımsal Winters'	0,969	1713869	1,565	28,814

Performans ölçütlerine göre en uygun model olan Toplamsal Winters' yöntemi olarak seçilmiştir. Seçilen Toplamsal Winters' modelinin verilere uygulanması ile elde edilen gerçek değerleri ve modelin oluşturmuş olduğu değerlerler grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Toplamsal Winters' modeli gerçek ve model değerleri

4.1.4. Araştırma bulguları ve sonuçlar

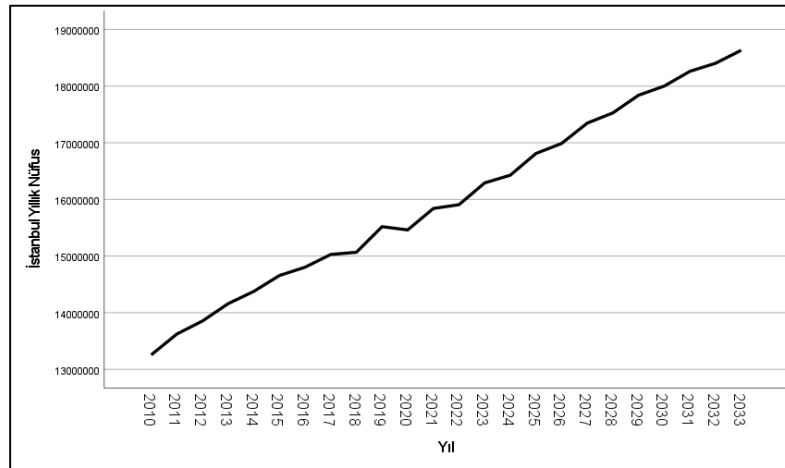
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; İstanbul yıllık nüfus tahmini için en uygun modelin ARIMA (3,1,2) olduğu, İstanbul'un aylık su tüketim tahmini için en uygun modelin Toplamsal Winters' olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İstanbul Nüfus tahmini için 2010-2022 yılına ait veriler, İstanbul su tüketimi tüketim tahmini için 2010-2021 yılına ait veriler kullanılmıştır. Performans ölçütleri karşılaştırılarak verilere en uygun yöntemler olan ARIMA (3,1,2) modeli kullanılarak 2033 yılına kadar İstanbul yıllık nüfus tahmini yıllık olarak hesaplanmış ve Toplamsal Winters' modeli kullanarak 2033 yılına kadar İstanbul aylık su tüketimi tüketim tahmini hesaplanmış olup yıllık değere çevrilmiştir. Tablo 4'te İstanbul'un 2010- 2022 yılları arasındaki gerçek nüfus değerleri ve ARIMA (3,1,2) modelini kullanarak hesaplanmış 2023-2033 yılları arasındaki tahmin değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4. 2010- 2033 yılları arasında İstanbul nüfusu gerçek ve tahmini değerleri

Yıl	Nüfus (Milyon Kişi) Gerçek Değer	Nüfus (Milyon Kişi) Tahmin Değeri
2010	13.26	
2011	13.62	13.48
2012	13.85	13.75
2013	14.16	14.15
2014	14.38	14.37
2015	14.66	14.64

2016	14.80	14.83
2017	15.02	15.06
2018	15.06	15.18
2019	15.52	15.36
2020	15.46	15.48
2021	15.84	15.90
2022	15.91	15.91
2023	Henüz yayınlanmadı	16.29
2024		16.43
2025		16.81
2026		16.99
2027		17.35
2028		17.53
2029		17.84
2030		18.00
2031		18.26
2032		18.40
2033		18.63

Tablo 4'e göre 2010 yılında 13,26 milyon kişi olan nüfus, 2022 yılında yaklaşık olarak 16 milyon kişiye ulaşmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu 2033 yılında nüfusun 18,63 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Bu nüfus artışı, demografik faktörler, göç, doğum oranları ve diğer faktörler gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanabilir. Şekil 6'da İstanbul'un 2010- 2022 yılları arasındaki gerçek nüfus değerleri ve ARIMA (3,1,2) modelini kullanarak hesaplanmış 2023-2033 yılları arasındaki tahmin değerlerinin grafiği bulunmaktadır.



Şekil 6. İstanbul yıllık nüfus grafiği (2010-2033)

Nüfus artışı, bir ülkenin ekonomik, sosyal ve politik durumuna da etki edebilir ve kaynakların kullanımı, altyapı, eğitim ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda zorluklar yaratabilir. Nüfus artışı, su kaynaklarının daha fazla kullanılması ve su tüketiminin artmasına neden olabilir. Bu nedenle, nüfus artışının yönetimi ve buna yönelik denetim ve plan yapılması, bir ülkenin sürdürülebilir kalkınması için önemlidir.

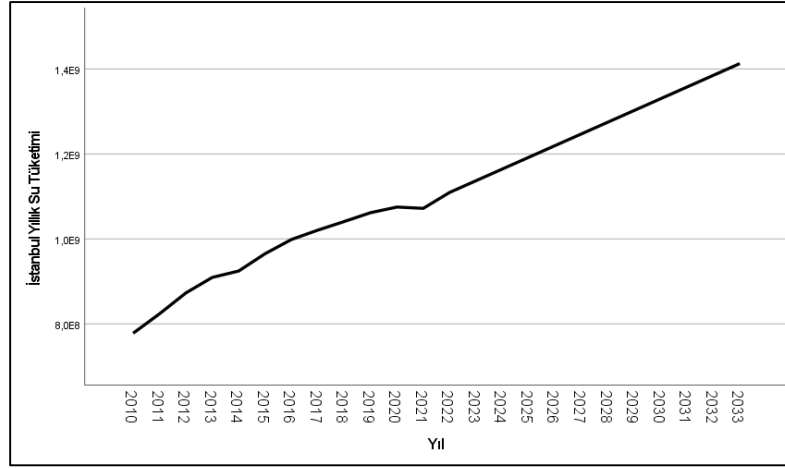
Tablo 5'te İstanbul'un 2010- 2021 yılları arasındaki gerçek su tüketim değerleri ve tahmin değerleri Toplamsal Winters' yöntemi kullanarak hesaplanmış olup ilgili tabloda 2022- 2033 yılları arasındaki yıllık su tüketim değerleri bulunmaktadır.

Tablo 5. 2010- 2033 yılları arasında İstanbul yıllık su tüketimi gerçek ve tahmini değerleri

Yıl	Yıllık Su Tüketimi (m ³) Gerçek Değer	Yıllık Su Tüketimi (m ³) Tahmin Değeri
2010	778.027.398	776.585.273
2011	823.749.364	821.341.126
2012	872.936.475	865.793.271
2013	909.454.169	908.975.120
2014	924.448.577	926.887.498
2015	965.155.404	958.966.067
2016	998.622.627	1.001.537.796
2017	1.020.641.179	1.018.792.468
2018	1.040.965.331	1.047.703.116
2019	1.061.769.837	1.060.083.312
2020	1.075.063.993	1.081.824.012
2021	1.072.001.098	1.074.596.011
2022	Henüz yayınlanmadı	1.109.527.969
2023	Henüz yayınlanmadı	1.137.103.205
2024		1.164.678.442
2025		1.192.253.677
2026		1.219.828.913
2027		1.247.404.150
2028		1.274.979.385
2029		1.302.554.623
2030		1.330.129.858
2031		1.357.705.093
2032		1.385.280.331
2033		1.412.855.566

2010 yılından itibaren su tüketiminde önemli bir artış görülmektedir. 2010 yılında 778 milyon m³ olan su tüketimi, 2021 yılında 1,1 milyar metreküp tüketime ulaşmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu tüketimin 2033 yılında 1,41 milyar m³'e ulaşması muhtemeldir.

Şekil 7'de Toplamsal Winters' modelini kullanarak hesaplanmış 2022- 2033 yılları arasındaki yıllık su tüketim değerlerinin grafiği bulunmaktadır.



Şekil 7. İstanbul yıllık su tüketimi grafiği (2010-2033)

Şekil 7 incelendiğinde yıllık su tüketim miktarının her yıl arttığı görülmektedir ve su tüketim miktarının 2033 yılına kadar nüfusa bağlı olarak her yıl artacağı ön görülmektedir. Su tüketimindeki artış sürdürülemez olup su tüketimi miktarını azaltmak için gerekli adımlar atılması gerektiği önem arz etmektedir.

Tablo 6'da tahmin modelleri kullanılarak oluşturulan 2010 – 2033 yılları arasındaki kişi başına düşen su tüketim miktarını göstermektedir. Tablo 6'da yıllara göre kişi başına düşen su tüketim miktarı, yıllık su tüketimi ve nüfus verileri kullanılarak her yıl için hesaplanmıştır.

Tablo 6. 2010- 2033 yılları arasında kişi başına düşen su miktarı

Yıl	Yıllık Su Tüketimi (m ³)	Nüfus (Milyon Kişi)	Kişi Başına Düşen Su Tüketim Miktarı (m ³ /Kişi)
2010	778.027.398	13.26	58.69
2011	823.749.364	13.62	60.46
2012	872.936.475	13.85	63.01
2013	909.454.169	14.16	64.22
2014	924.448.577	14.38	64.30
2015	965.155.404	14.66	65.85
2016	998.622.627	14.80	67.46
2017	1.020.641.179	15.02	67.91
2018	1.040.965.331	15.06	69.09
2019	1.061.769.837	15.52	68.42
2020	1.075.063.993	15.46	69.53
2021	1.072.001.098	15.84	67.67
2022	1.109.527.969	15.91	69.75
2023	1.137.103.205	16.29	69.79
2024	1.164.678.442	16.43	70.89
2025	1.192.253.677	16.81	70.92
2026	1.219.828.913	16.99	71.80
2027	1.247.404.150	17.35	71.91
2028	1.274.979.385	17.53	72.74

2029	1.302.554.623	17.84	73.01
2030	1.330.129.858	18.00	73.89
2031	1.357.705.093	18.26	74.35
2032	1.385.280.331	18.40	75.27
2033	1.412.855.566	18.63	75.83

Tablo 6'da 2010 yılında kişi başına düşen su tüketim miktarı 58,69 m³/kişi iken, 2033 yılında bu miktar 75,83 m³/kişi olarak belirlenmiştir. Kişi başına düşen su tüketim miktarını hesaplamak, su tüketim alışkanlıklarını ve suyun verimli kullanımını anlamak için önemlidir. İlgili hesaplama su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilir su yönetimi politikalarının oluşturulmasına yardımcı olabilir. Tablo 6'da görüldüğü üzere, kişi başına düşen su tüketimi yıllar arasında farklılık göstermektedir. Bunun nedeni, su kullanımı alışkanlıklarının yanı sıra nüfusun da yıllara göre artmasıdır.

Su kaynakları, sınırlı bir doğal kaynaktır ve artan nüfus ve su ihtiyacı, su kaynaklarının tükenmesine neden olabilir. 2033 yılında su tüketiminin artmaya devam etmesi beklenmektedir, bu nedenle sürdürülebilir bir su kaynakları planlaması yapılması önemlidir.

5. SONUÇLAR

Su, yaşamın devamı için hayati öneme sahip olan en değerli kaynaklardan biridir. Hem insanlar hem de hayvanlar ve bitkiler, yaşamlarını sürdürebilmek ve sağlıklı bir şekilde gelişebilmek için suya ihtiyaç duyarlar. Sadece içme ve temizlik için değil, tarım, endüstri, enerji üretimi gibi birçok alanda da su kullanımı kaçınılmazdır. Ancak su kaynakları sınırlıdır ve dünya genelinde suya erişim sorunu yaşanmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi büyük önem taşır.

İstanbul gibi kalabalık bir nüfusa sahip büyük şehirlerde, su kaynaklarının yönetimi ve gelecekteki su tüketimi tahminleri oldukça kritik bir konudur. İstanbul'un su kaynağı, barajlardan elde edilen su miktarına bağlıdır ve yıllık olarak belirli bir verimliliğe sahiptir. Ancak mevsimsel etkiler gibi faktörler nedeniyle bu verimlilik değişkenlik gösterir. Dolayısıyla, su kaynaklarının sürdürülebilirliği için bu değişkenliklerin analiz edilmesi ve gelecekteki su tüketimine ilişkin tahminlerin yapılması önemlidir.

Bu amaçla, Holt-Winters ve Box-Jenkins yöntemleri gibi istatistiksel modeller kullanılarak 2033 yılında İstanbul'da gerçekleşmesi beklenen su tüketimi tahmini yapılmıştır. Bu modeller, geçmiş verileri analiz ederek ve mevsimsel trendleri dikkate alarak gelecekteki su tüketimini tahmin etmeye yardımcı olur. Elde edilen sonuçlara göre, 2010 yılında 13,26 milyon kişi olan İstanbul nüfusunun, 2033 yılında 18,63 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Benzer şekilde, 2010 yılında 778 milyon m³ olan su tüketiminin, 2033 yılında 1,41 milyar m³'e ulaşması tahmin edilmektedir.

Ancak, tahminlerin doğruluğunu etkileyebilecek gürültü olarak adlandırılan doğal afetler, savaşlar, pandemiler gibi beklenmedik olayların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tür olaylar, su tüketimini etkileyebilir ve yönetim stratejilerinin bu tür belirsizlikleri dikkate alacak şekilde oluşturulması önemlidir.

Bu çalışma, İstanbul'un sınırlı su kaynaklarının gelecekte de sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir. Aynı zamanda, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gelecekteki su tüketimi ihtiyaçlarının karşılanması konusunda İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) gibi kurumlarda çalışan araştırmacılara ve karar vericilere yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır. Benzer araştırmalar, diğer şehirlerde de uygulanarak su kaynakları yönetiminin genel olarak iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Gelecek nesillerin sağlıklı ve sürdürülebilir bir çevrede yaşamaları için planlama, tasarım, yönetim sistemlerinin bu ve benzeri çalışmalarla desteklenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdağ, R. (2016). Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve Box-Jenkins Yöntemleriyle Kentsel İçmesuyu Talebi Tahmini ve Karşılaştırmalı Analizi, *Business and Economics Research Journal*,123-138.
- Almanjahie, I., Chikr-Elmezouar, Z., Ahmed, B., (2019). Modeling and forecasting the household water consumption in Saudi Arabia. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17. 1299-1309.
- Aslan, B., Önen, F., & Hamidi, N. (2018). Diyarbakır Kenti içme suyu ihtiyacının genetik ifadeli programlama ile modellenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 859-870.
- Boudhaouia, A., Wira, P. "SARIMA and neural network models combination for time series forecasting: Application to daily water consumption," (2022). 2022 International Conference on Theoretical and Applied Computer Science and Engineering (ICTASCE), Ankara, Turkey, 169-174.
- Box, G., & Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis-Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day, 553.
- Donkor, E., Mazzuchi, T., & Soyer, R., Roberson, A., (2014). Urban Water Demand Forecasting: Review of Methods and Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 140. 146-159.
- Dutta, A., Chakrabarti, A.,Gautam, J., "Application of SARIMA for Prediction of Water Storage Levels for a Metropolitan Area: Chennai, a Case Study," (2020). International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Marrakech, Morocco, 2020, 1-8.
- Enbeyle, W., Hamad, A., Al-Obeidi, A., Andargie, S., Gelaw, A., Markos, A., Abate, L., Alemu, B., (2022). Trend Analysis and Prediction on Water Consumption in Southwestern Ethiopia. *Journal of Nanomaterials*.
- Hafid, M.S. & Al-maamary, G. H. (2011). Short Term Electrical Load Forecasting Using Holt-Winters Method, *Al-Rafidain Engineering*, 20 (6), 15-22.
- Holt, C.C. (1957). *Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages*. ONR Memorandum, Vol. 52, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh
- Jain, A., & Ormsbee, L. E. (2002). Short-term Water Demand Forecast Modeling Techniques-Conventional Methods Versus AI, *American Water Works Association*, 94, 64-72.
- Jorge, C., (2007). Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models.
- Kozłowski, E., Mazurkiewicz, D., Kowalska, B., & Kowalski, D. (2018). Application of Holt-Winters method in water consumption prediction. R. K. Ryszard içinde, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* (s. 627-634).
- Maidment, D. R., and Parzen, E., (1984). Cascade Model of Monthly Municipal Water Use, *Water Resources Research*, 15-23.
- Mombeni, H. A., Rezaei, S., & Nadarajah, S. (2013). Estimation of Water Demand in Iran Based on SARIMA Models. *Environmental Modeling & Assessment* , 559-565.
- Mousavi-Mirkalaei, P., Banihabib, M. E. (2019). An ARIMA-NARX hybrid model for forecasting urban water consumption (case study: Tehran metropolis), *Urban Water Journal*, 1-12.
- Palma, W. (2016). *Time series Analysis*, Wiley, 616.
- Razali, S. N. A. M., Rusiman, M. S., Zawawi, N. I., & Arbin, N. (2018). Forecasting of Water Consumptions Expenditure Using Holt-Winter's and ARIMA, *Journal of Physics: Conference Series*, 995, 012041.
- Schwarz, G. (1978).Estimating the Dimension of a Model, *Annals of Statistics*, 6, 461-464.
- Shmueli, G., Lichtendahl Jr, K. C. (2016). *Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-On Guide [2nd Edition]* (Practical Analytics),208.

Wang, X., Tian, W., & Liao, Z. (2021). Statistical comparison between SARIMA and ANN's performance for surface water quality time series prediction. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 33531–33544.

Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages, *Management Science*, 6(3), 324–342.

İnternet Kaynakları

(İSKİ,2023) <https://data.ibb.gov.tr/dataset/istanbul-aylik-su-tuketimi-verileri/resource/57b1a381-a1eb-49ce-9521-b537002f0ced>. (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2023)

(TÜİK,2023) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2011-10736> ile 2021-45500 yılları arası. (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2023)

Not: Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Oğuz Borat danışmanlığında, Ayşenur Ölçenoğlu tarafından yürütülecek olan, “Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini:İstanbul Örneği” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.