

İSTANBUL'UN SU TÜKETİMİNİN TAHMİNİNDE DERİN ÖĞRENME VE HİBRİT MODEL YAKLAŞIMI: ARIMA, MLP VE ARIMA-MLP HİBRİT MODELLERİ¹

DEEP LEARNING AND HYBRID MODEL APPROACH IN PREDICTION OF ISTANBUL'S WATER CONSUMPTION: ARIMA, MLP AND ARIMA-MLP HYBRID MODELS

Ayşe AKTUĞ*, Kadriye Hilal TOPAL**

Geliş Tarihi: 16.07.2024
(Received)

Kabul Tarihi: 13.02.2025
(Accepted)

ÖZ: Dünya’da, iklim değişikliklerine bağlı olarak yağışlardaki azalma, salgınlar, bilinçsiz su tüketimi, yanlış sulama sorunları, sanayileşme, nüfus artışları gibi sebeplerle su kaynakları giderek azalmaktadır. Ekonomik açıdan bu azalma, suyun tarım ve sanayideki yaygın kullanımı düşünüldüğünde gelecekte ülkeler arası krizlere sebep olabilir. Bu nedenle su tüketim miktarı tahminlerinin yapılması ve tahminler ışığında uygun su politikalarının oluşturulması ülkeler açısından oldukça önemlidir. Su tüketiminin tahmini, İstanbul’un giderek artan nüfusu ve su kaynakların yetersiz kalması riski söz konusu olduğundan kritik bir konudur. Bu nedenle bu çalışmada su tüketimini en iyi tahmin eden modelin araştırılması amacıyla klasik zaman serisi yöntemlerinden ARIMA, makine öğrenmesi yöntemleri ve son zamanlarda ortaya çıkan, zaman serilerindeki hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yapıyı tahminlemede oldukça iyi performans gösteren alternatif bir yöntem olan hibrit modelleri uygulanmıştır. İlk olarak, 1991-2022 yılları için yıllık içme suyu tüketimi serisine Genişletilmiş Dickey Fuller (1979,1981), Phillips ve Perron (1988) ve Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (1992) birim kök testleri uygulanarak durağanlık incelemesi yapılmıştır. İstanbul’un su tüketiminde en iyi tahmin modelini belirleyebilmek için zaman serilerinden ARIMA, yapay sinir ağlarından MLP (Çok Katmanlı Algılayıcı) ve doğrusal verilerde zaman serisi doğrusal olmayan verilerde de yapay sinir ağlarını kullanmamızı sağlayan Zhang (2003)’ün hibrit modeli kullanılmıştır. İstanbul’un su tüketimi ARIMA, MLP (Çok Katmanlı Algılayıcı) ve Zhang (2003)’ün hibrit modeli kullanılarak tahmin edilmiş, sonuçlar hatalara dayalı ölçütlere göre karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Zhang (2003)’ün hibrit modeli en iyi tahmin modeli olarak belirlenmiştir. Ayrıca Zhang (2003)’ün hibrit modelinden elde edilen

¹ Ayşe AKTUĞ tarafından Dr. Öğr. Üyesi K. Hilal TOPAL danışmanlığında hazırlanmış Nişantaşı Üniversitesi, LEE 2024 yılı, İstanbul’un gelecekteki su tüketimi miktarının tahmininde en iyi yöntemin belirlenmesi: ARIMA, derin öğrenme ve hibrit modelleri adlı Yüksek Lisans Tezinden üretilmiş bu çalışma, 9-11 Mayıs 2024 tarihinde Mersin’de gerçekleştirilen IERFM isimli kongrede sözlü olarak sunulan bildirinin genişletilmiş hâlidir.

* Öğr. Gör., Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, aaktug@fsm.edu.tr, ORCID: 0009-0008-7594-9938.

** Dr. Öğr. Üyesi, Nişantaşı Üniversitesi, hilal.topal@nisantasi.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5203-8017.



OPEN ACCESS

© Copyright 2025 Aktuğ & Topal

tahmin sonuçlarına göre İstanbul'un su tüketiminin önümüzdeki yıllarda da artmaya devam edeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su Tüketimi, Derin Öğrenme, ARIMA, MLP, Hibrit Model

ABSTRACT: The water resources are gradually decreasing in the world due to reasons such as decrease in precipitation result of climate changes, epidemics, unconscious water consumption, improper irrigation problems, industrialization and population increases. Economically, considering the widespread use of water in agriculture and industry, it may cause crises between countries in future. For this reason, it is very important for countries to predict the amount of water consumption and to create appropriate water policies in the light of the predictions. The prediction of water consumption is a critical issue due to ever-increasing population and the risk of insufficient water resources of Istanbul. Therefore, in this study, in order to investigate the best prediction model of water consumption, ARIMA from classical time series methods, machine learning methods and hybrid models, which are alternative methods that have emerged recently and have shown quite good performance in predicting both linear and nonlinear structures in time series, are applied. Firstly, stationarity analysis are made by applying Augmented Dickey Fuller (1979,1981), Phillips and Perron (1988) and Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin (1992) unit root tests to the yearly drinking water consumption series in 1991-2022 period. To determine the best estimation model for water consumption in Istanbul, we use the hybrid model of Zhang (2003), which allows us to use ARIMA from time series, MLP (Multi-Layer Perceptron) from artificial neural networks, and artificial neural networks for linear data and non-linear time series data. The water consumption of İstanbul is predicted by using the ARIMA, MLP (Multilayer Perceptron) and Zhang (2003)'s hybrid model, and the results are compared based on error-based criteria. As a result, Zhang (2003)'s hybrid model is determined as the best estimation model. In addition, based on the prediction results obtained from Zhang (2003)'s hybrid model, it is concluded that Istanbul's water consumption will continue to increase in coming years.

Key Words: Water Consumption, Deep Learning, ARIMA, MLP, Hybrid Model

EXTENDED ABSTRACT

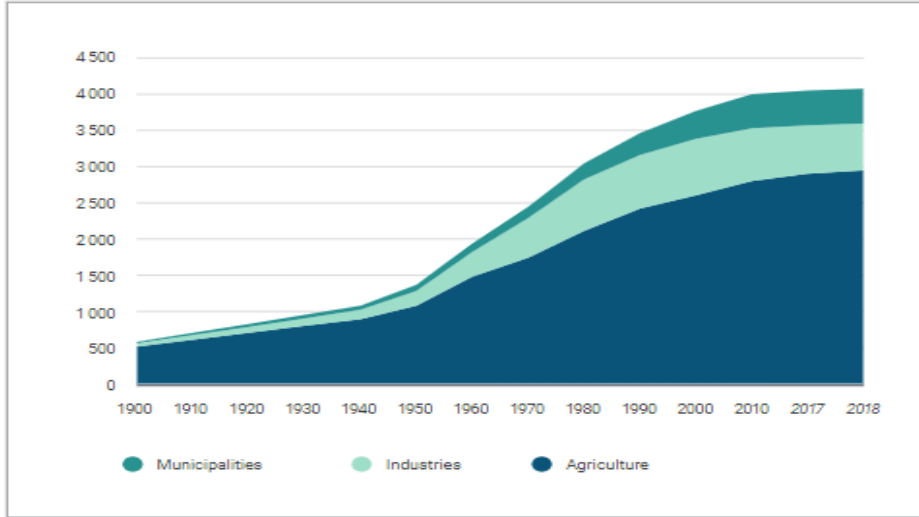
In recent years, water resources have been decreasing day by day due to the decrease in rainfall for the reason of climate change. In addition to climate change, increased evaporation, industrialization, pollution, epidemics, unconscious water consumption, improper irrigation problems and population growth negatively affect water resources. In addition to endangering the continuity of life, this decrease of water may also cause economic crises between countries. In order to ensure the sustainability of production and to prevent the economy from negative effects, it is extremely important for countries to make estimates of water consumption and making the necessary water policies in the light of these predictions. The growth of population density significantly increases the demand for clean water. For this reason, water resources are gradually decreasing and, meeting the increasing water demand is becoming difficult. Türkiye, which is among the countries experiencing water shortage in terms of water resources, needs to take the necessary measures much earlier than expected to prevent the problem of water scarcity. Istanbul's increasing population amount and inadequate water resources are a critical issue. The forecasting of water consumption are very important in terms of predicting possible water shortage problem and making future plans.

Prediction of water consumption is becoming increasingly important due to the increasing population of Istanbul and the risk of insufficient water resources. The aim of this study is to determine the best prediction model for Istanbul's water consumption. For this reason, logarithmic transformation is applied to the drinking water consumption series for the years 1991-2022 from IMM (Istanbul Metropolitan Municipality) database in order to obtain Istanbul's drinking water consumption models. Because of the necessity of using stationary series in ARIMA models, ADF (1979, 1981) unit root test is applied to the series. In case of test equations with only constant and both constant and trend, the series is not stationary at level at each significance values, but it is became stationary when the 1st differenced. Then, PP (1988) unit root test is applied to the series and the series is found as stationary at 5% and 10% levels in the equation with constant. However, it is seen that, stationarity is provided at all 3 significance levels by 1st differenced. In both models with trend and constant, stationarity could not be acquired at all three significance levels despite taking the first-order difference. Finally, the KPSS (1992) unit root test is applied to the series. It is seen that the series is not stationary at the level with only constant and both trend and constant, but stationarity is provided by first differenced. In order to estimate water consumption, the dataset is divided into training and test datasets in the ratio of (80:20). Firstly, the ARIMA model, one of the classical regression models, is applied to dataset. By applying Box-Jenkins transformation to the series, the appropriate (p, d, q) parameters of the ARIMA model are estimated and a series of candidate ARIMA models are created. ARIMA (0,1,1) is selected as the best model with the lowest AIC criteria. ARIMA (0,1,1) is found as the best model that enjoys the autocorrelation and heteroskedasticity assumptions with statistical significant coefficients. Then, with the assumption that it has a non-linear structure, the MLP method, which is a type of artificial neural networks and can also be used in non-linear models, and the ARIMA-MLP method, one of the hybrid models, are applied. The 5-fold cross-validation method is applied in hyperparameter selection for MLP and ARIMA-MLP machine learning models. The number of nodes is determined as 2 for the MLP model, 4 for the hybrid model, the number of repetitions for both deep learning models is 20, the lag length of the MLP model is 2, and the lag length of the ARIMA-MLP model is 3. When both in-sample prediction performances obtained using learning dataset and out-of-sample prediction performances obtained using test dataset are examined with the model comparison criteria, it is seen that the error-based criteria of the ARIMA-MLP hybrid model are lower than the single models. When comparing in-sample performances of the 3 type models, the ARIMA-MLP hybrid model is concluded that it is the most successful model with the highest R² at 99.5% and the lowest RMSE, MAE, MAPE, RMSPE error rates. The error metrics of the out-of-sample performances are examined, it is concluded that the ARIMA-MLP hybrid model has most accurate predictions in the test dataset with the highest R² and lowest RMSE, MAE, MAPE, RMSPE values. According to results, Zhang (2003) ARIMA-MLP hybrid model is found as the best model in estimating the linear and non-linear structure of the water consumption series in both in-sample and out-of-sample periods. The Istanbul's water consumption for next three years (2023, 2024 and 2025) are forecasted by using the ARIMA-MLP hybrid model, which is selected as the best estimation model. According to the forecasting results obtained from Zhang (2003)'s hybrid model, it is concluded that Istanbul's water consumption will continue to increase in the coming years. The increasing of the water

consumption due to the rapidly growing population of Istanbul coincides with the findings obtained from this study. Considering the population growth will continue, making new sustainability strategies that depend on the amount of water consumption in province of Istanbul can be recommended.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan iklim değişiklikleri, salgınlar, yanlış sulama sorunları, bilinçsiz tüketim, sanayileşme, kirlilik vb. nedenlerden dolayı su kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Tüm bu etkenlerin yanı sıra nüfus yoğunluğundaki artış suya ihtiyacı arttırmakta ve su tüketim miktarları giderek artmaktadır. Tarımsal üretim ve sanayilerde suyun etkin kullanımı tüm dünya ülkelerinin ekonomisini doğrudan etkilemektedir. Üretimin devam edebilmesi ve ekonominin bundan olumsuz etkilenmemesi için suyun verimli kullanımı oldukça önem taşımaktadır. DSİ (2006) faaliyet raporuna göre, su kaynakları açısından kişi başına düşen su tüketim miktarı 1000 m^3 ten daha az olan ülkeler su fakiri, 2000 m^3 ten daha az olan ülkeler su azlığı çeken, $8000 - 10.000 \text{ m}^3$ ten daha fazla olan ülkeler ise su zengini olan ülkeler olarak değerlendirilmektedir. DSİ (2022) faaliyet raporuna göre, Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su miktarı 2022 yılı itibariyle 1322 m^3 ’e düşmüştür. Türkiye de su baskısı yaşayan ülkeler arasında yerini almıştır. Birleşmiş Milletler (BM) Raporu’nda yer alan; Dünyada çekilen su miktarlarının zaman içerisindeki değişimi veren grafik Şekil 1 ile sunulmuştur.



Şekil 1: Küresel Su Çekimi Değişimi

Kaynak: BM Dünya Su Kalkınma Raporu (2023).

Şekil 1 incelendiğinde özellikle 1950 yılından itibaren yapılan su çekimlerinin belediyeler, endüstri ve tarım olmak üzere her üç açıdan oldukça arttığı gözlenmektedir.

DSİ (2022) faaliyet raporunda belirtildiği üzere, yeraltı suyu, küresel olarak evsel kullanım için çekilen su hacminin yarısını ve sulama için çekilen suyun da yaklaşık %25'ini sağlamaktadır. Özellikle en çok suyun kullanıldığı tarımsal sulamada tüketilen su miktarları ülkelerin gelişmişlik seviyesine göre farklılıklar göstermektedir. Daha az gelişmiş ülkelerde sulamada çok daha fazla su tüketimi yapılırken gelişmişlik düzeyine göre su tüketimi azalmaktadır.

Tüm Dünyada olduğu gibi Türkiye de küresel ısınmaya bağlı olarak yaşanan iklim değişikliklerinden etkilenmektedir. Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye'nin iklimindeki değişikliklere bakılarak, artan sıcaklık ve buharlaşma sebebiyle kuraklıkla karşı karşıya kalacağı ve su baskısı yaşayan ülkeler arasında yer alacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'de suyun büyük bölümü tarımsal sulama alanlarında kullanılmaktadır. Türkiye genelinde sulama için kullanılan yüzey suyu miktarları Tablo 1'de verilmektedir.

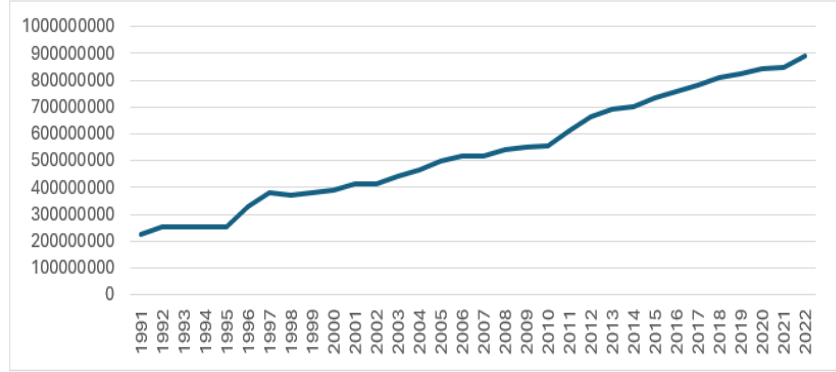
Tablo 1: Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Yüzey Suyu Miktarları

Yıllar	Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Toplam Yüzey Suyu Miktarı (km ³ /yıl)
2000	27,237
2001	23,441
2002	26,921
2003	27,471
2004	31,030
2005	30,722
2006	29,414
2007	25,176
2008	26,996
2009	29,872
2010	30,949
2011	33,099
2012	34,003
2013	34,699
2014	26,668
2015	31,426
2016	33,224
2017	32,197
2018	33,490
2019	33,788
2020	34,490

Kaynak: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2022).

Tablo 1 incelendiğinde; son 20 yıl içerisinde sulamada kullanılan yüzey suyu miktarının gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bunun yanında özellikle son dönemlerde yaşanan iklim krizleri sebebiyle yağışlardaki azalma ve yoğun buharlaşma sebebiyle su döngüsünün tam anlamıyla sağlanamamış olmasından barajlardaki su doluluk oranlarının zaman içinde kritik seviyelere geldiği

görülmektedir. İstanbul'un su tüketiminin 1991-2022 yılları arasındaki zamana göre değişimi gösteren grafik Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1: İstanbul'un Su Tüketiminin Zamana Göre Değişimi: 1991-2022

Kaynak: İBB Açık Veri Portalı (2022).

Şekil 2 incelendiğinde geçmiş yıllarda İstanbul'daki su tüketim miktarlarının ne şekilde arttığı görülmektedir. 2018 ve 2020 yılları arasında su tüketimindeki artış miktarları diğer yıllara göre daha az bir artış sergilemektedir. Özellikle 2020 yılının pandemi dönemine denk gelmesi, şehir hayatından kaçış, uzaktan çalışma gibi sebeplerle yaşanan şehir nüfusundaki azalmanın İstanbul'un su tüketim miktarlarının artışında bir azalmaya neden olduğu söylenebilir. 2021 yılından sonra pandeminin etkisinin azalmasıyla artış yine aynı pandemi öncesindeki seyrinde devam etmiştir.

Küresel ortalamanın çok üzerinde seyreden nüfus artışı, kullanılabilir temiz su talebini üst seviyelere çekme eğilimi göstermektedir. Bu durum temiz su kaynaklarının giderek azalmasına ve yerel koşulların artan su talebini karşılamasının güçleşmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda beklenenin çok daha öncesinde su kıtlığı sorunu ile karşılaşılması kaçınılmazdır. İstanbul'un giderek artan nüfusu ve su kaynakların yetersiz kalması kritik bir konudur. Bu sebeple su tüketim miktarlarının tahmin edilmesine yönelik yapılan analizler, olası susuzluk sorununa karşı öngöründe bulunabilmek ve ileriye yönelik planlama yapabilmek açısından oldukça önemlidir.

DSİ (2022) faaliyet raporunda su kaynakları potansiyelinin değerlendirilerek çok maksatlı bir şekilde kullanılmasına yönelik çalışmaların yürütüldüğü belirtilmektedir. Sulamalarda su kayıplarının önüne geçebilmek ve toprağın kalitesini etkileyen drenaj sorunlarını giderebilmek amacıyla yenileme projelerinin ön plana çıkarılması ve kapalı sulama sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Son yıllarda Türkiye, su altyapısının gelişimi açısından büyük ölçüde ilerleme kaydetmiştir. Bu doğrultuda doğal su kaynaklarının

yönetiminde entegre su havza yönetim programları uygulamaktadır. Aynı şekilde hızlı şehirleşme ve sanayileşme nedeniyle artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için hidroenerji potansiyelinden istifade edilmesine yönelik projeleri hayata geçirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı, 2025).

Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde sıklıkla ARIMA gibi klasik zaman serisi yöntemlerinin veya YSA gibi makine öğrenmesi yöntemlerinin tek başına kullanıldığı görülmektedir. Son zamanlarda zaman serisi verilerinin doğrusal yapısının yanı sıra, doğrusal olmayan kısmının tahminlenmesinde tahmin modellerinin ayrı ayrı kullanıldığı ve elde edilen sonuçlara bakıldığında genellikle klasik zaman serisi yöntemlerinden daha başarılı tahmin ve öngörü sonuçlarının elde edildiği yöntemler uygulanmaktadır. Bu alanda makine öğrenmesi yöntemleri zaman serisi literatürde yer almaya başlamıştır. Fakat zaman serisi modellemesinde makine öğrenmesi yöntemleri tek başına kullanıldığında verinin doğrusal yapısını göz ardı edebilmektedir. Literatürde yer alan hibrit yöntemler ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar sayesinde verilerin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan kısımlarının ayrıştırma yapılarak tahminlenmesinden dolayı daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Bu çalışmada hibrit model yapısı göz önünde bulundurularak, ARIMA-MLP hibrit yöntemi kullanılarak hem örneklem içinde hem de örneklem dışında klasik zaman serisi yöntemlerine göre daha başarılı su tüketim tahmin değerleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca hibrit modelde kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden MLP'nin tek başına kullanıldığında ARIMA ve hibrit modele göre tahmin performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İstanbul gibi büyük bir metropolün gelecek yıllar için su tüketimi tahmin değerlerinin ortaya konulmasıyla, bu bulguların su tüketim politikalarının oluşturulmasında ilgili kurum ve kuruluşlara yardımcı olması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, giriş bölümünü takiben, ikinci bölümünde su tüketimi tahmini üzerine yazılmış çalışmalardan oluşan literatür yer almaktadır. Üçüncü bölümünde, çalışmada kullanılan yöntemlerin metodolojisi anlatılmış, dördüncü bölümde, veri seti, model tahmin sonuçları ve karşılaştırmalarından oluşan ampirik bulgular sunulmuştur. Beşinci bölümünde ise değerlendirme ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR

Literatürde su tüketiminin tahmin edilmesinde hem klasik yöntemlerin hem de makine öğrenmesi gibi yeni yöntemlerin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Altunkaynak, Çakmakçı ve Özger (2005), İstanbul iline ait su tüketim miktarını tahmin edebilmek için bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Veri setinde kullanılmak üzere 1994-2005 yılları arasındaki verileri baz almışlardır. Tahmin prosedüründe 1 gecikmeli modeli kullandıklarında %10 dan daha az hatayla tahmin gerçekleştirildiği sonucuna varmışlardır.

Fırat, Yurdusev ve Mermer (2007), İzmir iline ait su tüketimini tahmin edebilmek için USBM (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık) yaklaşımını ve çok

değişkenli regresyon yöntemini kullanmışlardır. 108 adet veriyi kullanarak eğitimler gerçekleştirmiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmış, aylık su tüketimi tahmininde USBM yönteminin regresyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Alpaslan, Çağcağ, İter ve Yolcu (2012), İstanbul iline ait su tüketim miktarının tahmini için 1994-2010 yıllarına ait verilere bulanık zaman serisi yaklaşımlarını uygulamışlardır. Elde edilen öngörü hatasının %1 ile %3 arasında olmasından dolayı, bulanık zaman serisi yaklaşımlarının İstanbul'un temiz su tüketimi miktarı serisinin tahmininde oldukça etkileyici bir öngörü performansı sergilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Adamowski (2012), Lefkoşa ilinin su tüketimini tahmin edebilmek için çoklu regresyon ve Levenberg-Marquardt, esnek geri yayımlı, eşlenik gradyan Powell-Beale eğitim algoritmalarını kullanan 3 farklı çok katmanlı yapay sinir ağını kullanmıştır. Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanan yapay sinir ağı modelinin diğer eğitim algoritmalarını kullanan yapay sinir ağı modellerine ve çoklu regresyon yöntemine göre daha iyi bir tahmin değeri verdiği sonucuna varmıştır.

Zhang, Ni, Cong, Chen ve Zhang (2014), Pekin'in ileriye yönelik su tüketim miktarlarını tahmin edebilmek için 2006-2009 dönemine ait verileri kullanarak bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model ile su kullanımını temel, mevsimsel ve alışılmış bileşenlere ayırarak günlük şehir suyunun yapısını ve etki faktörlerini farklı zaman ölçeklerinde yorumlamışlardır. Sonuçlar başarılı olsa da daha fazla faktör dikkate alındığında daha iyi sonuçların elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Akdağ (2014), Diyarbakır iline ait içme suyu tüketiminin tahmininin yapılabilmesi için 2014 yılına ait 9 aylık verilere Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini uygulamıştır. Tahmin değerleri ile gerçek değerler karşılaştırıldığında hata oranlarının düşük olduğu, sonuçların gerçek değere oldukça yakın olduğu sonucunu elde etmiştir. YSA ile zaman serisine dayalı yöntemlerden Holt Winters üstel düzeltme ve ARIMA'dan elde edilen tahminlerin performansı karşılaştırıldığında en iyi sonuç veren yöntemin YSA olduğunu ortaya koymuştur.

Altunkaynak ve Nigussie (2017), İstanbul'un 1992-2014 yılları arasındaki su tüketim miktarlarını baz alarak veri ön işleme teknikleri uygulamışlardır. Çarpımlı mevsim algoritması uygulanan model ile ayırık dalgacık dönüşümü uygulanan modeli karşılaştırdıklarında, çarpımlı mevsim algoritmasının ayırık dalgacık dönüşümünden daha iyi ön işleme tekniği olduğu bulgusunu elde etmişlerdir.

Başakın, Özger, Ünal (2019), İstanbul'un su tüketim miktarını tahmin edebilmek için 2005-2013 yılları arasındaki verilere gri tahmin yöntemini uygulamışlardır. Sonuçlar incelendiğinde yetersiz veri durumunda ve hızlı karar verilmesi gereken durumlarda gri tahmin modellerinin su tüketimi değerlerinin tahmin edilmesinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Shah, Hosseini, Miled, Shafer ve Berube (2018), Orta Indiana'nın su talebini tahmin edebilmek için 1997-2016 yılları arasındaki verilere ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı ve tekrarlayan sinir ağı yöntemlerini uygulamışlardır. Modeller günlük ve aylık olmak üzere iki farklı zaman ölçeği için geliştirilmiştir. Bu modellere ait tahmin doğruluğu daha önce kullanılan doğrusal regresyona dayalı su talebi tahmin modellerinden elde edilenlerle karşılaştırılmış, tekrarlayan sinir ağlarını temel alan günlük ve aylık modellerin, 2016 için sırasıyla %1,69 ve %2,29 ortalama tahmin hatası ile en iyi sonuçları ürettiği sonucuna varılmıştır.

Ebad (2020) çalışmasında, iklim değişkenlerinin su tüketimi miktarı üzerindeki etkisini incelemek için Konya'daki farklı özelliklere sahip dört mahalle üzerinde faktör analizi, çok değişkenli lineer regresyon ve YSA yöntemlerini kullanmıştır. Apartman hayatının daha yoğun olarak görüldüğü bölgelerde iklim değişkenlerinin dışında kalan diğer değişkenlerin su tüketimi üzerinde daha fazla etkili olabileceği sonucu elde edilmiştir. Daha az katlı binaların olduğu ve bahçe kullanımının daha fazla olduğu bölgelerde iklim değişkenlerinin su tüketimi üzerinde daha fazla etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile, YSA yönteminin başarılı sonuçlar verebilecek bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

Rajballie, Tripathi and Chinchamee (2022), Trinidad ve Tobago genelinde Ekim 2003 – Ağustos 2018 dönemine ait su tüketimi verilerini baz alarak ARIMA, ETS ve NNAR modelleri ve bu modellerin hibrit kombinasyonlarını kullanmışlardır. ARIMA-ETS ve NNAR'ın üç modelli hibrit kombinasyonu ticari, endüstriyel ve tarımsal kategoriler için su tüketiminin modellenmesinde başarılı bulunmuş, diğer kategori için ETS-NNAR'ın iki modelli hibrit kombinasyonunun uygun olduğu görülmüştür. SARIMA modelinin yerli kategoriye daha uygun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Hekimoğlu, Çetin ve Kaya (2023), İstanbul iline ait tatlı su talebini tahmin edebilmek için 2009 – 2019 arası su tüketim verilerine SARIMA ve HW gibi klasik modeller ile YSA, MLP ve RNN modelleri gibi derin öğrenme modellerini uygulamışlardır. Model performansları karşılaştırıldığında; en başarılı tahminlerin MLP ve SARIMA ile elde edildiğini ortaya koymuşlardır.

Gündoğdu ve Anlı (2023) çalışmasında, küresel salgının su tüketimine etkilerini inceleyebilmek için Ankara iline ait salgın öncesi (Temmuz 2018-Şubat 2020) ve salgın sonrası (Mart 2020-Ekim 2021) verileri kullanılarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Parametrik olmayan Mann-Whitney- U testi ve parametrik Genişletilmiş Dickey-Fuller testini kullanarak su tüketimi serisinin durağanlığını analiz etmişlerdir. Toplam su tüketimine baktıklarında ise salgın öncesi ve salgın sonrası dönemler için etkili bir fark olmadığı sonucunu elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, literatürde yer alan çalışmalara benzer şekilde klasik zaman serisi modellerinden ARIMA, hem de Kourentzes ve Crone (2010) tarafından YSA'nın zaman serisi modelleri için geliştirilmiş çeşidi olan MLP modelleri tahmin

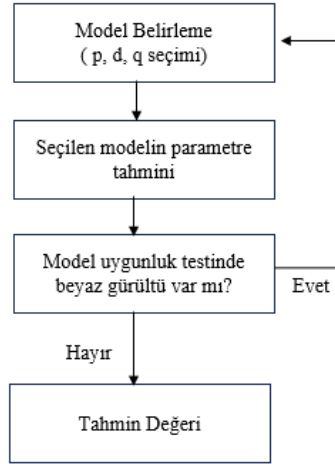
edilmiş ve böylece hem zaman serisinin hem de makine öğrenmesi yönteminin tek başına kullanıldığında elde edilen tahmin performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan farklı olarak doğrusal yapı için ARIMA modelinin, doğrusal olmayan yapı için MLP modelinin uygulandığı ve bu modellerin birleştirilmesiyle gerçeğe daha yakın tahmin sonuçları elde edilmesini amaçlayan Zhang (2003)'ın toplamsal hibrit modeli kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, klasik zaman serileri için geçmişe dair veriler kullanılarak tahminler yapılırken verilerin doğrusal olmayan yapısı sözkonusu olduğunda tahmin sonuçları büyük oranda sapmalı elde edilmektedir. Bununla birlikte, makine öğrenmesi yöntemleri tek başına kullanıldığında verilerin doğrusal yapısının modellenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada her iki yönteme ait modellerin bir arada kullanıldığı hibrit model yaklaşımının tahmin performansı incelenmiştir.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada klasik regresyon modellerinden ARIMA, makine öğrenmesi yöntemlerinden MLP ve hibrit modellerden ARIMA-MLP olmak üzere 3 çeşit tahmin yöntemi kullanılmaktadır.

3.1. ARIMA

Zaman serileri, değişkenlerdeki geçmiş gözlemleri inceleyerek aralarında nasıl bir ilişkinin var olduğunun analiz edildiği bir tahmin sürecine olanak sağlar (Zhang, 2003:159). Box ve Jenkins (1976)'nın devrim niteliğindeki yaklaşımlarında, zamanla ilişkili modelleme ve ileriye yönelik tahminleri elde edebilmek için otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modeli geliştirilmiştir. Bu yaklaşım çok değişkenli ARIMA veya transfer fonksiyonu modelleme yöntemiyle birden fazla girdinin işlenmesine yönelik bir algoritma üzerine kuruludur. ARIMA modeli; geçmiş verilerin ve hataların doğrusal kombinasyonlarını kullanarak ileriye yönelik tahminlerin oluşturulmasını hedeflemektedir. ARIMA (p,d,q) modelinde; p otoregresif terimlerin sayısını, d serinin durağanlaştırılması için entegrasyon sayısını ve q hareketli ortalama derecesini belirtmektedir. ARIMA modelinin kurulma aşamaları Şekil 3 ile gösterilmektedir.



Şekil 2: Model Kurma Aşamaları (Box ve Jenkins 1976)

Kaynak: Duru (2007: 40).

Şekil 3’de sunulan ARIMA ile tahmin; modelleme, parametre tahmincilerinin elde edilmesine, modelin geçerliliğinin test edilmesi ve tahmin değerlerinin elde edilmesi olarak 4 aşamadan oluşmaktadır.

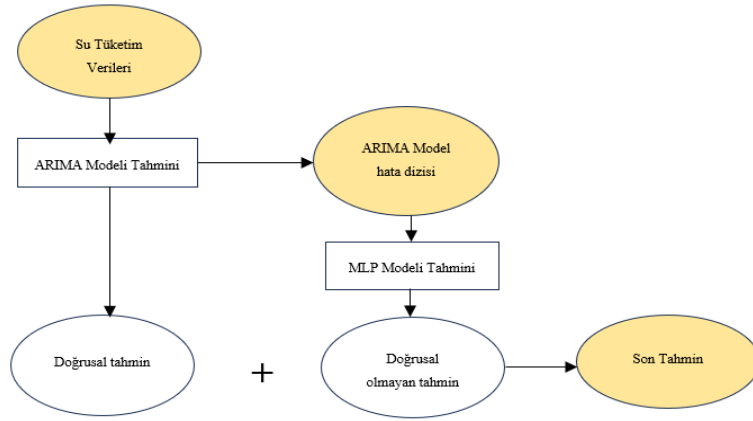
3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)

Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde tek katmanlı yapay sinir ağları yetersiz kaldığından çok katmanlı yapay sinir ağları (MLP) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle tek katmanlı yapay sinir ağlarından farklı olarak, girdi ve çıktı katmanının dışında bir de gizli katman olarak adlandırılan bir katman daha bulunmaktadır. Tek katmanlı yapay sinir ağında olduğu gibi çok katmanlı yapay sinir ağlarında da eğitim için gereken girdi verileri ile öğrenmenin yapılabilmesi için bazı çıktı verilerine ağırlıklar verilerek eğitim yapılması ve sonuçta bir çıktının oluşması istenmektedir. Eğitim sonunda oluşturulan ağa, gösterilen örneklere karşılık modelin verdiği cevaplar değerlendirilir. Eğer ağ gerçek değerlere yakın tahmin değerleri üretebiliyorsa başarılı bir öğrenme gerçekleştirilmiş demektir (Öztemel, 2012: 120).

3.3. Hibrit Model Yaklaşımı

Zaman serilerinde veri setlerinin çoğu doğrusal olmayan, beyaz gürültü seviyesi yüksek olan verilerden oluşmaktadır. Klasik zaman serisi yöntemleri geçmişe dair verileri kullanarak tahminler yaparken doğrusal olmayan yapının modellenmesinde beklentiyi tam anlamıyla karşılamamaktadır. Aynı zamanda makine öğrenmesine ait yöntemler doğrusal yapı modellenmelerinde yetersiz kalmaktadır. Doğrusallık boyutunu da dikkate almak adına, bir zaman serisinin doğrusal ve doğrusal olmayan iki alt bileşenden oluştuğu kabul edildiğinde, seriyi modellerken

bu alt bileşenlerin ikisini de ele alabilmek için farklı yöntemlerin kombine edilerek kullanılması fikri ortaya çıkmıştır (Akay, Topal, Kızıllarlan ve Bülbül, 2019: 9). Bu amaçla zaman serisi ve makine öğrenmesi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit model yaklaşımı geliştirilmiştir. Hibrit model yaklaşımının işleyişi Şekil 4 ile açıklanmaktadır.



Şekil 3: Hibrit ARIMA-MLP Tahmin Modeli Akış Şeması

Kaynak: Zhang, Luo, Yang, Liu, Kong, Feng (2018: 4).

Şekil 4 incelendiğinde doğrusal tahmin için ARIMA modeli, doğrusal olmayan tahmin için MLP modeli kullanılmış ve tahmin değerleri her iki modelin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu sayede verinin doğrusal ve doğrusal olmayan yapıları modellenerek en iyi tahmin değerleri elde edilebilmektedir. Hibrit model yaklaşımının temel amacı, verilerin doğrusal kısmı ile doğrusal olmayan kısmının ayrıştırılıp modellendikten sonra birleştirilerek kullanılması ile daha başarılı tahmin sonuçları elde etmektir. Hibrit modeli iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda, doğrusal kısmın analizi için ARIMA model kullanılmaktadır. ARIMA model; verilerde doğrusal olmayan yapıyı yakalayamadığı için, doğrusal modelden elde edilen hatalar bizi modelin doğrusal olmayan kısmına ulaştırmaktadır. İkinci adım olarak, ARIMA modelden elde edilen hataları yani modelin doğrusal olmayan kısmını modellemek için bir sinir ağı modeli geliştirilmektedir.

Zhang tarafından ortaya konulan toplamsal model yaklaşımına göre, zaman serileri doğrusal ve doğrusal olmayan iki bileşenin toplamı olarak modellenebilmekte ve aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$Y_t = L_t + N_t$$

L_t : Doğrusal bileşen

N_t : Doğrusal olmayan bileşen

Modellenecek doğrusal bileşen veri setine öncelikle ARIMA uygulanmaktadır. Buradaki hata doğrusal olmayan ilişkiyi içerebilir.

$$e_t = Y_t - \hat{L}_t$$

\hat{L}_t : t zamanlı tahmin

e_t : t zamanlı hata

Y_t : t zamanlı gerçek değer

Hatalarda doğrusal olmama durumu gözleniyorsa, doğrusal modelin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır (Zhang, 2003: 165).

$$\hat{e}_t = f(e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-n}) + \varepsilon_t$$

f : Doğrusal olmayan fonksiyon işlemcisi

Doğrusal olmayan bileşen yapay sinir ağları ile tahmin edildiğinde aşağıdaki denkleme dönüşerek hibrit tahmin modeli elde edilmektedir (İnce ve Çakır, 2017: 335).

$$y_t = \hat{L}_t + \hat{N}_t$$

4. AMPİRİK BULGULAR

Bu çalışmada su tüketimi serisinin durağanlığının araştırılması amacıyla seriye ADF (1979,1981), PP (1988) ve KPSS (1992) olmak üzere 3 tip birim kök testi uygulanmış, akabinde su tüketiminin tahmini zaman serisi modellerinden ARIMA, makine öğrenmesi yöntemlerinden MLP hem zaman serileri hem de makine öğrenmesi yöntemlerinin beraber kullanıldığı Zhang (2003)'ın toplamsal hibrit modelleri ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar en başarılı yöntemin saptanması amacıyla RMSE (Ortalama karekök hata), MAE (Ortalama mutlak hata), MAPE (Ortalama mutlak yüzde hata), RMSPE (Ortalama karekök yüzde hata) ve R² (Determinasyon katsayısı) hatalara dayalı karşılaştırma kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

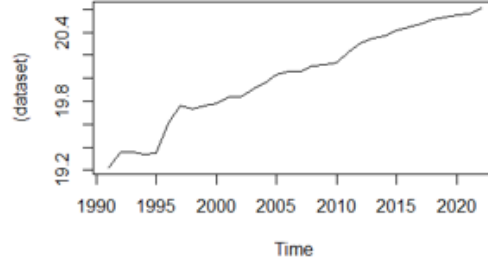
4.1. Veri Seti

İstanbul'un içme suyu tüketimi tahmin modellerinde kullanılmak amacıyla 1991-2022 yılları için yıllık içme suyu tüketimi serisi İBB'nin veri tabanından ("İBB Açık Veri Portalı", 2022) elde edilmiştir. Ölçeklendirme amacıyla logaritmik dönüşüm uygulanan seriye ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

N	Min.	Max.	Ortalama	Standart Sapma	Medyan
32	19,224	20,609	20,021	0,414	20,062

Logaritmik su tüketimi serisinin 20,021ortalama, 0,414 standart sapma ile en düşük 19,224 ve en yüksek 20,609 değerlerini aldığı Tablo 2'de görülmektedir. Logaritmik su tüketimi serisine ait zaman serisi grafiği Şekil 5 ile verilmektedir.



Şekil 4: Logaritmik Su Tüketimi Serisine Ait Zaman Serisi Grafiği

Şekil 5’de yer alan su tüketimi serisinin grafiği incelendiğinde serinin artan bir trendi olduğu görülmektedir.

4.2. Birim Kök Testleri

ARIMA modelinde serinin durağan hali ile çalışılması gerektiğinden seriye birim kök testleri uygulanmıştır. Durağanlığın araştırılması amacıyla su tüketimi serisine uygulanan ADF (1979, 1981), PP (1988) ve KPSS (1992) testlerinin birim kök testi sonuçları Tablo 3 ile sunulmuştur.

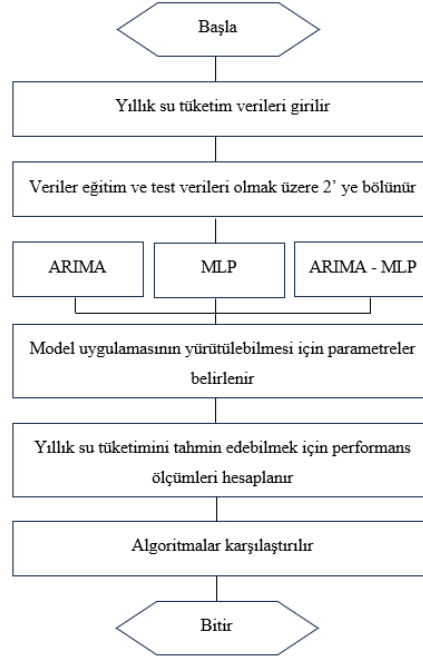
Tablo 3: Birim Kök Testi Sonuçları

ADF (1979, 1981)				
Değişken	-istatistiği	Kritik Değer (%1)	Kritik Değer (%5)	Kritik Değer (%10)
LWATER(C)	-1,627	-3,662	-2,96	-2,619
Δ LWATER (C)	-4,898			
LWATER (C, T)	-2,503	-4,297	-3,568	-3,218
Δ LWATER (C, T)	-4,857			
PP (1988)				
Değişken	t-istatistiği	Kritik Değer (%1)	Kritik Değer (%5)	Kritik Değer (%10)
LWATER(C)	-3,334	-3,662	-2,96	-2,619
Δ LWATER (C)	-6,755			
LWATER (C, T)	-2,186	-4,297	-3,568	-3,218
Δ LWATER (C, T)	-9,220			
KPSS (1992)				
Değişken	LM-istatistiği	Kritik Değer (%1)	Kritik Değer (%5)	Kritik Değer (%10)
LWATER(C)	0,741	0,739	0,463	0,347
Δ LWATER (C)	0,500			
LWATER (C, T)	0,161	0,216	0,146	0,119
Δ LWATER (C, T)	0,267			

Tablo 3 incelendiğinde hem trendli hem de sabitli ADF(1979,1981) test denklemleri için serinin her bir anlamlılık seviyesinde düzeyde durağan olmadığı fakat 1. dereceden farkının alınmasıyla durağanlaştığı görülmektedir. PP (1988) birim kök testlerinin sonuçlarına göre seri, sabitli denklemde %5 ve %10 düzeylerinde durağandır, fakat 1. dereceden farkının alınmasıyla her 3 anlamlılık düzeyinde de durağanlığı sağlanmaktadır. Hem trendli hem de sabitli modelde, 1. dereceden farkının alınmasına rağmen her üç anlamlılık düzeyinde durağanlığının sağlanamadığı görülmektedir. Phillips-Perron testi, hata teriminde örneklem asimetrisi olması durumunda etkin sonuçlar verememektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2015:246). Bu nedenle seriye durağanlık sınaması için , parametrik olmayan, Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (1992) tarafından önerilen, hataların uzun dönem varyansının nonparametrik tahmincisine dayalı KPSS (1992) birim kök testi de uygulanmıştır. KPSS (1992) birim kök testi sonuçlarına göre hem trendli hem trend ve sabitin olduğu durumda serinin düzeyde durağan olmadığı 1. dereceden farkının alınması koşuluyla durağanlığının sağlandığı görülmektedir.

4.3. Model Tahmin Sonuçları

Bu çalışma kapsamında İstanbul'a ait su tüketim miktarının belirlenebilmesi için ARIMA MLP ve ARIMA-MLP hibrit modelleri kullanılmıştır. Veri seti hem örneklem içi hem de örneklem dışı tahminlerin gerçekleştirilmesi amacıyla (80:20) oranında eğitim ve test setlerine bölünmüştür. Tahmin modellerine ait diyagram Şekil 6 ile sunulmaktadır.



Şekil 5: Yıllık Su Tüketim Verisi Tahmini İçin İzlenecek Adımlar

Kaynak: Zhang vd. (2018: 6).

ARIMA Modelinin uygun (p,d,q) parametrelerini tahmin etmek için seriye Box-Jenkins dönüşümü uygulanmıştır. Farklı bir dizi aday ARIMA model tahmin edilmiş ve regresyon varsayımlarına uygun, en düşük AIC değerlerine (84,783) sahip en iyi ARIMA modeli ARIMA (0,1,1) olarak seçilmiştir. Seçilen en iyi ARIMA (0,1,1) modeline ilişkin tahmin sonuçları Tablo 4 ile gösterilmektedir.

Tablo 4: ARIMA Modeli Tahmin Sonuçları

ARIMA(0,1,1)	Katsayı	Standart Hata	z-istatistiği	Pr(> z)
MA(1)	0,482	0,190	2,541	0,011*
<i>Box Cox transformasyonu</i> <i>lambda</i>				1,999924
<i>Otokorelasyon Testi:</i> <i>Breusch- Godfrey LM</i>				LM = 1,750 (0,186)
<i>Değişen Varyans Testi:</i> <i>ARCH Testi</i>				0,194 (0,66)
<i>Normallik Testi: Jarque-</i> <i>Bera Testi</i>				42,25 (0,000)
<i>R²</i>				0,957

Tablo 4 incelendiğinde ARIMA (0,1,1) otokorelasyon ve değişen varyans varsayımlarını karşıladığı ve anlamlı katsayılarla sahip en iyi model olduğu görülmektedir. Modelde otokorelasyonu araştırmak için Breusch-Godfrey (1978) Otokorelasyon Testi, artıklardaki ARCH etkisini incelemek için Engle'nin Lagrange Çarpın Testi (LM-ARCH, 1982) uygulanmıştır. Her ne kadar test sonuçları otokorelasyon ve değişen varyans olmadığını savunsa da Jarque-Bera Testi sonucu hataların normal dağılıma uygun olmadığı görülmektedir.

Su tüketimi serisine, doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu varsayımı altında yapay sinir ağlarının bir çeşidi olan ve doğrusal olmayan modellerde de kullanılabilen MLP yöntemi uygulanmıştır. Aşırı belirlenme sorunu ile karşılaşmamak için hiper parametrelerin seçimi oldukça önemlidir. MLP ve ARIMA-MLP makine öğrenmesi modelleri için hiperparametre seçiminde 5-katmanlı çapraz geçerlilik yöntemi uygulanmıştır. MLP ve ARIMA-MLP modelinde kullanılan hiper parametreler ve gecikme uzunlukları Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5: Hiper Parametreler ve Gecikme Uzunlukları

	MLP	ARIMA-MLP
Düğüm Sayısı	2	4
Tekrar Sayısı	20	20
Gecikme sayısı	2	3

Tablo 5’de bulunan hiper parametreler incelendiğinde MLP modeli için düğüm sayısı 2, hibrit model için 4, her iki derin öğrenme modeli için tekrar sayısı 20, MLP modelinin gecikme uzunluğu 2, ARIMA-MLP modelinin gecikme uzunluğu ise 3 olarak belirlenmiştir.

Model karşılaştırma kriterleri yardımıyla hem öğrenme verisi kullanılarak elde edilen örneklem içi, hem de test verisi kullanılarak elde edilen örneklem dışı tahmin performansları Tablo 6’ da sunulmuştur.

Tablo 6: Örneklem İçi ve Örneklem Dışı Tahmin Performansı Karşılaştırma Tablosu

Model	Öğrenme Veri Seti					Test Veri Seti				
	RMSE	MAE	MAPE	RMSPE	R ²	RMSE	MAE	MAPE	RMSPE	R ²
ARIMA(0,1,1)	0,0696	0,0430	0,0022	0,0035	0,957	0,0263	0,0212	0,0010	0,0013	0,810
MLP	0,0551	0,0396	0,0020	0,0028	0,962	0,0136	0,0115	0,0006	0,0007	0,949
Hibrit-MLP	0,0242	0,0195	0,0010	0,0012	0,995	0,0123	0,0084	0,0004	0,0006	0,958

Tablo 6 incelendiğinde, ARIMA-MLP hibrit modelinin hatalara dayalı ölçütlerinin daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Ele alınan 3 farklı model için örneklem içi performansa bakıldığında ARIMA-MLP hibrit modelinin; % 99,5 ile en yüksek R^2 , RMSE (0,0242), MAE (0,0195), MAPE (0,0010), RMSPE (0,0012) ile diğer modellere göre en düşük hata oranlarına sahip, en başarılı model olduğu sonucu elde edilmiştir. Örneklem dışı performansının hata metrikleri incelendiğinde yine ARIMA-MLP hibrit modelinin en yüksek R^2 (0,958) ve en düşük RMSE (0,0123), MAE (0,0084), MAPE (0,0004), RMSPE (0,0006) değerleri ile test veri setinde de başarılı tahminler ürettiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgulara dayanarak hibrit modeli ARIMA ve MLP modelleri ile kıyaslandığında, daha küçük hata kriteri değerlerine ve daha yüksek R^2 değerine sahip olduğundan gelecekteki su tüketimini tahmin etme başarısının diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Zhang (2003) ARIMA-MLP hibrit modelinin hem örneklem içi hem de örneklem dışı dönemde su tüketimi serisinin doğrusal ve doğrusal olmayan yapısını tahminlemede en iyi performans gösteren model olduğu söylenebilir.

En iyi model seçilen ARIMA-MLP hibrit modeli kullanılarak gelecek 3 yıl için öngörü gerçekleştirilmiş ve tahmin sonuçları Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7: ARIMA-MLP Hibrit Modeli Öngörü Sonuçları

2023	2024	2025
914602407	925615983	930962915

Tablo 7’de yer alan değerlere göre, İstanbul’un içme suyu tüketiminin önümüzdeki yıllarda da artış eğilimine devam ederek 2023 yılında 914602407 m³, 2024 yılında 925615983 m³, 2025 yılında 930962915 m³ olacağı öngörülmüştür. Yakın gelecek için son 3 yıllık tahmin sonuçları İstanbul’un su tüketiminde önlenemez bir artışın söz konusu olabileceğini vurgulamaktadır. Artış miktarları 2024 yılı için 2023 yılına oranla % 1,2 (11013576 m³); 2025 yılında bir önceki yıla göre % 0,58 (5346932 m³) olarak tahmin edilmiştir. Sonuç olarak su tüketimi tahminleri, önümüzdeki yıllarda İstanbul’un su tüketiminde artışın devam edeceğine işaret etmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma ile; İstanbul’un su tüketim miktarı zaman serisi yöntemlerinden ARIMA, makine öğrenmesi yöntemlerinden doğrusal olmayan zaman serilerinde kullanılabilen MLP ve her iki modelin birleştirildiği Zhang (2003)’ün toplamsal ARIMA-MLP hibrit modelleri kullanılarak tahmin edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi tahmin sonucunu veren model belirlenmiştir.

ARIMA modeline uygulanan test sonuçlarına göre öncelikle hataların normal dağılıma uygun olmadığı sonucu elde edilmiştir. Bu nedenle, doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu varsayımıyla veri setine doğrusal olmayan modellerde

kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden MLP algoritması ve Zhang (2003)'in ARIMA-MLP hibrit modeli uygulanmış elde edilen tahminlerinin karşılaştırılması sonucunda 3 farklı model arasından ARIMA-MLP hibrit modeli en başarılı model olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar Altunkaynak, Çakmakçı ve Özger (2005) ve Alpaslan, Çağcağ, İltter ve Yolcu (2012)'nin bulanık mantık; Başakın, Özger ve Ünal (2019)'un dalgacık dönüşümü uygulamalarının başarısını ortaya koydukları çalışmalara benzerlik göstererek klasik tahmin yöntemlerinin dışındaki yöntemlerin İstanbul'un su tüketiminin tahmininde daha başarılı sonuçlar verdiği bulgularıyla örtüşmektedir. Ayrıca bu çalışmada MLP algoritmasının başarısı, Hekimoğlu, Çetin ve Kaya (2023) çalışmasında olduğu gibi ortaya çıkmıştır.

ARIMA-MLP hibrit modeli kullanılarak tahmin edilen su tüketimi sırasıyla; 2023 yılı için 914602407 m³, 2024 yılı için 925615983 m³, 2025 yılı için 930962915 m³ olarak elde edilmiştir. 2018 ve 2020 yılları arasında yaşanan pandemi sebebiyle kullanılan temiz su kaynaklarındaki artış miktarının önceki yıllara oranla daha az olduğu gözlemlenmektedir. Pandemi dönemine ait su tüketim miktarlarındaki artışın daha az olmasının sebebi uzaktan çalışma ve şehir hayatından kaçış sebebiyle bölgede yaşayan nüfusun azalmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Fakat sonrasında tekrardan artan şehir nüfusu ile su tüketiminde artış gözlenmesi bu çalışmadan elde edilen bulgularla örtüşmektedir.

Sonuçlar dikkate alındığında gün geçtikçe artan su tüketimi hem İstanbul hem de Türkiye açısından oldukça önemli bir konu haline gelmektedir. Nüfus artışının devam edeceği düşünüldüğünde, İstanbul ili için su tüketim miktarına da bağlı olarak su tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi konusunda halkın daha fazla bilgilendirilmesi ve/veya yeni ve artan nüfus göz önünde bulundurularak su kaynakları konusunda sürdürülebilir yeni stratejiler üretilmesi önerilmektedir.

Artan nüfusa bağlı olarak kişi başına kullanılabilir su oranı azalacağından hem İstanbul'da hem de Türkiye genelinde su kaynaklarının korunması ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi ulusal bir mesele haline gelmiştir. Dünya genelinde yaşanan gelişmelere bakıldığında; su kaynaklarını yönetebilme, elinde tutabilme veya ele geçirebilme isteğinin su savaşlarına zemin hazırlayacağı düşünülmektedir.

İSKİ Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı tarafından İstanbul sınırları için su, atıksu ve yağmur suyu hizmetlerinin topluma uzun süreli fayda sağlayabilmesi, nüfusa bağlı su ihtiyacının belirlenmesi, yağmur suyu ve atık su toplama sistemlerinin planlanması, stratejik çevresel faktörlerin değerlendirilmesi, su arıtma sistemleri ve suların geri kazanımının tasarlanması gibi önemli konuları kapsayan bir master planı açıklanmıştır (İSKİ, 2021). Tüm bunlar göz önüne alındığında, oluşturulan bu tip su politikaları ve stratejik çalışmalar gelecekte gerçekleştirilecek olası su kıtlığı riskini önlemede oldukça önem arz etmektedir.

Etik Beyan

Bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında belirtilen tüm kurallara uyulduğu beyan edilmiştir.

Etik Kurul Onayı

Araştırmanın etik kurul izni gerektirmeyen araştırmalardan olduğu beyan edilmiştir.

Çıkar Çatışması ve Finansal Katkı Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması ve finansal katkı beyan edilmemiştir.

Yazarlık Katkı Beyanı

Çalışmanın tüm aşamaları yazarlar tarafından tasarlanmış ve hazırlanmıştır.

1. yazar % 50, 2. yazar % 50 oranında katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Adamowski, J. ve Karapataki, C. (2012). Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water demand forecasting: Evaluation of different ANN learning algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(7), s.834–836.
- Akay, E.Ç., Topal, K.H., Kizilarlan, S. ve Bülbül, H. (2019). Forecasting of Turkish housing price index: ARIMA, random forest, ARIMA-random forest. *Pressademia*, 10(10), s.7-11.
- Akdağ, R. (2014). *Yapay sinir ağları yöntemiyle Diyarbakır ili kent merkezi içme suyu talep tahmini uygulaması* (Doktora Tezi), Dicle Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Diyarbakır.
- Alpaslan, F., Çağcağ, Ö., İltter, D. ve Yolcu, U. (2012). İstanbul temiz su tüketiminin bulanık zaman serisi yaklaşımları ile öngörüsü. *TÜİK, İstatistik Araştırma Dergisi*, 9(02), s.1-11.
- Altunkaynak, A., Özger, M. ve Çakmakçı, M. (2005). Water consumption prediction of İstanbul city by using fuzzy logic approach. *Springer*, 19(5), s.641-654.
- Altunkaynak, A. ve Nigussie, T.A. (2017). Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform;based models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6), 04017011.
- Başakın, E.E., Özger, M. ve Ünal, N.E. (2019). Gri tahmin yöntemi ile İstanbul su tüketiminin modellenmesi. *Journal of Polytechnic*, 22(3), s.755-761.
- BM Dünya Su Kalkınma Raporu (2023). *Partnerships and cooperation for water the United Nations world water development report 2023*. Erişim tarihi: 17 Kasım 2023, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655>.
- Box, G.E.P. ve Jenkins, G.M. (1976). *Time series analysis: Forecasting and control*. Almanya: Holden-day.

- Box, G.E.P. ve Jenkins, G.M., Bacon, D.W. (1967). *Models for forecasting seasonal and nonseasonal time series, spectral analysis of time series*. Madison: Wisconsin Üniversitesi
- Dickey, D.A. ve Fuller, W.A. (1981), Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), s.1057-1072.
- Dickey, D.A. ve Fuller, W.A (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal Of American Statistical Association*, 4(4), s.427-431.
- DSİ (2022). *DSİ 2022 yılı faaliyet raporu*. Erişim tarihi: 24 Aralık 2023, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/759>.
- DSİ (2006). *DSİ 2006 yılı faaliyet raporu*. Erişim tarihi: 22.12.2023, <https://www.dsi.gov.tr>.
- Duru, Ö. (2007). *Zaman serileri analizinde ARIMA modelleri ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Ebad O.Z. (2020). *Şehirselleme su sarfiyatına etki eden değişkenlerin Konya iline ait bazı mahalleler üzerinde incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Engle, R.F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), s.987-1007.
- Fırat, M., Yurdusev, M.A. ve Mermer, M. (2007). Uyarlamalı sinirsel bulanık mantık yaklaşımı ile aylık su tüketiminin tahmini. *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(2), s.449-457.
- Godfrey, L.G. (1978). Testing for higher order serial correlation in regression equations when the regressors include lagged dependent variables. *The Econometric Society*, 46(6), s.1303-1310.
- Gündoğdu, R. ve Anlı, A.S. (2023). Küresel salgının Ankara ili kentsel su tüketimine etkileri. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(3), s.166-175.
- Hekimoğlu, M., Çetin, A. İ. ve Kaya, B. E. (2023). Evaluation of various machine learning methods to predict İstanbul's freshwater consumption. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(2), s.001-011.
- İBB Açık Veri Portalı (2022). *1991-2022 yılına ait İBB su tüketim verileri*. Erişim tarihi: 12 Aralık 2023, <https://data.ibb.gov.tr/dataset/istanbul-yillik-su-tuketimi-verileri>.
- İSKİ (2021). *İstanbul içmesuyu ve kanalizasyon master planı hazırlanması işi*. Erişim tarihi: 16 Ocak 2025, <https://www.iski.gov.tr>.
- İnce, H. ve Çakır, F. S. (2017). Analysis of financial time series with model hybridization. *Journal of Economics Finance and Accounting*, 4(3), s.331-341.

- Kourentzes, N. ve Crone, S.F. (2010). Feature selection for time series prediction a combined filter and wrapper approach for neural networks. *Neurocomputing*, 73, s.1923-1936.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P. ve Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationary against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54, s.159-178.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*. 3. Baskı, İstanbul: Papatya.
- Phillips, P.C.B. ve Perron, P. (1988) Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(1), s.335-346.
- Rajballie, A., Tripathi, V. ve Chinchamee, A. (2022). Water consumption forecasting models a case study in Trinidad (Trinidad and Tobago). *IWA Publishing*, 5, s.5434-5447.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2015). İstanbul menkul kıymetler borsasında getiri volatilitésinin modellenmesi ve ön raporlanması. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi Dergisi*, 61(4), s.243-265.
- Shah, S., Hosseini, M., Miled, Z. B., Shafer, R. ve Berube, S. (2018). A water demand prediction model for central Indiana. *Thirtieth AAAI Conference on Innovative Applications on Artificial Intelligence* içinde, s.586-591.
- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı (2025). *Türkiye'nin Su Politikası*. Erişim tarihi: 14 Ocak 2025, https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-su-politikasi.tr.mfa.
- Zhang, Y., Luo, Li., Yang, j., Liu, D., Kong, R. ve Feng, Y. (2018). A hybrid ARIMA-SVR approach for forecasting emergency patient flow. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 26(4), s.2362-2374.
- Zhang, D., Ni, G., Cong, Z., Chen, T. ve Zhang, T. (2014). Statistical interpretation of the daily variation of urban water consumption in Beijing, China. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), s.181-192.
- Zhang, G. P. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50, s.159-175.