



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

**HODRICK-PRESCOTT FİLTRELEME VE YAPAY SİNİR AĞLARI
YÖNTEMİYLE UZUN DÖNEM SU TÜKETİMİ TAHMİNİ:
TÜRKİYE ÜZERİNE UYGULAMA**

Ömer Faruk BAYARSLAN

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2024

HODRICK-PRESCOTT FİLTRELME VE YAPAY SİNİR AĞLARI
YÖNTEMİYLE UZUN DÖNEM SU TÜKETİM TAHMİNİ:
TÜRKİYE ÜZERİNE UYGULAMA

Ömer Faruk BAYARSLAN

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2024

KABUL VE ONAY

Ömer Faruk BAYARSLAN tarafından hazırlanan “Hodrick-Prescott Filtreleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Su Tüketimi Tahmini: Türkiye Üzerine Uygulama” başlıklı bu çalışma, 31.05.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet ERYİĞİT (Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Onur KOYUNCU (Danışman)

Prof. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN (Üye)

Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

31/ 05/ 2024

Ömer Faruk BAYARSLAN

¹“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ile ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, **Dr. Öğr. Üyesi Onur KOYUNCU** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Ömer Faruk BAYARSLAN

TEŞEKKÜR

Hem tez çalışma dönemimde hem yüksek lisans hayatım boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, bilgileriyle bana yol gösteren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu hocama teşekkür ederim.

Değerli görüşleri için tez jüri hocalarım Prof. Dr. Mine Ergün Ömürgönülşen, Prof. Dr. Mehmet Eryiğit, Doç. Dr. Hatice Çalıpınar ve Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç'e teşekkür ederim.

Tezimi yazmamda, düzeltmemde ve motivasyonum düştüğünde bana motivasyon veren arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

BAYARSLAN, Ömer Faruk. *Hodrick-Prescott Filtreleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Uzun Dönem Su Tüketimi Tahmini: Türkiye Üzerine Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2024.

Su canlıların en önemli yapı taşlarından biridir. Canlılar için vücudun yaşamsal faaliyetlerini etkileyen su, cansız ortamda çözünme, temizleme, hidroliz gibi tepkimelerde etkin bir rol almaktadır. Üretimde, maden işletmeciliğinde, soğutma çalışmalarında, yangın söndürme gibi insani faaliyetler içinde su kritik bir göreve sahiptir. Küresel ısınmanın artması, sıcaklıkların artması, dünya nüfusunun artması, su kaynaklarının kirletilmesi gibi olaylar su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasının gerektiğini göstermektedir. Bunun için su tüketimi tahminlemesi önemli bir yer edinmektedir. Kısa dönem tahminlemeler ile mevcut su sisteminin daha verimli işletilmesini ve yönetilmesini sağlarken, uzun dönem tahminlemeler ile yeni yatırımlar, su sistemi planlanmasını ve genişletilmesi gibi kararların alınmasında yardımcı olur. Bu çalışmada, Türkiye'nin uzun dönemli su tüketim tahminlemesi yapılmaktadır. Uzun dönem çalışma ile gelecekte Türkiye'nin su ihtiyacı hesaplanarak ileride olası bir su sıkıntısı çekilmemesi amaçlanmaktadır. Literatürde su tüketim tahminlemesi için çeşitli makine öğrenmesi ve uzman sistem yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler arasından en çok kullanılan yapay sinir ağları yöntemi bu çalışmaya uygulanmıştır. Su tüketimini etkileyen faktörler belirlendikten sonra geçmiş yıllara ait su tüketim miktarı ve etkileyen faktörlerin verileri bulunmuştur. Bu veriler Hodrick-Prescott (HP) filtreleme metoduyla verilerdeki dalgalanmalar arındırılarak ve döngüsellikten uzaklaştırılarak durağan hale getirilmiştir. HP filtrelemesi ile elde edilen veriler yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon yöntemlerine sokularak en iyi sonucu veren model belirlenmiştir. Belirlenen model ile birlikte Türkiye'nin gelecekteki su tüketim tahminlemesi yapılmıştır. Tahminlemeler sonucunda gelecekte su tüketiminin artacağı bulunmuştur. Bu artmanın karşılanması için alınabilecek bazı kararlar öngörülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Su Tüketimi, Talep Tahmini, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

BAYARSLAN, Ömer Faruk. *Long-Term Water Consumption Forecasting Using Hodrick-Prescott Filtering and Artificial Neural Network: On Türkiye Application*, Master of Science Thesis, Ankara, 2024.

Water is one of the most essential building blocks for living organisms. It plays an active role in vital bodily functions of organisms and is involved in reactions such as dissolution, purification, and hydrolysis in the non-living environment. In various human activities such as production, mining, cooling processes, and firefighting, water holds a critical role. Events such as global warming, increasing temperatures, population growth, and water pollution lead to a decrease in water resources. This necessitates a more efficient utilization of water resources. Water consumption forecasting becomes crucial for this purpose. Short-term forecasts aid in the efficient operation and management of existing water systems, while long-term forecasts assist in decision-making for new investments, water system planning, and expansion. This study focuses on long-term water consumption forecasting for Türkiye, aiming to calculate the country's future water needs to prevent potential water shortages. Various machine learning and expert system methods have been employed in the literature for water consumption forecasting. Among these methods, artificial neural networks, which are widely used, have been applied to this study. After determining the factors influencing water consumption, data on past water consumption quantities and influencing factors have been collected. These data has been rendered stationary by eliminating fluctuations using the Hodrick-Prescott (HP) filtering method and removing seasonality. The data obtained through HP filtering have been subjected to artificial neural networks and multiple linear regression methods to determine the model yielding the best results. Future water consumption forecasting for Türkiye has been conducted using the identified model. The forecasts indicate an increase in water consumption in the future. Some decisions that could be taken to address this increase have been anticipated.

Key Words: Water Consumption, Demand Forecasting, Artificial Neural Network.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM:SU YÖNETİMİ	5
1.1. SUYUN HAYATIMIZDAKİ YERİ VE ÖNEMİ	5
1.2. SU KAYNAKLARI	7
1.3. SU TÜKETİMİ	9
1.4. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	10
2. BÖLÜM: SU TÜKETİMİ TAHMİNLEMESİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI	11
2.1. LİTERATÜRE GENEL BAKIŞ	11
2.2. LİTERATÜR ANALİZİ	17
2.3. YAPAY SİNİR AĞLARIYLA SU TÜKETİMİ TAHMİNLEMESİ YAPAN ÇALIŞMALAR	21
3. BÖLÜM: SU TÜKETİM TAHMİNLEME MODELLEMESİ	26
3.1. DEĞİŞKENLER	26
3.2. VERİ SETİ	27
3.3. YÖNTEM	29
3.3.1. HP Filtreleme	29
3.3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon	30
3.3.3. Yapay Sinir Ağları	30
3.4. MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI	33
3.4.1. 2030 ve 2050 Yılları İçin Su Tüketim Tahminlemesi	47
SONUÇ	50
KAYNAKÇA	54
EK 1. MODELLEME SONUÇLARI	62
EK 2. ORJİNALLİK RAPORU	66
EK 3. ETİK KURUL MUAFİYETİ FORMU	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye Termik Santraller Haritası	2
Şekil 1.2 Su Döngüsü.....	7
Şekil 1.3 Yıllara Göre Kişi Başına Düşen Tatlı Su Miktarı	8
Şekil 1.4 Türkiye'deki İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi Yıllara Göre Değişimi.....	9
Şekil 2.1 Yıllara Göre Yazılan Makale Sayıları.....	17
Şekil 2.2 Ülkelere Göre Yazılan Makale Sayısı	18
Şekil 2.3 Tahmin Periyoduna Göre Yazılan Makalelerin Yüzdelik Dağılımı.....	18
Şekil 2.4 Kullanılan Yöntemlere Göre Makale Sayısı	19
Şekil 2.5 Kullanılan Değişkenlere Göre Makale Sayısı	20
Şekil 3.1 Yapay Sinir Ağı Mimarisi	31
Şekil 3.2 Sigmoid Fonksiyonu ve Fonksiyonun Grafiği.....	31
Şekil 3.3 Yapay Sinir Ağı Çalışma Yöntemi.....	33
Şekil 3.4 HP Filtrelenmiş İhracat	34
Şekil 3.5 HP Filtrelenmiş Ortalama Sıcaklık.....	34
Şekil 3.6 HP Filtrelenmiş Nüfus.....	35
Şekil 3.7 HP Filtrelenmiş Su Tüketimi	35
Şekil 3.8 Devresel Hareket Regresyon Analizi Sonuçları.....	37
Şekil 3.9 Eğilim Bileşeni Regresyon Analizi Sonuçları	38
Şekil 3.10 Gizli Katman Sayısı 8 olan YSA Sonuçları	40
Şekil 3.11 Gizli Katman Sayısı 10 olan YSA Sonuçları	41
Şekil 3.12 Gizli Katman Sayısı 12 olan YSA Sonuçları	42
Şekil 3.13 Oluşturulan Yapay Sinir Ağı Modeli	42
Şekil 3.14 Devresel Hareket Bileşen Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme	43
Şekil 3.15 Eğilim Bileşeni Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme	44
Şekil 3.16 Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme	45
Şekil 3.17 Farklı Model Kombinasyonlarının Yüzde Bağıl Hataları	46
Şekil 3.18 Türkiye'deki İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi ve Tahminlemesi	50

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Amerika Kıtasında Yapılan Araştırmalar	12
Tablo 2.2 Avrupa Kıtasında Yapılan Araştırmalar	13
Tablo 2.3 Asya Kıtasında Yapılan Çalışmalar	14
Tablo 2.4 Diğer Bölgelerde Yapılan Araştırmalar	15
Tablo 2.5 Türkiye'de Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	16
Tablo 2.6 Yapay Sinir Ağları Kullanarak Su Tüketim Tahminlemesi Yapılan Çalışmalar	24
Tablo 3.1 Notasyon Tablosu	27
Tablo 3.2 Su Tüketimi ve Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon Kat Sayısı	36
Tablo 3.3 HP Filtreleme Öncesi ve Sonrası Su Tüketimi ve Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon Kat Sayısı	36
Tablo 3.4 Modellerin Ortalama Bağlı Hata Sonuçları	43
Tablo 3.5 Su Tüketimini Etkileyen Faktörlerin Modelden Çıkarılmasıyla Ortalama Bağlı Hata ..	47
Tablo 3.6 Devresel Hareket Sonuçları ve Bağlı Hatalar	61
Tablo 3.7 Eğilim Bileşeni Sonuçları ve Bağlı Hatalar	62
Tablo 3.8 Ham Veri Sonuçları ve Bağlı Hatalar	63
Tablo 3.9 Su Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Çıkarılarak Model Oluşturulması	64

GİRİŞ

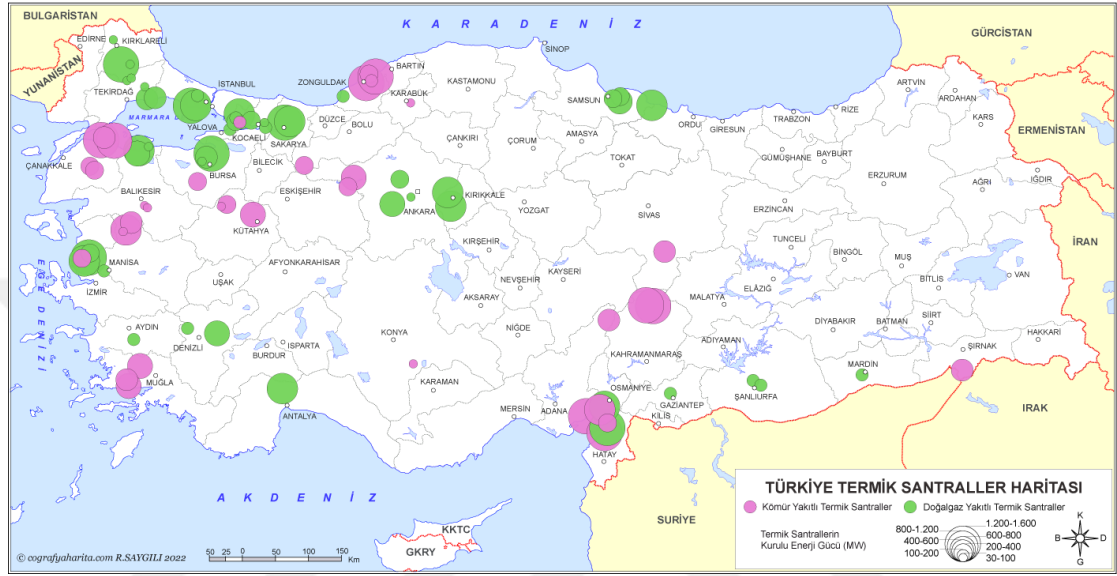
Su, hayatın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Yaşanılan bölgeye göre suyun kullanım amacı da değişmektedir. Şehirlerde su tüketimi sanayide, evde ve içme suyu tüketiminden oluşmaktadır. Sanayi tüketimi, bir ürünün üretilmesi için doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmasını kapsamaktadır. Ürünün üretilmesinde, temizlenmesi ya da soğutulması gibi işlemler için su tüketimi gerçekleştirilmedi. Sanayide kullanılan suyun %75'i enerji sektöründe tüketilmektedir (Hakyemez, 2019). Enerji sektöründe su elektriğin üretilmesinin ardından açığa çıkan ısının soğutulması için bol miktarda kullanılmaktadır. Türkiye'deki termik santralleri gösteren harita Şekil 1.1'de yer almaktadır.

Gelişen ve büyüyen şehirlere paralel olarak su tüketimi de doğru orantılı olarak artış göstermektedir. TÜİK (2020) verilerine göre kullanılan suyun %71'i tarımsal sulamada, %10'u içme ve kullanma suyu olarak ve %19'u da sanayilerde, maden işletmelerinde ve termik santrallerde kullanılmıştır. Artan şehir nüfusu, su hizmet kuruluşlarına büyüyen su talebini karşılama gibi yeni bir stres getirmiştir (Duerr vd., 2018). Köylerde ise daha çok su tüketimi tarım ve hayvancılık için kullanılmaktadır. Çoğu evin müstakil veya az katlı olduğu dış mahallelerde nüfus yoğunluğu az olduğundan dolayı yerel son kullanıcılarının su temini miktarı fazla değildir (Benitez vd., 2019).

Dünya nüfusunun hızla artması günümüzde birçok sorunun oluşmasına neden olmaktadır. Hızla gelişen şehirler, sanayi, teknoloji ve tahrip olan ormanlar ile bu sorunların yalnızca birkaç tanesidir. Mevsimlerin kayması, yağışların azalması, aşırı sıcaklar, suların kullanılamaz duruma getirilmesi ve buzulların erimesi ile birlikte küresel ısınma daha belirginleşmektedir. Küresel ısınmanın etkisi ile dünyaya yağın yağış miktarı günden güne azalmakta, deniz seviyesi yükselmekte ve kuraklıklar yaşanmaktadır. Bu durumlar suya ulaşımı güçleştirmekte ve su kıtlığına sebebiyet vermektedir.

Su tedarigi miktarını aşan su talebi faktörlerinin çoğu insan müdahalesinden kaynaklanmaktadır (Msiza vd., 2008). İnsanların bilinçsiz yerleşim yapmaları,

ormanları tahrip etmeleri, sera gazı salınımı gibi doğaya verdikleri zarar müdahalelerinden bazılarıdır. Günümüzde birçok ülke tatlı su kaynaklarının azalmasına neden olan iklim değişikliğinin sıkıntısını çekmektedir. Diğer yandan, tatlı suya olan talebin, artan nüfusla beraber artması muhtemeldir (Zubaidi vd., 2020).



Kaynak: Saygılı, 2022

Şekil 1.1. Türkiye Termik Santraller Haritası

Dünyada su sıkıntısının hissedilebilir bir duruma dönüştüğü veya bunun sinyallerini verdiği birçok bölge bulunmaktadır (Ghalekhondabi vd., 2017). Sıcaklığın yüksek ve yağışın az olduğu bölgelerde su temini konusunda sorunların yaşandığı görülmektedir. Türkiye ise, gelişen bir ülke olmasından dolayı nüfusu günden güne artmakta ve tatlı suya olan talebi de buna bağlı olarak artmaktadır. Resmi kayıtlara göre Türkiye nüfusu 2012 yılında 75 627 384 kişiyken (TÜİK, 2013), 2022 yılında 85 279 553 kişiye ulaşmıştır (TÜİK, 2023). Artan nüfus ile birlikte resmi kayıtlara göre 2008 yılında ülkemizde su tüketimi 44 milyar m³ (TÜİK, 2009) iken 2020 yılında 64 milyar m³ olmuştur (TÜİK, 2021). Günden güne artan su tüketimi ve nüfus birlikte su kıtlığının yaşanacağı varsayım olmaktan öteye geçmektedir. Dünya Su Vakfı'nın su ayak izi raporuna göre, Türkiye artan nüfus, tüketim, sanayileşme ve tarımsal üretim sebebi ile 2030 yılında ciddi bir su sıkıntısıyla karşı karşıya kalabilir (Pegram vd.,2014).

Beklenen kıtlığa bağlı olarak mevcut suyun yönetimi ve kullanımı önemli bir husus haline gelmektedir. Su dağıtım sistemleri kullanıcıların su talebini karşılama temel görevini yerine getirir ve uzun ve kısa vadeli yönetimleri su talebi tahminleme modelleri ile desteklenebilir (Gagliardi vd.,2017). Su talebi su dağıtım sisteminin ana unsurunu oluşturur, güvenilir bir talep tahminlemesi ise, bu tür sistemleri simüle etmede ve yönetmede geçerli bir adımı temsil eder (Pacchin vd., 2017). Su talebini tahmin ederek çeşitli politikaların belirlenerek ve uygulamaların yapılması gelecek nesiller ve günümüz dünyası için önemli bir yere sahiptir. Böylelikle mevcut su daha verimli ve planlı bir şekilde kullanılabilir. Tahminleme aracılığıyla site sakinlerinin, işletmelerin ve toplumdaki diğer müşterilerin günlük su taleplerini yönetmek güvenilir ve ekonomik sistemini oluşturmanın anahtarıdır (Gharabaghi vd., 2019). Oluşturulan tahminlemeye göre uygulanacak politika ve uygulayacak kurumlar değişiklik göstermektedir. Dağıtım sistemi planlama ve su kaynaklarının kullanımının dizaynı için bazı planlama görüşlerinde uzun dönem tahminleme gerekiyken, rezervuar işletilmesi ve su dağıtım tesisleri örneğin borular ve pompa istasyonlarının yönetimi için kısa dönem tahminleme gerekir (Yurdusev ve Fırat, 2009). Bir başka deyişle, uzun dönem tahminle var olan su sistemi içi planlama, tasarım ve genişleme sağlamada, kısa dönemde ise, planlama mevcut su sisteminin verimli işletimi ve yönetiminde fayda sağlamaktadır (Jain vd., 2001). Tahminlemelerin sonucuna göre, yönetim ve kullanım politikası değişeceğinden tahminleme yapılırken birçok faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Güvenilir bir tahminleme sosyoekonomik ve iklimsel faktörlerin su kullanımını etkileyen etkileri göz önünde bulundurmak gerekmektedir (Fırat vd., 2009). Bu etkenleri göz önünde bulundurarak oluşturulan tahminlemelerin sonuçları daha güvenilir olacağından oluşturulan politika da etkili olacaktır.

Su tedarik sistemi operasyonunu ve yönetimini optimize etmek için kritik husus kısa dönem su talebinin doğru tahmin etmektir (Jain ve Ormsbee, 2002). Doğru tahminin yapılabilmesi için doğru yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Jain ve Ormsbee (2002) yapay sinir ağları tekniği uygulanan modeller geleneksel yöntemler ve zaman serisi analizi kullanılan modellerden daha iyi bir performans göstermiştir. Klasik tahminleme yöntemleri, kritik politikaların belirleneceği su

tahminlemesi konusunda efektif sonuçlar vermemektedir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi daha etkili ve gerçeğe yakın sonuçlar veren metotlar ile yapılan tahminlemeler, oluşturulan politikanın da verimli olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma dört bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde, su yönetimi konusu ele alınmaktadır. Suyun hayatımızdaki yeri ve önemi, su kaynakları, su tüketimi ve araştırmanın amacı ve önemi kısmını kapsamaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde su tüketimi tahminlenmesi literatür taraması ele alınmaktadır. Literatür taraması literatüre genel bakış, yapılan çalışmaların analizi ve çalışmada kullanılacak olan yapay sinir ağlarının literatürdeki kullanımı incelemesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde su tüketimi tahminle modellemesinde bahsedilmiştir. Yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon modelleme bölümünde yöntemlerin anlatılması, yöntemlerin uygulanması ve belirli bir dönem için su tahminin yapılması bölümünü içermektedir. Çalışmanın son bölümü olan sonuç bölümünde ise, çalışma sonucu elde edilen sonuçlar özet olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca bu bölümde, tahminleme sonuçları ele alınarak, sonuçlara göre alınabilecek önlemlere değinilmiş; ilerde yapılacak çalışmalara ilişkin çeşitli öneriler de sunulmuş ve genel olarak çalışma değerlendirilmiştir.

1.BÖLÜM

SU YÖNETİMİ

Günlük yaşamımızın her yerinde olan su, çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre suyun elde edildiği kaynaklar değişkenlik göstermektedir. Bu kaynaklar sınırsız değildir. Suyun gereksiz kullanılması, su kaynaklarının kirlenmesi gibi nedenlerden dolayı mevcut su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması önemli bir konu haline gelmiştir. Verimli olarak kullanılan su kaynakları geleceğe daha iyi bir dünya bırakmamızı da sağlayacaktır.

1.1. SUYUN HAYATIMIZDAKİ YERİ VE ÖNEMİ

Geçmiş dönemlerden beri su, tüm toplumlar için önemli bir yere sahiptir. Mısır uygarlığı Nil nehri çevresine kurulmuş ve Nil sadece bahçelerin değil, Mısır'ın bütün hayatı ve özellikle ekonomisi üzerinde önemli bir rol oynamıştır (Düzenli vd., 2019). Mezopotamya'da halk, parkları kurulmuş ve yapay tepeler üzerine geniş bahçeler kurulmuş ve bu bahçeler yapay göllerle süslenmiştir (Pamay, 1978). Antik Yunan döneminde çeşmeler, dereyle beslenen çeşme yapıları ve su perileri gibi su öğeleri ön plana çıkmaktadır (Cendere, 1998). Roma döneminde su, bahçe göletlerinde, görkemli havuzlarda ve şelale gibi gösterişli yapılarda önemli bir rol oynamaktadır (Gülgün vd., 2011). Osmanlı döneminde çeşme, sebil, şadırvan gibi su yapılarına rastlanırken, mimar Sinan döneminde su iletim sistemleri inşa edilmiştir (Güngör, 2021). Kurulan bu yapılar ile halkın su ihtiyacı giderilmiştir.

Canlılar için su tüketimi ile beraber yenilen yiyeceklerin sindirimi su ile beraber yapılabilmektedir. İnsan vücudunda gerçekleşen hidroliz tepkimelerinde su molekülü ve diğer madde girerek parçalanma gerçekleşmektedir. Su, biyolojik bir çözücü olmasından kaynaklı insan vücudunda vitaminlerin ve minerallerin çözülmesini sağlayarak vücutta taşınmasını ve emilmesini sağlamaktadır. Vücut sıcaklığının düzenlenmesini de sağlamaktadır. Aşırı sıcaklarda terle su atılarak

vücut sıcaklığı dengelenmektedir. Ayrıca derinin nemlenmesini, toksinlerin atılmasını, vücudun temizlenmesini ve nemli kalmasını sağlamaktadır. Vücudumuzun yüzde 60 sudan oluşmasından kaynaklı su insan vücudu için hayati bir öneme sahiptir.

İnsanlarda bu kadar öneme sahip olan su insan dışındaki canlılar için de aynı öneme sahiptir. İnsan biyoloji sistemine benzer hayvanlar içinde aynı işlevlerde kullanılmaktadır. Su altında yaşayan canlılarda ise su oksijenin kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Bitkilerde de fotosentez tepkimeleri için suya ihtiyaç vardır. Wohl (1940), yeşil bitkilerde fotosentez karbondioksit ve suyun ışığın etkisi ile karbonhidrat ve suya dönüşmesi anlamına gelir. Altı birim karbondioksit ile altı birim suyun birleşimiyle besin ve oksijen üreterek ekosistemin devamını sağlamaktadır. Ayrıca bitkiler için tıpkı insanlar ve hayvanlar gibi topraktan vitamin ve mineralin taşınmasında su ana etkindir.

Su aynı zamanda topraklar gibi birçok canlı türüne yaşam alanı oluşturmaktadır. Birçok memelilere, balık türlerine, tek hücreli bakterilere, mavi yeşil alglere, yosunlara yaşam alanı oluşturarak onların beslenmesini, solungaçları ya da başka solunum organlarıyla oksijen almalarını sağlayarak onlara ev sahipliği yapmaktadır.

Suyun canlı yaşamı için öneminin yanı sıra cansız ortamlarda da önemi büyüktür. Maden işletmelerinde, termik santrallerde, imalat sanayi işlerinde ve organize sanayi bölgelerinde su kullanımı büyük bir öneme sahiptir. İmalat sanayide kimyasal, gıda ve tekstil üretiminde yoğun su kullanılmaktadır (Kavurucu vd., 2022). Ürünleri soğutma, işleme, yıkama gibi işlemlerde kullanılarak daha etkin bir hale getirmektedir. Ek olarak yangınların söndürülmesi, elektrik üretimi gibi önemli alanlarda kullanılarak çeşitli felaketlerin önlenmesini ve yaşamın devam etmesi sağlamaktadır.

1.2. SU KAYNAKLARI

Dünya yüzeyinin yarısından fazlası sular ile kaplıdır. Bu su sürekli bir hareket halinde olup durağan değildir. Su döngüsü diğer bir adıyla hidrolojik döngü suyun yeryüzü ve gökyüzü arasındaki sürekli hareketini tanımlar. Su yeryüzünden buharlaşarak gökyüzüne karışır. Gökyüzüne buhar olarak oluşan su buharı havanın neme doyararak yoğunlaşmasıyla yağmur, kar, dolu gibi çeşitli hava olaylarıyla yeryüzüne geri döner. Su döngüsü Şekil 1.2' de gösterilmiştir.



Kaynak: Okatan, 2019

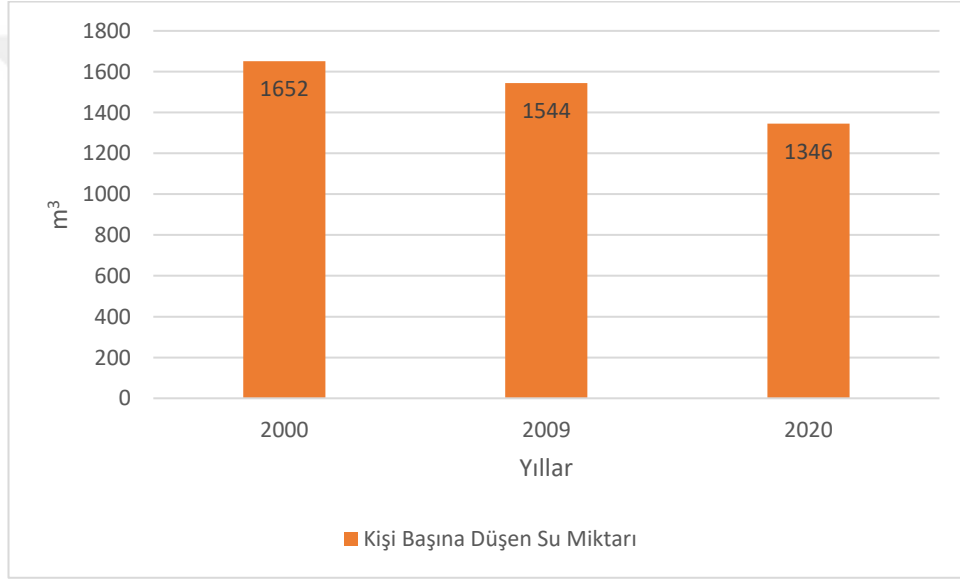
Şekil 1.2. Su Döngüsü

Sürekli hareket halinde olan su, okyanuslara, denizlere, göllere, buzullara, akarsulara veya yer altı sularına karışarak su kaynaklarına zenginleştirmektedir. Deniz ve okyanus suları tuzlu olmalarından kaynaklı su tüketimi için direkt olarak kullanılamamaktadır. Arıtılarak tüketime uygun hale getiriliyor ya da sanayi, termik ve nükleer santrallerde kullanılmaktadır.

Göllerin bir kısmı acı, tuzlu ve sodalı gibi formlarda bulunmasından kaynaklı içme suyu ve sulamada direkt olarak kullanılamamaktadır. Tatlı göller, akarsular ve yer altı suları içilebilir düzeyde temiz ve mineralleri yönünden zengin olduklarında

direkt olarak tüketimde ya da sulamada kullanılmaktadır. Özellikle akarsu önlerine barajlar kurularak şehirlerde insanların su ihtiyaçlarının giderilmesi sağlanmaktadır. Bu barajlar yer altı suları ile da beslenerek insanlara su ve elektrik temini sağlamaktadırlar.

Aküzüm vd., (2010) tarafından yapılan bir araştırmada, Türkiye’de kişi başına düşen tatlı su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³ ve 2020 yılında ise 1346 m³ olduğu belirtilmiştir. Bu durum Türkiye’yi su zengini olmayan ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir. Yıllara göre kişi başına düşen tatlı su miktarının grafiksel gösterimi Şekil 1.3’te verilmiştir.



Kaynak: Aküzüm vd., 2010

Şekil 1.3. Yıllara Göre Kişi Başına Düşen Tatlı Su Miktarı

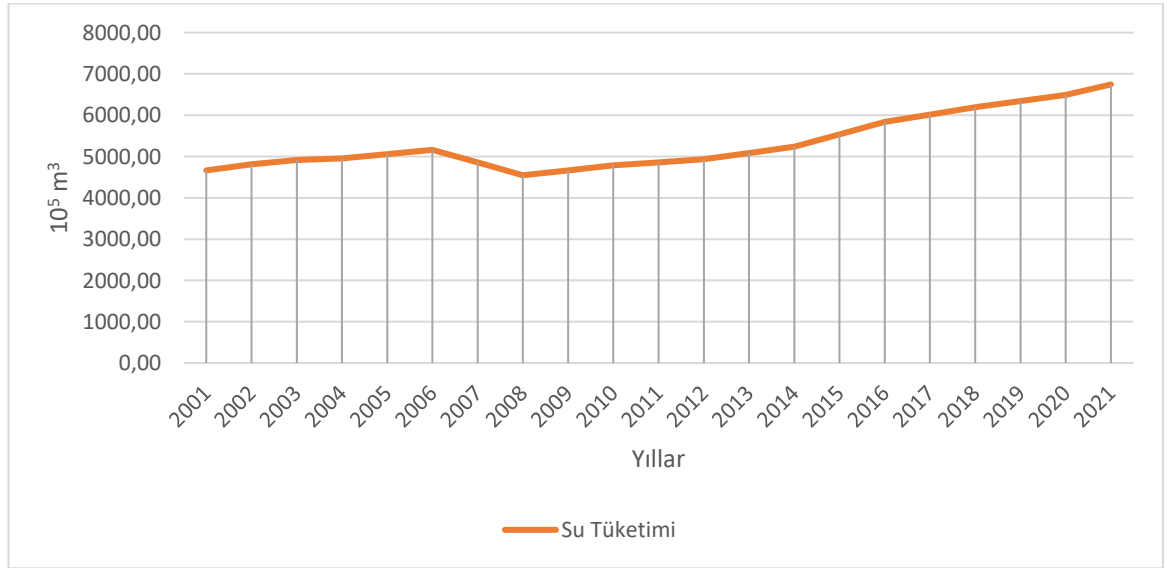
Su kaynaklarının korunması ve kirletilerek kullanılamaz hale getirilmemesi hem insanlar hem de diğer canlılar için kritik bir öneme sahiptir.

1.3. SU TÜKETİMİ

Canlı ve cansızlar için gerekli su miktarı bölgeden bölgeye, durumdan duruma göre farklılık gösterebilmektedir. Yıllık su tüketimi bu yüzden değişkenlik göstermektedir. Şehirlerin büyüklüğü, nüfus ve yaş dağılımı, üretim tesisleri, ticari ve endüstriyel kurumları büyüklüğü ve sayısı, iklimi gibi etkenler su tüketim miktarını etkilemektedir.

İnsan nüfusunun artması bir bölgede ya da ülkede tüketilen su miktarını artmasına sebep olmaktadır. Küresel ısınma yağışların azalmasına ve sıcaklıkların yükselmesine sebep olduğundan dolayı su kaynaklarının azalmasında ve su tüketiminin artmasında etkilidir. Şehirlerin yeşil alan miktarları, endüstriyel büyüme gibi etkenler su tüketimi ve yağışların üzerinde etkileri vardır. Bir başka deyişle, genel olarak yaşam standartlarının artması su tüketimi üzerinde artışın sebep olmaktadır.

TÜİK (2020) verilerine göre, Türkiye’de kullanılan suyun %71’i tarımsal sulamada, %10’u içme ve kullanma suyu olarak ve %19’u da sanayilerde, maden işletmelerinde ve termik santrallerde kullanılmıştır. Türkiye’deki içme ve kullanma suyu tüketiminin yıllara göre değişimleri Şekil 1.4’teki grafikte özetlenmiştir.



Kaynak: TÜİK, 2020

Şekil 1.4. Türkiye’deki İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi Yıllara Göre Değişimi

1.4. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Su, tüm canlılar için hayatı bir öneme sahiptir. Su ihtiyacının alternatif bir yoldan temin edilemeyeceğinden kaynaklı su hayatımızın temel taşlarından biridir. Daha yaşanılabilir bir hayat için mevcut suyun korunarak daha verimli bir şekilde kullanılması gerekir. Su talebinin belirlenerek uzun vadede su kaynakları yatırımlarının belirlenmesi ve su talebinin karşılanması belediyeler ve bakanlıklar için kritik bir görevdir. Bu araştırmada mevcut su tüketim verilerinden yola çıkarak birden fazla tahminleme algoritmasıyla en gerçeğe yakın tahminleme metodu saptanmaya çalışılmıştır. Mevcut tüketim verileriyle belirlenen algoritma ile gelecek yıllar için su tüketim miktarları tahminlenmiştir. Bu tahminlemeyle oluşturulacak politikalar su dağıtım sistemlerinin planlanması ve su kaynaklarının tasarımı için planlama girdi parametresi olarak kullanılabilecektir. Oluşturulan bu politikalar ile gelecekte yaşanabilecek olası su kıtlığının önüne geçilebilmesi için etkin planlama yapma imkânı sağlanabilecektir.

2.BÖLÜM

SU TÜKETİMİ TAHMİNLEMESİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI

Eski zamanlarda sadece gıda, yaşamsal faaliyetler ve temizlik için kullanılan su, teknoloji geliştikçe farklı alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Bu durum suyun hayatımızdaki önemini daha da artırmıştır. Bilim insanları da bu durumu göz ardı etmeyerek, su tüketimi ve su tüketimi tahminlemesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda tahminleme metotlarına çeşitli değişkenleri kullanarak kısa dönem veya uzun dönem tahminlemeler yapmışlardır.

2.1. LİTERATÜRE GENEL BAKIŞ

Canlıların yaşamsal faaliyetlerin en temel taşlarından biri olmasından dolayı, su tüketimi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar istatistiksel metotlar ve daha yeni modeller olan makine öğrenmesi ve yapay zekâ gibi yöntemleri yaygın olarak kullanılmıştır. Kullanılan farklı modellemeler ile sonuçlar bulunarak çeşitli doğruluklarda sonuçlara ulaşılmıştır. Küresel ısınmanın da etkisiyle su kıtlığı beklentilerinden kaynaklanan kaygılar sonucu araştırmacılar şehir, bölge ve proje bazında çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmaları bir veya birden fazla girdiyle geleneksel ve uzman sistemler yöntemlerini kullanarak birçok tahminlemelerde bulunmuşlardır.

Bu çalışmada incelenen makaleler, Sciencedirect ve Web of Science veri tabanından alınmıştır. Su tüketimi tahminlemesi (*water consumption forecasting*), su tahminlemesi (*water forecasting*), makine öğrenmesiyle su tüketim tahminlemesi (*water consumption forecasting with machine learning*), su talebi tahminlemesi (*water demand forecasting*) ve yapay sinir ağlarıyla su tüketim tahminlemesi (*water consumption forecasting with artificial neural network*) anahtar kelimeleri kullanılarak yaklaşık 412 makale elde edilmiştir. Bu makaleler arasından konuyla alakalı olan 37 makale belirlenmiştir.

Tablo 2.1. Amerika Kıtasında Yapılan Araştırmalar

Yazar / Yıl	Ülke	Periyot	Metodoloji	Değişkenler
. Duerr vd. / 2018	ABD-Florida	Aylık	İstatiksel Metot ve Makine Öğrenmesi (MÖ)	Aylık su tüketimi
Jain ve Ormsbee / 2002	ABD-Lexington	Günlük	Yapay sinir ağları (YSA), Yapay Zekâ, Uzman Sistem, Regresyon	Su tüketimi, Yağış, Maksimum Sıcaklık
Gharabaghi vd. / 2019	Kanada-Guelph	Günlük	Doğrusal olmayan zaman serisi	Su tüketimi, Sıcaklık, Yağış
Tiwari ve Adamowski / 2015	Kanada-Cagary	Haftalık Aylık	Dalgacık ön yüklemeli yapay sinir ağı	Toplam yağış, Maksimum sıcaklık, Toplam talep
Adamowski vd. / 2012	Kanada-Montreal	Günlük	Dalgalı yapay sinir ağları, Bütünleşik otoregresif hareketli ortalama (ARIMA), YSA, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)	Su talebi, Yağış, Sıcaklık
Adamowski / 2008	Kanada-Ottawa	Günlük	YSA, Doğrusal Regresyon, Zaman serisi analizi	Maksimum su tüketimi, Sıcaklık, Yağış
Pena-Guzman vd. / 2016	Kolombiya-Bogata	Yıllık	En küçük kareler destek vektör makineleri	Aylık su tüketimi, Kullanıcı sayısı, Toplam su faturası

Amerika kıtasında yapılan araştırmalar, Tablo 2.1' de gösterilmiştir. Su tüketimi tüm araştırmalarda ortak bağımlı değişkendir. Yağış ve sıcaklık ise en sık kullanılan açıklayıcı değişkendir. Yapay sinir ağları yöntemi ise en sık kullanılan tahminleme yöntemidir. Yapılan araştırmalar ise ağırlıklı olarak günlük su tüketimi tahminlemeye odaklanmaktadır.

Tablo 2.2. Avrupa Kıtasında Yapılan Araştırmalar

Yazar / Yıl	Ülke	Periyot	Metodoloji	Değişkenler
. Hao vd. / 2022	İtalya- Milano	Günlük Haftalık	ARIMA, YSA, MÖ, Sönümsüz transfer model, Dalgacık serisi	Su tüketimi, Ortalama sıcaklık, Maksimum sıcaklık, Yağış
Pacchin vd. / 2017	İtalya- Castelfranco Emilia	Günlük	Kayan Pencere	Ortalama su talebi
Candelieri vd. / 2015	İtalya- Milano	Günlük	Zaman serisi, Destek Vektör Makinesi (DVM)	Saatlik su tüketimi, Günler
. Karamaziotis vd. / 2020	Yunanistan- Atina	Aylık	Makine öğrenmesi	Aylık su tüketimi, Su sayacı
Walker vd. / 2015	Yunanistan- İWIDGET Projesi	Haftalık	İstatistiksel Metot, YSA	Haftalık su tüketimi
Benitez vd. / 2019	İspanya- 3 Bölgesi	Haftalık	Örnek Benzetim tekniği	Dakikalık su akımı
Anele vd. / 2017	İspanya- Bir şehir	Saatlik	Zaman Serisi, YSA, Regresyon, Hibrit model	Günlük ortalama su tüketimi
. Sampathirao vd. / 2014	İspanya- Barselona	Günlük	Sezonsal ARIMA, Box- Cox Dönüşümü, DVM	Su talebi
Herrera vd. / 2010	İspanya- Hidrolik Bölgesi	Saatlik	Makine Öğrenmesi	Saatlik su tüketimi, Günlük sıcaklık, Rüzgâr hızı, Yağış, Basınç
Vijai ve Sivakumar / 2018	Avrupa Bölgesi	Saatlik Günlük	YSA, En küçük kareler DVM, Ekstrem öğrenme makinelere	Su tüketimi, Sıcaklık, Nem, Nüfus, Rüzgâr hızı
Gagliardi vd. / 2017	İngiltere- Yorkshire	Saatlik	Markov Zinciri	Su talebi
Bakker vd. / 2014	Hollanda- 6 Bölgesi	Günlük	Uyarlanabilir Sezgisel Model, Sönümsüz transfer model, ÇDR	Su talebi, Sıcaklık

Avrupa kıtasında yapılan araştırmalar, Tablo 2.2' de gösterilmiştir. Yapılan araştırmaların tamamı kısa dönem su tahminlemesi için yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak değişkeni su tüketimidir. Çalışmalarda daha çok yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır.

Tablo 2.3. Asya Kıtasında Yapılan Çalışmalar

Yazar / Yıl	Ülke	Periyot	Metodoloji	Değişkenler
Zubaidi vd. / 2020	Irak-Bağdat	Aylık	Otoregresif	Su Tüketimi
Vijayalaksmi ve Babu / 2015	Hindistan-Hogenakkal	Günlük	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım	Su talebi,
Jain vd. / 2001	Hindistan-Teknoloji Enstitüsü	Haftalık	YSA, Zaman Serisi, Çoklu Doğrusal Regresyon	Su tüketimi, Yağış, Sıcaklık
Huang vd. / 2014	Çin -Dalian	Yıllık	Dalgacık Dönüşümü, Kernel Parçalı En Küçük Kareler	Yıllık su tüketimi
Li ve Huicheng / 2010	Çin -Dalian	Yıllık	Bulanık Sinir Ağları, ÇDR	Nüfus, GSYİH, Yeşil alan, Sıcaklık, Su tüketimi
Liu vd. / 2003	Çin-Weinan	Günlük	YSA	Su fiyatı, Evin alanı, Su tüketimi, Evin geliri
Nasseri vd. / 2011	İran-Tahran	Aylık	Kalman Filtresi, Genetik Programlama	Aylık su tüketimi

Asya kıtasında yapılan araştırmalar, Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Çalışmalarda uzun dönemli tahminlemeler de yapılmış; ancak genel olarak kısa dönem tahminlemeler yapılmıştır. Daha çok yapay sinir ağları metodu kullanılmıştır. Su tüketim verisi tüm çalışmalarda ortak değişken olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.4. Diğer Bölgelerde Yapılan Araştırmalar

Yazar / Yıl	Ülke	Periyot	Metodoloji	Değişkenler
Boudhaouia ve Wira / 2021	Belirli Bölge Yok	Saatlik	Kısa Uzun Dönem Hafıza, Geri Yayılım Sinir Ağları	Su tüketimi
Muhammad vd. / 2019	Belirli Bölge Yok	Kısa- Uzun Dönem	YSA, Bulanık Ağ, Destek Vektör Makinesi, ARIMA	Su tüketimi, Sıcaklık, Yağış, Nüfus, Rüzgâr hızı
Ghalekhondabi vd. / 2017	Belirli Bölge Yok	Kısa- Uzun Dönem	YSA, Bulanık Ağ, Destek Vektör Makinesi, ARIMA	Su tüketimi, Sıcaklık, Yağış
Msiza vd. / 2008	Güney Afrika- Gauteng	Günlük	YSA, Destek Vektör Regresyonu	Su Talebi, Yıllık tahmini popülasyon
Zhou vd. / 2000	Avusturalya- Melbourne	Günlük	Zaman Serisi Model	Su tüketimi, Maksimum sıcaklık, Yağış, Buharlaşma

Diğer bölgelerde yapılan araştırmalar, Tablo 2.4'te gösterilmiştir. Çalışmalarda yapay sinir ağları metodu en kullanılan yöntemdir. Muhammed vd. (2019) ve Ghalekhondabi vd. (2017) yaptığı çalışmalar literatür taraması olduğundan dolayı belirli bir bölge üzerinde durulmamıştır. Boudhaouia ve Wira (2021) ise, akıllı sayaçlar üzerinden çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu yüzden belirli bir bölgeye dayalı bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan araştırmalar ağırlıklı olarak kısa dönem su tüketimi tahminlemeye odaklanmaktadır.

Tablo 2.5. Türkiye’de Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

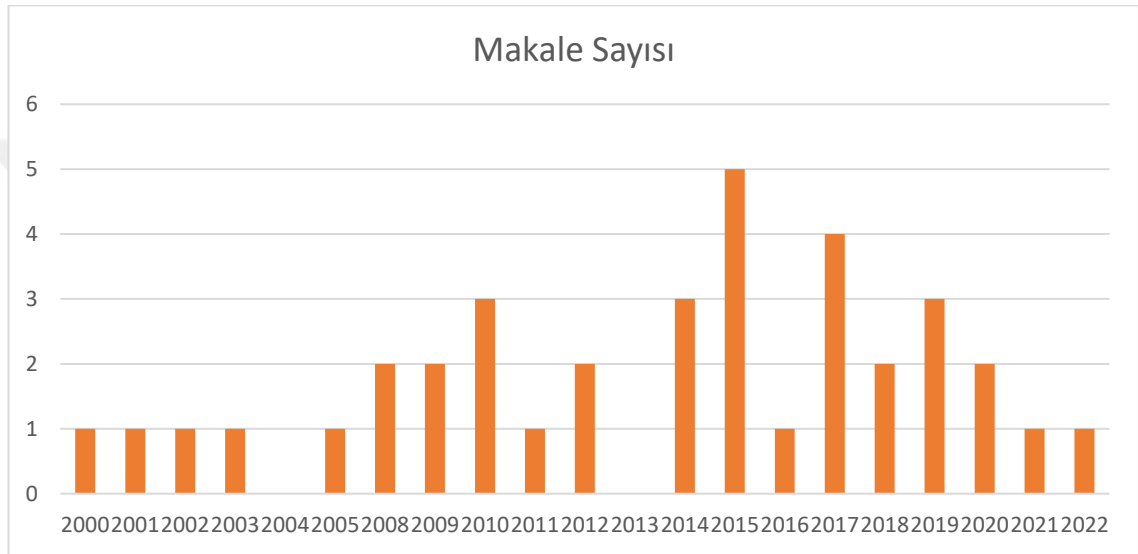
Yazar / Yıl	Ülke	Periyot	Metodoloji	Değişkenler
Yalçıntaş vd. / 2015	Türkiye-İstanbul	Günlük-Aylık	ARIMA	Su talebi, Sağlanan Su
Yaşar vd. / 2012	Türkiye-Adana	Aylık	Stepwise- Çoklu Regresyon	Ortalama fatura, toplam abone, sıcaklık, nem yağış, rüzgâr hızı
Fırat vd. / 2009	Türkiye-İzmir	Aylık	YSA	Su faturası, Nüfus, Ortalama sıcaklık, GSYİH
Yurdusev ve Fırat / 2009	Türkiye-İzmir	Aylık	Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık	Aylık su faturası, Nüfus, Hane sayısı, Enflasyon, GSYİH
Altunkaynak vd. / 2005	Türkiye-İstanbul	Aylık	Bulanık Mantık	Su talebi
Adamowski ve Karapataki / 2010	Kıbrıs-Lefkoşa	Haftalık	MLR, Esnek Geri Yayılım, Levenberg-Marquardt	Su tüketimi, Maksimum Sıcaklık, Toplam Yağış

Sciencedirect ve Web of Science veri tabanlarından bulunan Türkiye’de su tüketim tahminlemesi üzerine 6 makale bulunmuştur. Türkiye’de konu ile ilgili yapılan çalışmalar, Tablo 2.5’te gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar kısa dönem aylık, günlük ve haftalıktır. Seçilen şehirler genel olarak büyük şehirlerdir. Su talebi ve aylık su faturası sık kullanılan değişkenlerdir. Farklı yöntemler kullanılarak şehirlerdeki su tahminlemesi yapılmıştır.

Farklı kıtalarda, ülkelerde ve şehirlerde yapılan bu çalışmalar şunu gösteriyor ki, istatistiksel metotlar yerine daha gelişmiş sistemler olan makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları metotları kullanılmıştır. Çalışmalarda genel olarak su tüketim, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak kısa dönem tahminlemeler yapılmıştır. Makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları istatistiksel metotlara göre daha gerçeğe yakın sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

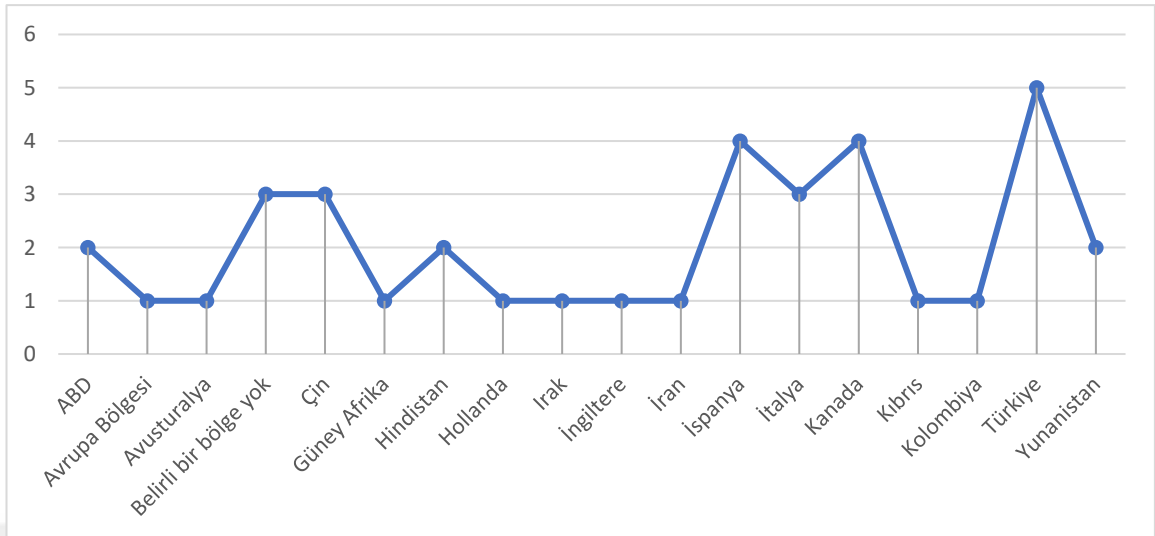
2.2. LİTERATÜR ANALİZİ

Su tüketimi tahminlemesi üzerine literatürde geçmişten günümüze kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak, şehirlerin kısa dönem su tüketimi tahminlemesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar analiz edildiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır.



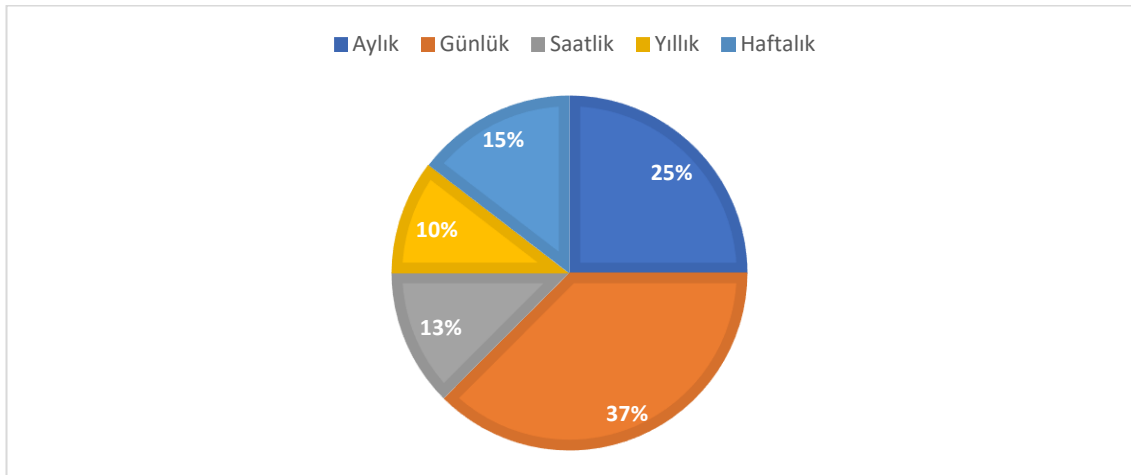
Şekil 2.1. Yıllara Göre Yazılan Makale Sayıları

Yıllara göre yazılan makale sayıları, Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, en çok su tüketimi tahminlemesi üzerine makale 2015 yılında yazıldığı, 2004 ve 2013 yıllarında hiç makale yazılmadığı görülmektedir.



Şekil 2.2. Ülkelere Göre Yazılan Makale Sayısı

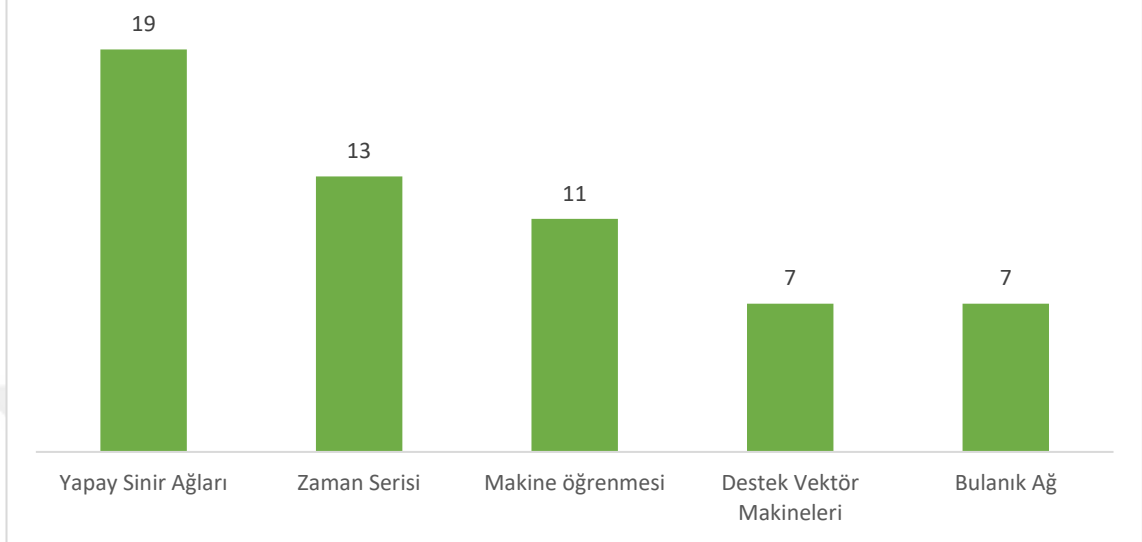
Su tüketimi tahminlemesi üzerine yazılan makalelerin ülkelere göre dağılımı Şekil 2.2'deki grafikte gösterilmiştir. En çok makale Türkiye'nin şehirleri üzerine yazılmıştır. Onu Kanada ve İspanya şehirleri için yapılan tahminleme 4'er makale takip etmektedir. Belirli bir bölge üzerine yazılmayan literatür taraması olan 2 makale ve akıllı sayaçlarla yapılan tahminleme üzerine olan 1 makale, Çin ve İtalya için 3'er makale yer almaktadır.



Şekil 2.3. Tahmin Periyoduna Göre Yazılan Makalelerin Yüzdelik Dağılımı

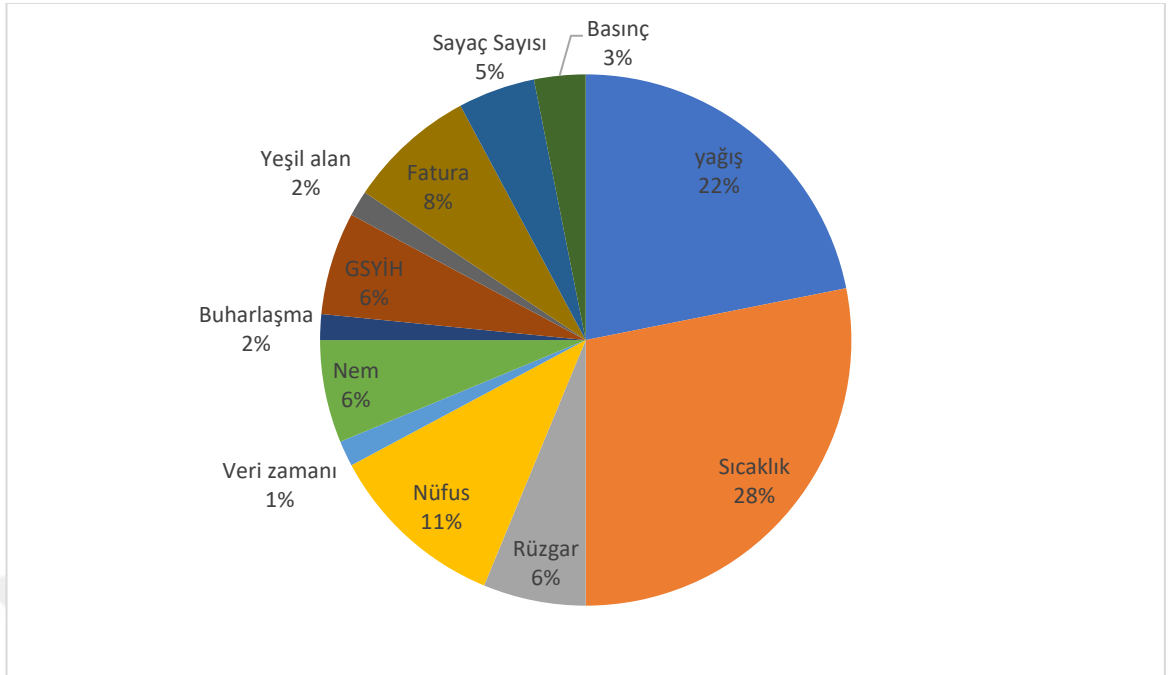
Yapılan araştırmaların tahminlerin periyodunu gösteren grafik Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Çalışmaların %37 ile en yüksek orana sahip günlük su tüketimi

tahminlemesi yer almaktadır. Onu %25 ile aylık su ihtiyacı tahminlemesi üzerine yazılan makaleler takip etmektedir. Çalışmaların %10'unda yıllık su tüketimi tahminlemesi yapılmıştır.



Şekil 2.4. Kullanılan Yöntemlere Göre Makale Sayısı

Çalışmaların kullanılan yöntemlere göre makale sayıları, Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Araştırmalarda birden fazla yöntem kullanılarak birbirleriyle sonuçları kıyaslanmıştır. En sık kullanılan yöntem yapay sinir ağları ve bu metottan türeyen yöntemlerdir. Zaman serisi ve makine öğrenmesi yöntemleri birbirlerine yakın sayıda makalelerde kullanılmıştır. Destek vektör makineleri ve bulanık ağ yöntemleri ise, 7 farklı makalede kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Kullanılan Değişkenlere Göre Makale Sayısı

Çalışmaların bağımsız değişkenleri Şekil 2.5'te verilmiştir. Su tüketimi tahminlemesi yapılabilmesi için su tüketim verisi tüm makalelerde ortaktır. Tüm makaleler arasında en sık kullanılan veri %28'lik paya sahip olan sıcaklık değişkenidir. %22'lik paya sahip olan yağış verisi de ikinci olarak en sık kullanılan değişkendir. Veri zamanı, buharlaşma, yeşil alan gibi veriler makalelerde çok sık kullanılmamıştır. Verilerin zor ulaşılması ya da kullanılan modellere uygunluğu olmayışı bu verilerin kullanılmamasını gerektirmiş olabilir. Su tüketimi verisi kullanılmayan makalelerde fatura verileri kullanılarak su tahminlemesi yapılmıştır.

Yapılan çalışmaların analizleri bazı noktalarda çalışmaları birleştirmektedir. Yapay sinir ağları metoduyla su tüketimi verileriyle günlük su tüketimi tahminlemesi yapılması literatürde sıkça karşılaşılan yöntemdir. Çalışmalara yağış, sıcaklık verileri de eklenerek tahminlemelerde bulunulmuştur. Yapay sinir ağları kullanılarak su tüketim tahminlemesi yapılan çalışmalar detaylı olarak izleyen bölümde ele alınmıştır.

2.3. YAPAY SİNİR AĞLARIYLA SU TÜKETİMİ TAHMİNLEMESİ YAPAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada incelenen makaleler Sciencedirect ve Web of Science veri tabanından su tüketimi tahminlemesi, su tahminlemesi, su talebi tahminlemesi ve yapay sinir ağlarıyla su tüketim tahminlemesi anahtar kelimeleri kullanılarak bulunmuştur.

Yapay sinir ağları insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir. Yapılan çalışmalarda ise en sık kullanılan yöntemdir. Araştırmalarda birden çok yöntem kullanılarak sonuçları birbirleriyle kıyaslanarak en iyi sonuç veren yöntem ortaya çıkarılmıştır. Jain vd. (2001) Hindistanda Kanpur'da bulunan Hindistan teknoloji enstitüsünde yaptığı haftalık su tahminlemesi için yapay sinir ağları, regresyon analizi ve zaman serisi metotlarıyla çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonucunda ortalama bağıl hata değeri en düşük olan ve determinasyon katsayısı (R^2) değeri en yüksek olan yöntemin yapay sinir ağları olduğunu bulmuştur. Yapay sinir ağları metoduyla en iyi sonuca ulaştığını bu çalışmaları sonucunda ispatlamıştır.

Jain ve Ormsbee (2002) geleneksel modelleme tekniği olan regresyon ve zaman analizi yöntemi ve yapay zekâ tekniği olan yapay sinir ağları ve uzman sistem modellemeleri ABD Lexington şehrinin su tüketimi, sıcaklık ve yağış verileriyle günlük su tahminlemesi yapmak için kullanmıştır. Ortalama bağıl hata ve eşik değer performans ölçütlerine göre yeni yapay zekâ teknikleri geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi performans göstermişler ve daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Liu vd. (2003) Çin Weinan'da günlük su tahminlemesi için yaptığı çalışmada su fiyatı, hanenin geliri, hane büyüklüğü ve aylık su tüketimi gibi bağımsız değişkenler kullanarak yapay sinir ağları modelini kullanmıştır. Korelasyon katsayısının, belirlilik katsayısının (R^2), artık değer performans ölçütlerinin tahminleme için yeterince doğru sonuçlar verdiğini bulmuştur.

Adamowski (2008) Kanada'nın Ottawa şehrinde günlük en yüksek su ihtiyacını tahminlerken yapay sinir ağları yönteminin zaman serisi analizi ve çoklu doğrusal regresyon yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Msiza vd. (2008) Güney Afrika'da Gauteng şehrinde yaptığı günlük su tahminleme

çalışmasında, yapay sinir ağları ve destek vektör regresyonu yöntemlerini kullanmıştır. Sonuçları birbirleriyle kıyasladığında yapay sinir ağları yönteminin daha iyi sonuç verdiğini görmüştür. Yurdusev ve Fırat (2009) İzmir için uyarlamalı sinirsel bulanık mantık yöntemiyle yaptığı çalışmayı bir bağımsız değişken ve birden fazla bağımsız değişken çalıştırarak sonuçları kendi içerisinde karşılaştırmışlardır. Birden fazla bağımsız değişken ile daha etkili tahminle yapılabildiğini bulmuşlardır. Fırat vd. (2009) İzmir için yaptığı çalışmada aylık su tüketimi tahminlemesi için çeşitli yapay sinir ağları yöntemleri uygulamıştır. Aylık su faturası, nüfus ve aylık ortalama sıcaklık değişkenleriyle oluşturduğu genelleştirilmiş regresyon sinir ağı metoduyla en iyi tahminleme sonucuna ulaşmıştır.

Li ve Huicheng (2010) Dalian kentinde yıllık su tüketimi tahminlemesi için çoklu doğrusal regresyon ve bulanık sinir ağları metotlarıyla gerçeğe yakın sonuç elde edildiğini göstermiştir. Adamowski vd. (2012) Montreal şehri verileriyle yaptığı çalışmada günlük su ihtiyacını tahminlemesi için ayrık dalgacık dönüşümü ve yapay sinir ağları yöntemini birleştirerek hibrit bir metotla tahminlemelerde hatanın teriminin en az çıktığı başarılı bir yöntem elde etmiştir. Walker vd. (2015) Yunanistan'da i-Widget projesi için yaptığı çalışmada akıllı sayaçlarla aldığı saatlik su tüketim verileriyle haftalık su tahminlemesi yapmıştır. Kurduğu yapay sinir ağları modellemesi normal durumlarda tahminleme yaparken en yüksek tüketim durumunda, tahminlemelerin gerçek değerlerden uzak olduğunu bulmuştur.

Ghalekhondabi vd. (2017) yaptığı literatür taraması çalışmasında yapay zekâ hesaplama yöntemlerinin su tahminlemesinde kullanıldığı çalışmaları ele almıştır. Bulguları ideal algoritmanın kullanım amacına göre değişebileceğini vurgulamaktadır. Anele vd. (2017) İspanya'nın bir şehrine dair saatlik su dağıtımını etkililiğini artırmayı hedeflemiştir. Kullandığı yöntemler arasında tahmin yeterliliği açısından otoregresif hareketli ortalamalar daha iyi sonuçlar verdiğini saptamıştır. Vijai ve Sivakumar (2018) Avrupa bölgesinde çeşitli sektörlerin su tüketimi tahminlemesi için nesnelerin interneti (IoT) vericileriyle anlık olarak topladığı sıcaklık, nem, su tüketimi, rüzgâr yönü ve hızı, nüfus verilerini kullanarak yapay sinir ağları yönteminin daha sağlıklı sonuç verdiğini hesaplamıştır. Muhammad

vd. (2019) yaptığı derleme çalışmasında çoğu çalışmanın dalgacık dönüşümü algoritması üzerinde durduğunu bulmuştur. Bunun nedeninin algoritmanın farklı frekans bandındaki ve çözünürlükteki sinyalleri ayrıştırırken, manipüle ederken ve analiz ederken gürültü giderme yeteneğinden kaynaklandığını belirtmiştir. Hao vd. (2022) İtalya'nın Milan şehri su tahminlemesi için beş farklı yöntemi kullanarak farklı sonuçlar elde etmiştir. Günlük tahminlemelerde yapay sinir ağları metodu, haftalık tahminlemelerde dalgalı uzun kısa süreli bellek yönteminin etkili sonuç verdiğini bulmuştur.

Yapay sinir ağları yönteminin kullanılarak su tüketim tahminlemesi yapılan çalışmaların özet hali Tablo 2.6'da verilmiştir.



Tablo 2.6. Yapay Sinir Ağları Kullanarak Su Tüketim Tahminlemesi Yapılan Çalışmalar

Yazar/Yıl	Şehir	Periyot	Yöntem	Değişkenler	Performans Ölçütü	Sonuç
Jain vd. / 2001	Hindistan,Kanpur	Haftalık	YSA, Çoklu Doğrusal Regresyon, Zaman Serisi	Su tüketimi, yağış, maksimum sıcaklık	Eşik Değer, Bağlı Hata	Yapay sinir ağları en iyi sonuç veren yöntemdir.
Jain ve Ormsbee / 2002	ABD-Lexington	Günlük	YSA, Yapay Zekâ, Uzman Sistem, Regresyon	Su tüketimi, Yağış, Maksimum Sıcaklık	Ortalama Bağlı Hata, Eşik Değer	Yapay zekâ yöntemlerinin geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini bulmuştur.
Liu vd. / 2003	Çin- Weinan	Günlük	YSA	Su fiyatı, Evin alanı, Su tüketimi, Evin geliri	Korelasyon katsayısı, R^2 , Artık Değer	Yapay sinir ağları metodu tahminleme için uygun bir yöntem olduğunu bulmuştur.
Adamowski / 2008	Kanada- Ottawa	Günlük	YSA, Çoklu Doğrusal Regresyon, Zaman serisi analizi	Maksimum su tüketimi, Sıcaklık, Yağış	Ortalama Bağlı Hata, R^2	Yapay sinir ağlarının diğer yöntemlere göre tahminlemede sonuçlarının daha iyi çıktığını bulmuştur.
Msiza vd. / 2008	Güney Afrika- Gauteng	Günlük	YSA, Destek Vektör Regresyonu	Su Talebi, Yıllık tahmini popülasyon	Yüzde Doğruluk, Hata	Yapay sinir ağları metodu destek vektör regresyonundan daha iyi performans göstermiştir.
Yurdusev ve Fırat / 2009	Türkiye- İzmir	Aylık	Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık	Aylık su faturası, Nüfus, Hane sayısı, Enflasyon, GSYİH	Korelasyon katsayısı, Verimlilik, Karekök Ortalama Hata Karesi (RMSE)	Tek bir girdiyle yapılan tahminlemeye göre birden fazla girdi verisiyle daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
Fırat vd. / 2009	Türkiye- İzmir	Aylık	YSA	Su faturası, Nüfus, Ortalama sıcaklık, GSYİH	Korelasyon katsayısı, Verimlilik, RMSE	Birden fazla YSA yöntemi arasından genelleştirilmiş regresyon yönteminin daha iyi sonuç verdiğini bulmuştur.
Li ve Huicheng / 2010	Çin -Dalian	Yıllık	Bulanık Sinir Ağları, MLR	Nüfus, GSYİH, Yeşil alan, Sıcaklık, Su tüketimi	Ortalama Bağlı Hata	Verileri ön işleminden geçirerek farklı model kombinasyonlarıyla etkili sonuçlar bulmuştur.

Tablo 2.6. (devam)

Yazar / Yıl	Şehir	Periyot	Yöntem	Değişkenler	Performans Ölçütü	Sonuç
Adamowski vd. / 2012	Kanada-Montreal	Günlük	Dalgali yapay sinir ağıları, ARIMA, YSA, Çoklu Doğrusal Regresyon	Su talebi, Yağış, Sıcaklık	R^2 , RMSE, Verimlilik	Hibrit bir model oluşturarak diğer metotlar daha iyi bir sonuç elde etmiştir.
Walker vd. / 2015	Yunanistan-İWIDGET Projesi	Haftalık	İstatistiksel Metot, YSA	Haftalık su tüketimi	Korelasyon	Kurulan model çok yüksek tüketimlerde doğru sonuç vermeyerek başarısız olmuştur.
Ghalekhondabi vd. / 2017	Belirli Bölge Yok	Kısa-Uzun Dönem	YSA, Bulanık Ağ, Destek Vektör Makinesi, ARIMA	Su tüketimi, Sıcaklık, Yağış	Bağıl Hata, Hız, Verimlilik	Kullanım amacına göre en iyi modelin değiştiğini bulmuştur.
Anele vd. / 2017	İspanya- Bir şehir	Saatlik	Zaman Serisi, YSA, Regresyon, Hibrit model	Günlük ortalama su tüketimi	RMSE, Mutlak Ortalama Yüzde Hata (MAPE)	Otoregresif hareketli ortalamalar modelinin daha iyi sonuç verdiğini bulmuştur.
Vijai ve Sivakumar / 2018	Avrupa Bölgesi	Saatlik-Günlük	YSA, En küçük kareler DVM, Ekstrem öğrenme makineleri	Su tüketimi, Sıcaklık, Nem, Nüfus, Rüzgâr hızı	RMSE, MSE, R^2 , Hesaplama Hızı	Yapay sinir ağıları daha iyi sonuç vermesine karşın, en küçük kareler metodunun daha hızlı tahminleme yaptığını bulmuştur.
Muhammad vd. / 2019	Belirli Bölge Yok	Kısa-Uzun Dönem	YSA, Bulanık Ağ, Destek Vektör Makinesi, ARIMA	Su tüketimi, Sıcaklık, Yağış, Nüfus, Rüzgâr hızı	RMSE, MSE, MAPE, Ortalama Mutlak Hata (MAE)	Yaptığı derleme çalışmasında dalgacık dönüşüm algoritmasının iyi performans gösterdiğini belirtmiştir.
Hao vd. / 2022	İtalya- Milano	Günlük Haftalık	ARIMA, YSA, ML, Sönümsüz transfer model, Dalgacık serisi	Su tüketimi, Ortalama sıcaklık, Maksimum sıcaklık, Yağış	RMSE, MAPE, R^2 , MAE	Günlük tahminleme için YSA, haftalık tahminlemeler için dalgali uzun kısa bellek metodu daha etkili olmuştur.

3. BÖLÜM

SU TÜKETİM TAHMİNLEME MODELLEMESİ

Su tüketimi tahminlemesi modellemesinin amacı gelecekteki su tüketimini mümkün olan en az hata ile öngörmeye çalışmaktır. Modelin kurulabilmesi için öncelikle değişkenler belirlenecek ve sonra veri seti oluşturulacaktır. Oluşturulan veri seti filtreleme yöntemiyle dalgalanmalarından arındırılarak en uygun tahminleme yöntemine sokularak gelecekteki tüketim miktarı bulunacaktır.

3.1. DEĞİŞKENLER

Su tüketimini etkileyen çok fazla değişken olmasına karşın etkin bazı faktörlerle kısıtlanabilmektedir. Nüfus su tüketiminde en önemli etkenlerden biridir. Nüfus arttıkça tüketilen su miktarı artmaktadır. Buna bağlı olarak nüfus bir değişken olarak kullanılmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık da su tüketimini, baraj doluluğunu ve yağışları doğrudan etkileyeceğinden dolayı sıklıkla bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Şehirlerin üretim, endüstriyel ve ticari tesis sayısı ve büyüklüğü gelişmişlik seviyesi olarak ölçülebilir. Gelişmişlik seviyesi de ülkenin ihracat miktarına bakılarak belirlenebilmektedir. Tarım ürünleri de su tüketimini doğrudan etkilemektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2022 yılı verilerine göre Türkiye'de gıda sektörünün toplam ihracattaki payı %43'tür (TÜİK, 2023). İhracatın artması ülkedeki üretimin de artacağını bir başka deyişle üretimde ve imalata sanayisinde su tüketiminin artacağını göstermektedir. Bu yüzden ihracat üçüncü değişken olarak belirlenmiştir. Gayri safi yurt içi hasıla gelişmişlik seviyesini göstermesine karşın, kişi başına ve Türk Lirası verilmesinden dolayı değişken olarak modelde kullanılmamıştır. Ayrıca gayri safi yurt içi hasıla verilerinin gelecek yıllar için güvenilir olmaması, bu değişkenin kullanılmamasında etkili olmuştur. Literatürde yağış değişkeni de sıklıkla kullanılmaktadır. Güncel ve tahmini gelecek yağış verilerine ulaşılma gücü bu değişkenin kullanılmamasında etkili olmuştur.

Modelde kullanılan sıcaklık, ihracat, nüfus ve su tüketim değişkenleri su tüketimini etkileyen faktörleri kapsamaktadır.

Bu çalışmada kullanılacak semboller ve açıklamaları, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama
ST	Su Tüketimi
N	Nüfus
IH	İhracat
S	Sıcaklık
ST ^T	Su Tüketimi Eğilim Bileşeni
ST ^C	Su Tüketimi Devresel Hareket Bileşeni
YSA	Yapay Sinir Ağları
ÇDR	Çoklu Doğrusal Regresyon
HP Filtreleme	Hodrick-Prescott Filtreleme

Literatürde çeşitli değişkenler kullanılarak farklı modeller kurulmuştur. Ancak, verilerin ulaşılabilirliği ve seçilen değişkenlerin kapsayıcılığından modelleme dört değişken ile kurulmuştur. Su tüketimi (ST) nüfus (N), ihracat (IH) ve ortalama sıcaklık (S) değişkenlerine bağlı olarak belirlenmiştir.

$$ST = f(N, IH, S) \quad (3.1)$$

3.2. VERİ SETİ

Türkiye kuzey yarım kürede yer alan 3 tarafı denizlerle çevrili bir yarımada ülkesidir. Gelişmekte olan ülke, çeşitli iklim tiplerinin görüldüğü, ticaretin gelişmekte olduğu bir ülkedir. Su kaynakları ve yağışların bol olduğu ülkede nüfusun artması, su kaynaklarının kirletilmesi ve küresel ısınmayla yağışların azalmasından kaynaklı su temini eskiye oranla zorlaşmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle günümüzde veriler daha kolay kayıt altında tutulmakta ve elde edilmektedir. Nüfusa sayımı eski dönemlerde uzun aralıklarla yapılmaktaydı. 2000 yılından önce en son nüfus sayımı 1990 yılında yapılmıştır. Su tüketimine ait veriler 2001 yılından önce 1998 yılında oluşturulmuştur. Nüfusa ait veriler Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınarak kullanılmıştır. Ancak 2007 yılı öncesinde en son nüfus sayımı 2000 yılında yapılmasından kaynaklı 2001 ile 2006 yılları arasındaki veriler bulunmamaktadır. Bu veriler, ağırlıklı ortalama alınarak oluşturularak modelin doğru şekilde çalışması sağlanmıştır. İhracat miktarı yine, Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden Amerikan doları (USD) bazında alınarak modelde işlem görmüştür. Türkiye'nin ortalama sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmi internet sitesinden alınmıştır. (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022). Su tüketimine ait veriler Türkiye İstatistik Kurumu'nun Türkiye'deki belediyelerden şehirlere sağlanan su veri tabanından alınmıştır. Zaman serisi veri seti oluşturulabilmesi için eksik veriler ağırlıklı ortalama ile tamamlanmıştır. Bu çalışmada 2001 ile 2021 yılları arasındaki verilere ulaşarak onlar üzerinden testler yapılmıştır. Modelde bu veriler kullanılarak gelecek su tüketim tahminlemesi yapılmıştır.

Türkiye'de 2001, 2007-2008, 2013-2014 yıllarında geniş alanlarda ve şiddetli kuraklık yaşanmıştır (Kurnaz, 2014). Yıllık ortalama yağış miktarları düşük ve yaz ayları aşırı sıcak geçmesi bu dönemlerin kurak geçtiğinin göstergesidir. Özellikle 2007-2008 senesinde yaşanan kuraklıktan dolayı Kızılırmak ve Melen su kaynaklarından büyük şehirlerdeki barajlara su aktarımı sağlanmıştır. Kurak geçen bu dönemlerde yağışların az olması barajlardaki su seviyelerinin düşmesine neden olmuştur. Bu nedenle devlet su tüketimini kontrol altına alacak çeşitli önlemler almıştır. 2007 senesinde Ankara ve İstanbul'da (Haberler, 2007), 2014 senesinde Isparta'da (Cumhuriyet, 2014), 2020 senesinde Çanakkale'de (Takvim, 2020) hortumla halı ve araba yıkamak yasaklanmıştır. Bu tedbirlerle şehirlerde su tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır.

3.3. YÖNTEM

2001 ve 2021 yıllarına ait zaman serisi veri seti dalgalanmalarından arındırılarak durağan hale getirilecektir. Verileri durağan hale getirmek için HP filtreleme, Baxter-King filtresi, Christiano-Fitzgerald filtresi, Beveridge-Nelson ayrışması gibi çeşitli filtreleme yöntemleri kullanarak eğilim ve döngüsel bileşenler elde edilebilir. Bu çalışmada yaygın kullanımı ve hesaplama kolaylığından dolayı, filtreleme işlemi HP filtreleme metoduyla uzun dönem eğilimi elde edilecektir. Ortaya çıkan eğilim ve devresel hareket (döngüsel) bileşenleri çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile tahminlemeye sokulacaktır. Farklı kombinasyonlar denenerek en iyi tahminleme sonucu elde edilmeye çalışılacaktır.

3.3.1. HP Filtreleme

Hodrick-Prescott (1997) filtreleme, herhangi bir zaman serisinin uzun dönem eğilimini elde etmede kullanılan bir düzleştirme yöntemidir. Bu yöntem ile zaman serisi veri seti dalgalanmalarından arındırılarak durağan hale getirilir. Veri setinden uzun dönem eğilim elde edilerek uzun dönem tahminlemeler için kullanılır. Hodrick-Prescott filtreleme metodu öncelikle ham verilere uygulanır. Yöntem uygulandıktan sonra döngüsel etkilerden uzaklaşarak zaman serisi eğilim (trend) ve devresel hareket bileşeni (cycle) şeklinde ayrışır. Devresel hareket bileşeni veri setindeki döngüsellliği simgelemektedir. Döngüsellikten arındırılan veri durağan hale getirilerek eğilim bileşenini oluşturmaktadır. Amacı eğilim oluşturmak değil, oluşturulan doğrusal olmayan eğilimi ve devresel hareket bileşen serilerini ortaya çıkarmaktır.

Su tüketimi için eğilim bileşeni ST^T , devresel hareket bileşeni ST^C olarak ayrılmıştır.

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^N (ST_t - ST_t^T)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{N-1} [(ST_{t+1}^T - ST_t^T) - (ST_t^T - ST_{t-1}^T)]^2 \right\} \quad (3.2)$$

N örneklem büyüklüğünü göstermektedir. λ düzgünleştirme parametresidir ve sıfırdan büyüktür. Bu parametre eğilimdeki devingenlik cezalandırmakta ve bu yüzden en aza indirmektedir.

$$ST^C = ST - ST^T \quad (3.3)$$

Devresel hareket bileşeni toplamdan eğilim bileşeninin çıkarılmasıyla bulunur. Bu yüzden eğilim bileşen ne kadar büyük olursa diğer bileşen o kadar küçük olur. λ değeri büyüdükçe ceza artmaktadır.

3.3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon

Regresyon analizi değişkenler ve sonuç arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya çıkarmaya yaramaktadır. Çoklu doğrusal regresyon ise birden fazla değişkenin sonuç ile doğrusal ilişkisi belirlenerek tahminleme yapılmasını sağlar.

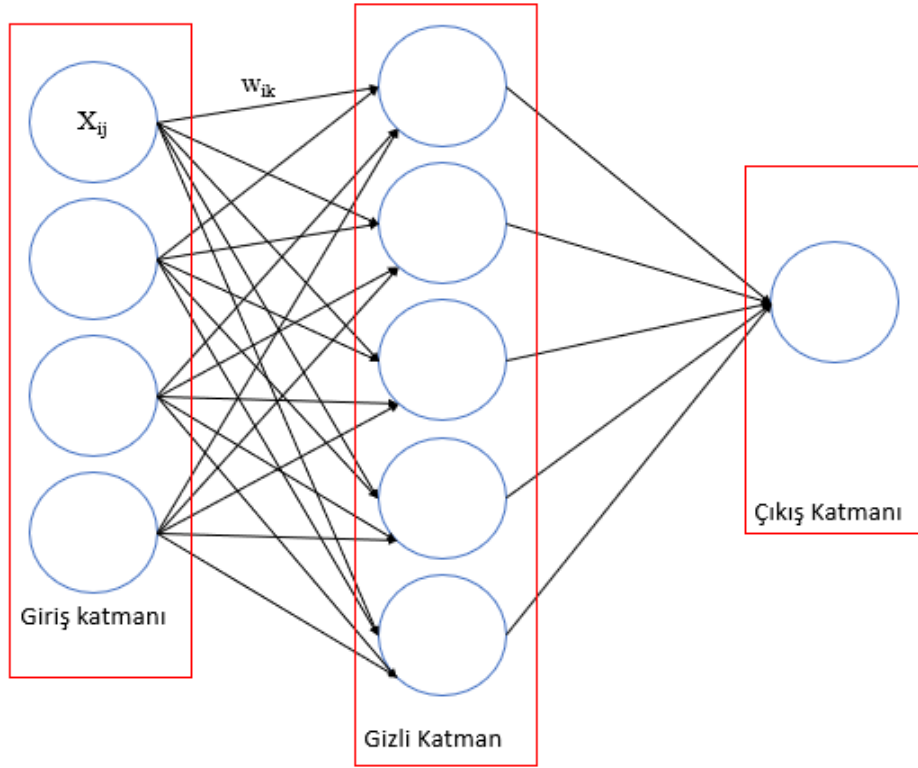
$$ST = c_0 + c_1N + c_2IH + c_3S \quad (3.4)$$

Su tüketimi için her bir değişkenin katkısı c_1 , c_2 ve c_3 olarak, c_0 ise sabit sayı olarak denklemde simgelenmektedir. Regresyon analizi sonucunda katsayı ve sabit sayı belirlenerek eğilim ve devresel hareket bileşenleri zaman serilerine göre hesaplanarak tahminleme yapılacaktır.

3.3.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme, hatırlama, genelleme yapma yolu ile taklit ederek topladığı verilerden yeni veri üreten bilgisayar yazılımlarıdır (Öztürk ve Şahin, 2018). Öğrenme işlemini matematiksel modellemeyle yaparak, girdi ve çıktı verileri arasında kurallarını oluşturur. Bu kuralla tahminleme yapılmasına

olarak sağlar. Genel olarak yapısı üç katmandan oluşur. Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır.

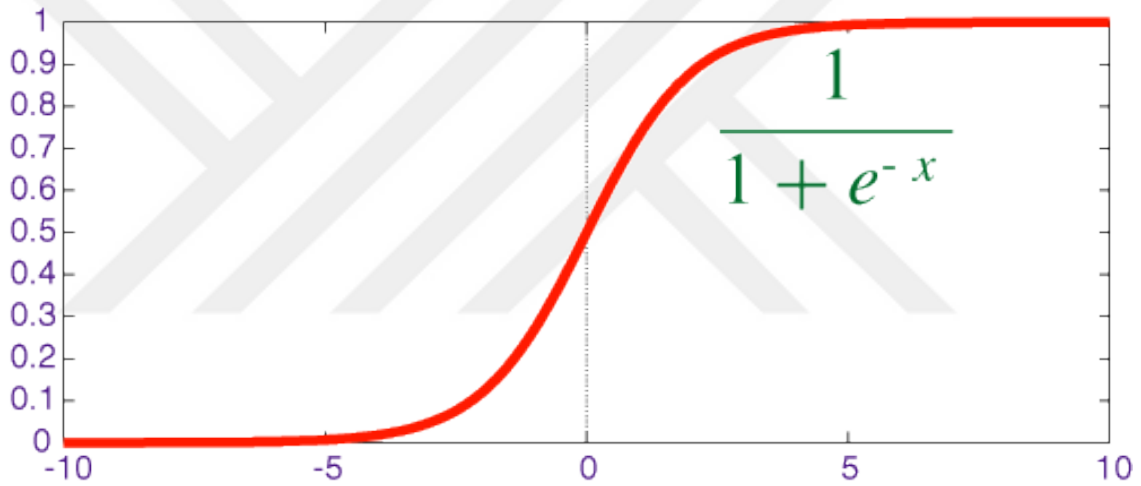


Kaynak: Kabalcı, 2014

Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağı Mimarisi

Yapay sinir ağları mimarisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Girdiler dış dünyadan gelen ve giriş katmanında yer alan bilgilerdir. Girdiler X_{ij} ile gösterilmiştir. Bu girdilere ağırlıklar atanır ve bu ağırlıklarla çarpılarak gizli katmana aktarılır. Ağırlıklar w_{ik} ile gösterilmiştir. Yapay sinir ağlarında girdilerin doğru çıktıları üretebilmesi için ağırlıkların doğru değerde olması gerekmektedir ve doğru ağırlıkların bulunması işlemine ağırlık eğitimi denmektedir (Öztemel, 2003). Toplama ya da birleştirme fonksiyonu ise giriş katmanından gelen verileri gizli katmanda toplamaya yarar. Genel olarak ağırlıklar ile girdilerin çarpımının toplamı kullanılır. Gizli katmana gelen girdi aktivasyon fonksiyonuyla işlenir. Aktivasyon formülü gizli katmana gelen girdilerin işlenerek nasıl çıkması gerektiğini belirler. Bir başka deyişle, aktivasyon formülü ağırlık ve girdiyle çarpılarak elde edilen doğrusal bağlamın,

daha karmaşık bir hale gelerek öğrenme derinliğini artırmaktadır. Doğrusal olmayan ve kolay türevlenebilir bir fonksiyon seçilir. Bunun sebebi ise, geriye doğru öğrenme yapılırken türev alınmasıdır. Genel olarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılır. Sigmoid fonksiyonları lojistik fonksiyonlara benzeyen, x 'in küçük (tipik olarak -5'den küçük) değerleri için y 'nin 0, x 'in büyük (tipik olarak +5'den büyük) değerleri için de 1 değerini aldığı ve y 'deki değişimin monotonik ve çok hızlı gerçekleştiği fonksiyonlardır. Fonksiyonda y 'nin değişim bölgesi x 'teki çok küçük değişimlere çok büyük tepki verdiği için hesap hassasiyeti sağlamaktadır. Sigmoid fonksiyonu ve fonksiyonun grafiği Şekil 3.2 verilmiştir. Ayrıca sigmoid fonksiyonun türevinin kolay alınıyor olması bu fonksiyonun tercih edilmesine sebep olmaktadır. Çıktı katmanına ilerleyen veriler bir sonuç verir.

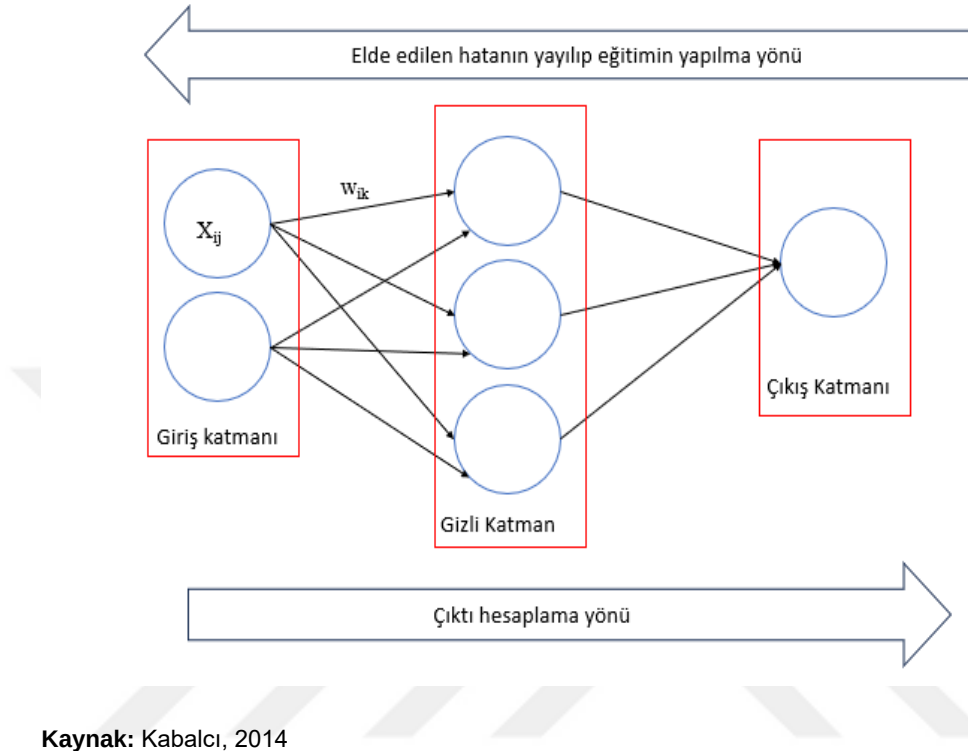


Kaynak: Mayers, 2020

Şekil 3.2. Sigmoid Fonksiyonu ve Fonksiyonun Grafiği

Yapay sinir ağlarının bir çeşidi olan geri beslemeli yapay sinir ağlarında geri yayılım algoritması kullanılır. Geri beslemeli sinir ağlarında bir nöronun çıktısı sadece kendinden sonra gelen nörona çıktı olarak verilmez, kendinden önceki katmanda bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir (Öztürk ve Şahin, 2018). Geri yayılım algoritmasında aktivasyon fonksiyonundan elde edilen çıktılar ile hedefte ulaşılmaya çalışılan çıktılar arasındaki farkın kareleri toplanarak hata terimi hesaplanır. Hesaplanan hata teriminin azaltılabilmesi için belirlenen ağırlıklar değiştirilerek hata terimi düşürülmeye çalışılmaktadır. Amaç çıkan sonucun hedef sonuca ulaşmasıdır. Öğrenme işlemi bu aşamada

gerçekleşmektedir. Hedef değere en yakınsamayı sağlayacak ağırlıklar verilerek ve bağımsız değişkenler arasında bu ağırlık değerleriyle bir kural oluşturarak ilişki kurulmaktadır.



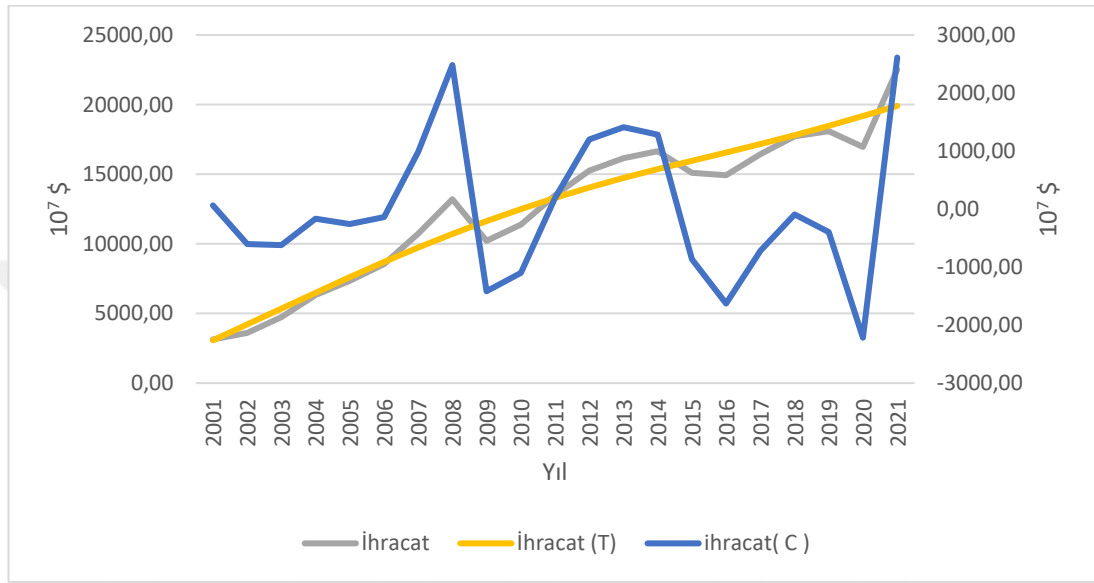
Şekil 3.3. Yapay Sinir Ağı Çalışma Yöntemi

Test verileriyle hata terimi en aza indirildikten sonra yapay sinir ağı modeli öğrenme işlemini tamamlamış olacaktır. Her bir bağımsız değişkenin sonuca ağırlıklı katkıları belirlendikten sonra tahminlenecek değişkenler verilerek model çalıştırılır. Şekil 3.3'te örnek model gösterilmiştir

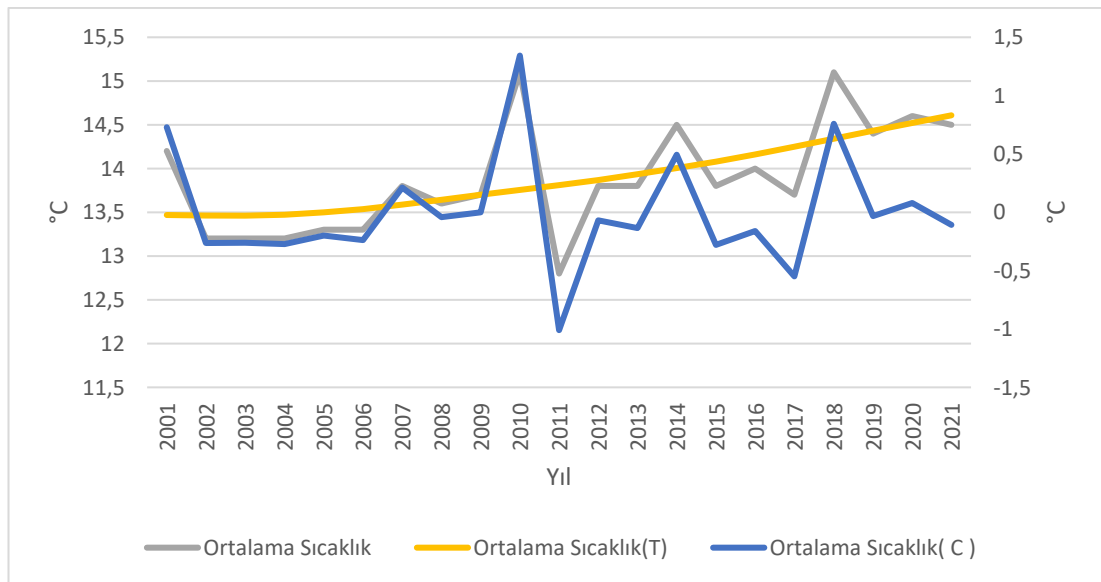
3.4. MATEMATİKSEL MODELİN UYGULANMASI

Su tüketimi ve tüketimi etkileyen veri setlerinin içerisindeki dalgalanmaların arındırılması için HP filtreleme metodu uygulanmıştır. Böylece düzleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşan devresel hareket bileşen serileri C sembolü ile, eğilim bileşeni serileri T sembolü gösterilmiştir. Şekil 3.4 ihracata, Şekil 3.5 ortalama sıcaklığa, Şekil 3.6 nüfusa, Şekil 3.7 yıllık su tüketimine ait 2001 ile 2021 yılları

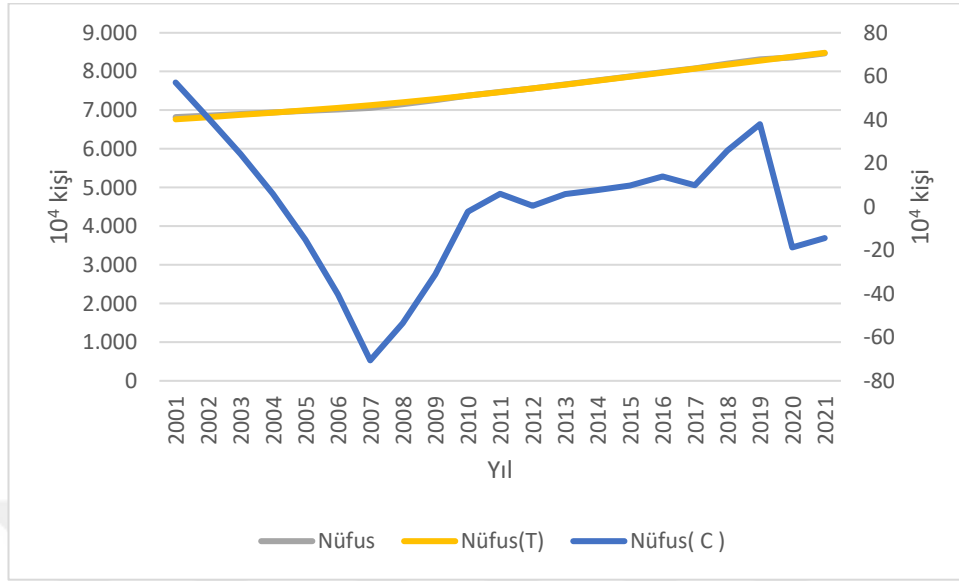
arasındaki orijinal, devresel hareket ve eğilim bileşenleri veri setlerini grafiksel olarak göstermektedir. Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7'deki grafiklerin sağ dikey eksen devresel hareket bileşen değerlerini gösterirken, sol dikey eksen eğilim bileşeni ve orijinal veri seti değerlerini göstermektedir.



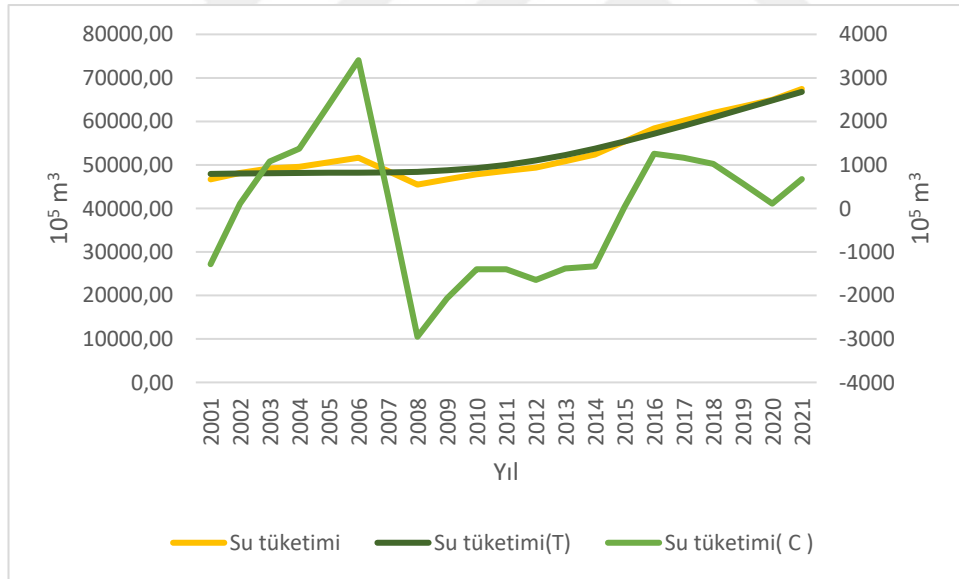
Şekil 3.4. HP Filtrelenmiş İhracat



Şekil 3.5. HP Filtrelenmiş Ortalama Sıcaklık



Şekil 3.6. HP Filtrelenmiş Nüfus



Şekil 3.7. HP Filtrelenmiş Su Tüketimi

Çıkan eğilim ve devresel hareket bileşenleri sonuçlarının birbirleriyle ilişkileri yoktur. Yıllık tekrar eden döngüselliği arındırarak yeni veri setleri oluşturmuştur. Şekil 3.4'te verilen ihracat verileri ve Şekil 3.5'te verilen ortalama sıcaklık verilerinin HP filtrelemesi yapıldıktan sonra orijinal veri setinden döngüsellik arındırıldıktan sonra eğilim bileşeni düzgün artan bir hale gelmiştir.

Tablo 3.2. Su Tüketimi ve Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısı	Su tüketimi	Nüfus	Ortalama sıcaklık	İhracat
Su tüketimi	1			
Nüfus	0,89471556	1		
Ortalama sıcaklık	0,51084305	0,20178710	1	
İhracat	0,72874702	0,241489061	0,27291096	1

Tablo 3.3. HP Filtreleme Öncesi ve Sonrası Su Tüketimi ve Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon Kat Sayısı

Etkenler	ST ile Korelasyon Katsayısı	ST ^T ile Eğilim Bileşeni Korelasyon Katsayısı	ST ^C ile Devresel Hareket Bileşeni Korelasyon Katsayısı
Nüfus	0,8947156	0,94909	0,0369833
İhracat	0,72874702	0,85858908	-0,3072229
Ortalama Sıcaklık	0,510843059	0,974582921	-0,234599092

Korelasyon ilişkileri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Nüfus ile su tüketimi arasındaki korelasyon katsayısı yüksektir. Ortalama sıcaklık ile su tüketimi arasındaki korelasyon katsayısı diğer değişkenlere göre düşüktür. Su tüketimini etkileyen faktörlerin arasındaki korelasyon katsayıları düşüktür. Bir başka deyişle bağımsız değişkenler arasında çoklu bağıntı olmadığını göstermektedir. HP filtreleme uygulandıktan sonra, su tüketimi eğilim bileşeni ile su tüketimini etkileyen faktörlerin eğilim bileşeni arasındaki korelasyon katsayısı artmıştır. Su tüketimi devresel hareket ve su tüketimini etkileyen faktörlerin devresel hareket bileşeni arasındaki korelasyon katsayısı azalmıştır. Su tüketimi eğilim bileşeni ile nüfus, ihracat ve ortalama sıcaklık eğilim bileşenleri arasındaki korelasyon katsayılarının tamamı 0,85'ten büyüktür (Tablo 3.3). Bu da demektir ki, filtrelemeden sonra su tüketimini etkileyen faktörlerin su tüketimine olan etkileri artmıştır. Filtreleme sonrası korelasyon katsayısının artması beklenen bir durumdur; çünkü HP filtrelemesi yapıldıktan sonra orijinal veri seti döngüsellikten

arındırılarak daha düz ve artan bir grafik elde edilmiştir. Bu durum da korelasyon katsayılarının arttığını göstermektedir. Devresel hareket bileşenlerinin korelasyon katsayısı değerleri çok küçüktür. Bu durum devresel bileşen su tüketimi ve devresel bileşen su tüketimini etkileyen faktörler arasında doğrusal bir kesişimleri yok denecek kadar az olduğu anlamına gelmektedir.

Oluşan bu devresel hareket ve eğilim bileşeni veri setlerini çoklu doğrusal regresyon modeline yüklenmiştir. Devresel hareket veri seti regresyon analizi sonuçları, Şekil 3.8'de verilmiştir. Devresel hareket bileşeni R^2 değeri 0.15, ayarlı R^2 değeri 0.0049 olduğu görülmektedir. Bu modelde su tüketimi bağımlı değişkeni bağımsız değişkenler tarafından açıklanamadığını göstermektedir. Devresel hareket bileşeni F anlamlılık değeri 0,4 değerindedir. Modelleme bu veri seti için uygun olmadığını göstermektedir. Değişkenlerin p değerleri de 0,05'ten büyüktür. Bu durum, değişkenler ile çıktı arasında bir bağlantı bulunmadığını göstermektedir Devresel hareket bileşeni regresyon analizine göre tahminleme denklemi, Formül 3.5'te gösterilmiştir.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,392642065
R Kare	0,154167791
Ayarlı R Kare	0,004903284
Standart Hata	1579,173023
Gözlem	21

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	7727122	2575707,428	1,03285	0,403027039
Fark	17	42394386	2493787,435		
Toplam	20	50121509			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>
Kesişim	-5,97346E-10	344,6038	-1,73343E-12	1
Nüfus (C)	-1,625956114	11,81797	-0,137583378	0,892186
Ortalama Sıcaklık (C)	-762,4346118	709,9301	-1,073957337	0,29785
İhracat (C)	-0,402124484	0,289481	-1,389122537	0,182725

Şekil 3.8. Devresel Hareket Regresyon Analizi Sonuçları

$$ST(C) = -5,973 * 10^{-10} - 1,625 * N(C) - 0,402 * IH(C) - 762,434 * S(C) \quad (3.5)$$

Eğilim bileşeni veri seti sonuçları Şekil 3.9'da verilmiştir. Eğilim bileşeni R^2 değeri 0.993, ayarlı R^2 değeri 0.992 olduğu görülmektedir. Bu modelde, su tüketimi bağımlı değişkeni bağımsız değişkenler tarafından açıklanabildiği anlamına gelmektedir. Eğilim bileşen veri setinde F anlamlılık değeri 0,05 değerinden çok küçüktür. Bu modellemenin bu veri seti için uygun olduğu ve doğruya yakın sonuçlar vereceği anlamına gelmektedir. Değişkenlerin p değerleri 0,05 değerinden küçüktür, bir başka deyişle girdiler ile çıktılar arasında bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Eğilim bileşeni regresyon analizine göre tahminleme denklemi Formül 3.6'da gösterilmiştir. Formülde nüfus değişkeninin katsayısı eksi, ortalama sıcaklık ve ihracat değişkenlerinin katsayılarının artı olduğu görülmektedir. Nüfus arttıkça su tüketimi azalıyor gibi görülse de ihracat daha çok arttığından dolayı bu artışı dengelemektedir.

ÖZET ÇIKIŞI

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,996844
R Kare	0,993697
Ayarlı R Kare	0,992585
Standart Hata	537,8166
Gözlem	21

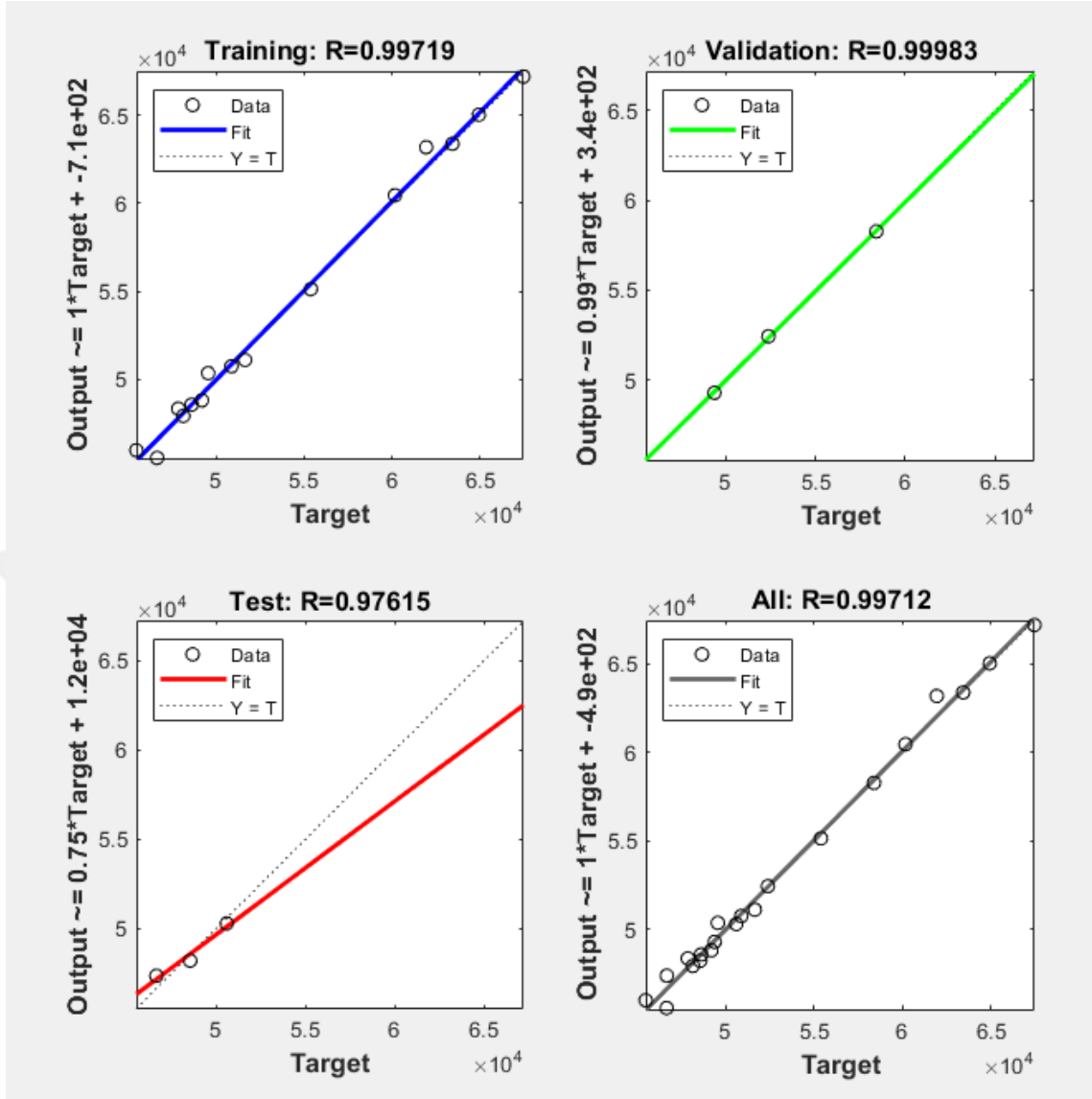
<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	775216271,7	2,58E+08	893,3739	6,76922E-19
Fark	17	4917193,626	289246,7		
Toplam	20	780133465,3			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>
Kesişim	-48423,7	59235,91043	-0,81747	0,424968
Nüfus(T)	-9,00243	2,360146526	-3,81435	0,001387
Ortalama Sıcaklık(T)	11579,48	5481,775403	2,112359	0,049754
İhracat(T)	0,33427	0,053426113	6,256673	8,69E-06

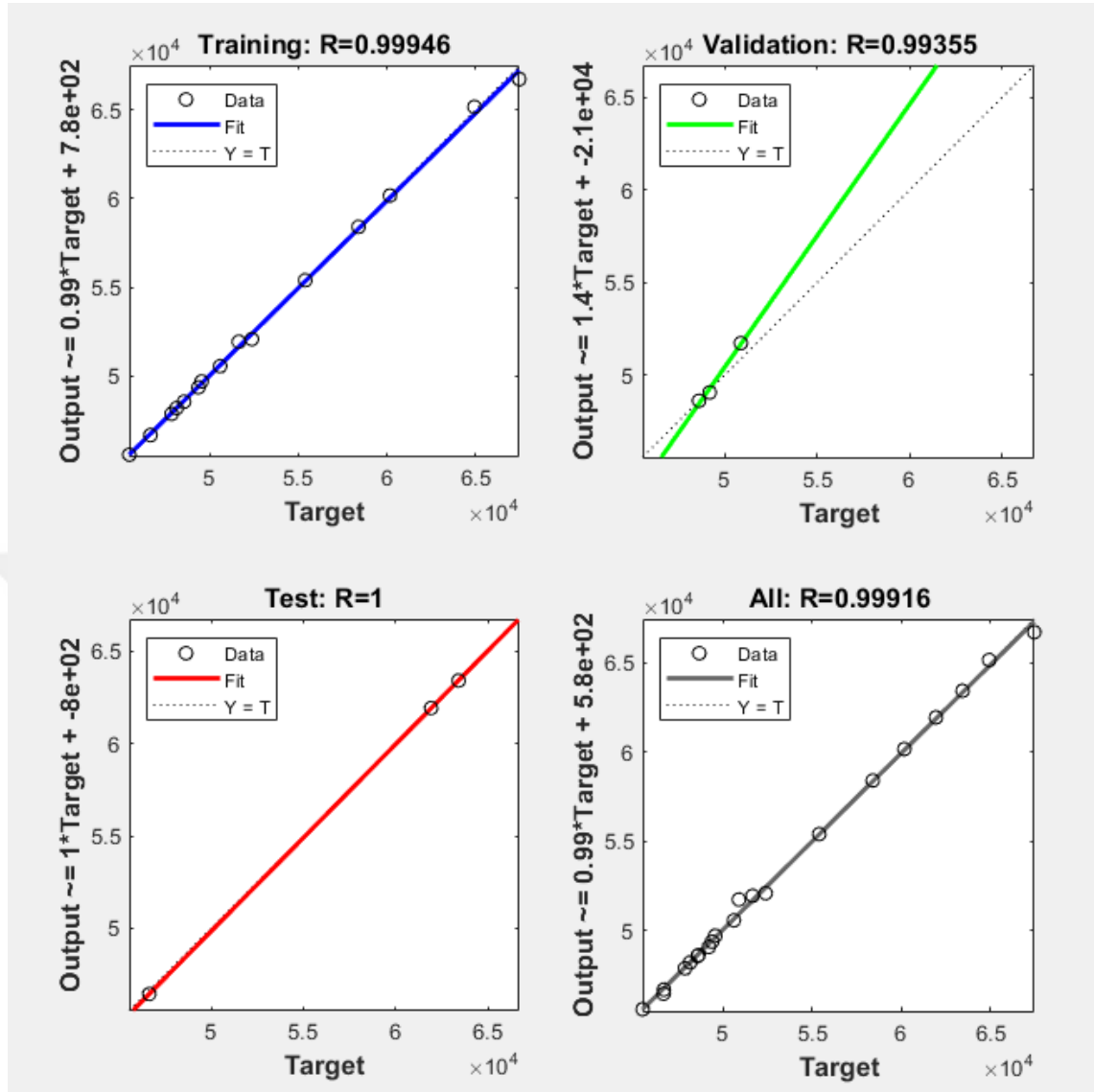
Şekil 3.9. Eğilim Bileşeni Regresyon Analizi Sonuçları

$$ST(T) = -48423,7 - 9,00243 * N(T) + 11579,48 * S(T) + 0,33427 * IH(T) \quad (3.6)$$

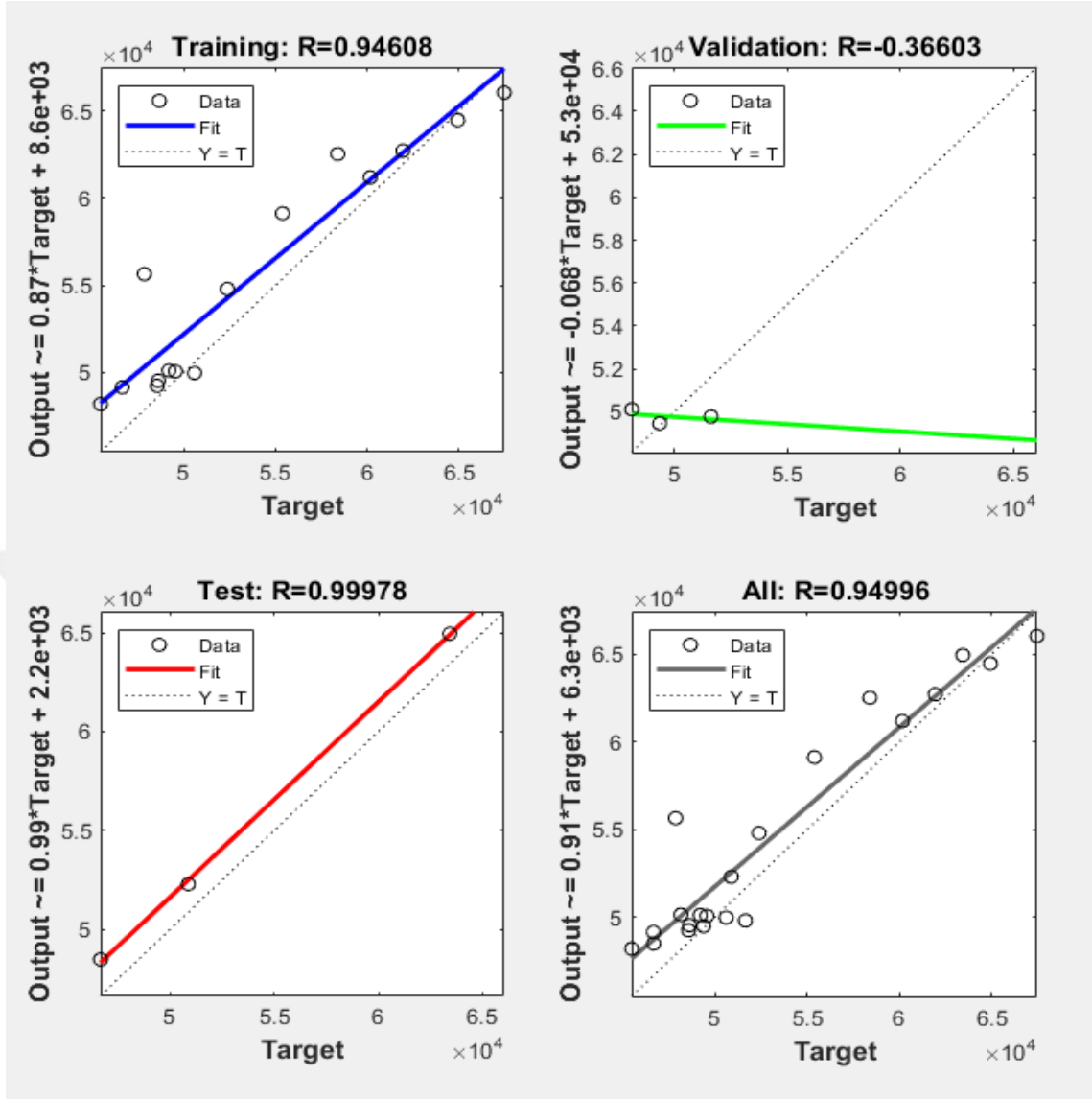
Yapay sinir ağırları (YSA) metodu devresel hareket ve eğilim bileşeni veri setlerine uygulanmıştır. Çeşitli gizli katman sayılarında 1000 iterasyon yapılarak modelleme çalıştırılmıştır. Katman sayısının 8, 10 ve 12 olarak oluşturulan modellerin regresyon değerlerinin sonuçları Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm R değeri en yüksek 10 katmanlı olarak oluşturulan modelde çıkmıştır. R değerinin anlamı gerçek çıktı değerleri ile yapay sinir ağırları modeli çıktıları arasındaki korelasyondur. Bir başka deyişle, 10 gizli katmana sahip modelin sonuçları %99,9 oranında doğru çıktığı anlamına gelmektedir. Model Şekil 3.13’teki gibi oluşturulmuş ve Matlab programında nntool araç takımı kullanılarak çalıştırılmıştır. Program girdilerin ağırlıkları güncelleyerek hata sinyalini en aza indirmeye çalışmaktadır. Öğrenme işlemini burada gerçekleştirmektedir.



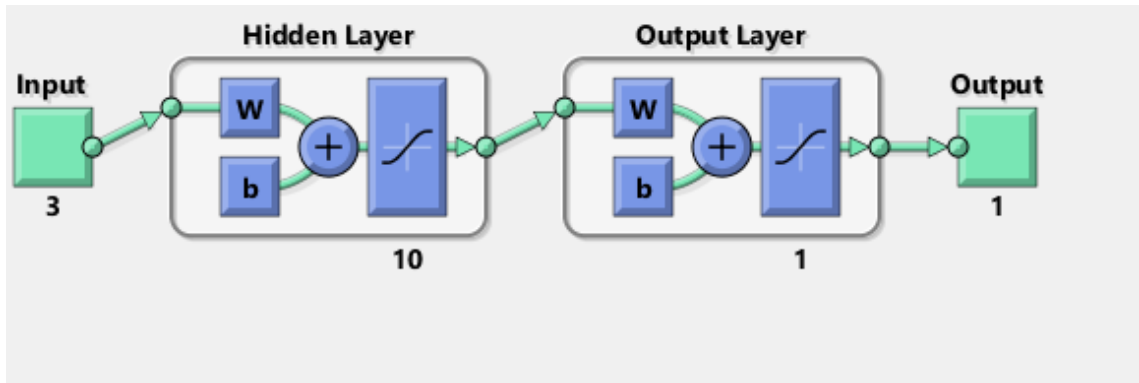
Şekil 3.10. Gizli Katman Sayısı 8 olan YSA Sonuçları



Şekil 3.11. Gizli Katman Sayısı 10 olan YSA Sonuçları



Şekil 3.12. Gizli Katman Sayısı 12 olan YSA Sonuçları



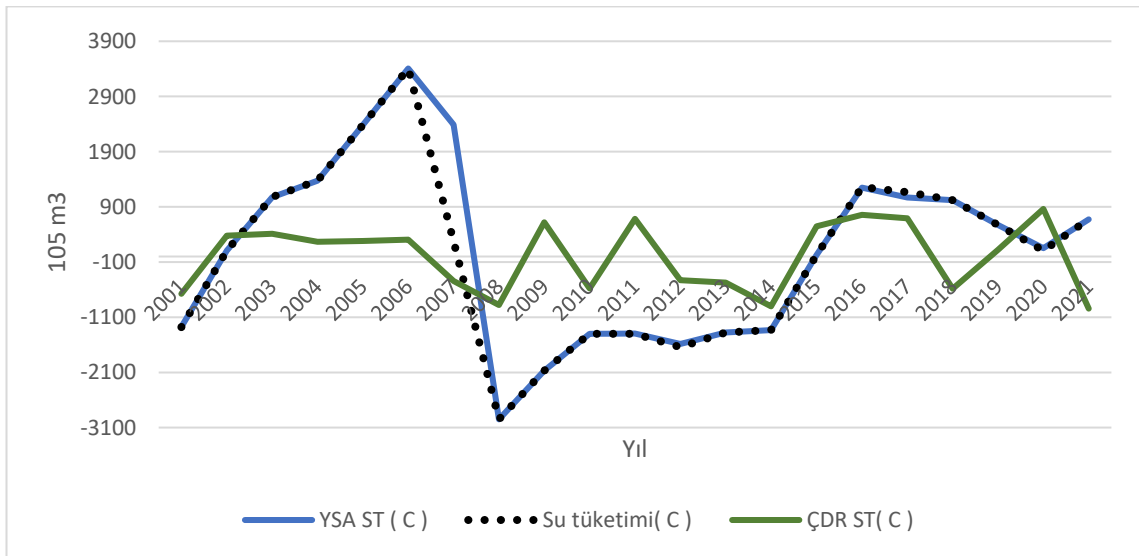
Şekil 3.13. Oluşturulan Yapay Sinir Ağı Modeli

Tablo 3.4. Modellerin Ortalama Bağlı Hata Sonuçları

	YSA ST(C)	ÇDR ST(C)	YSA ST(T)	ÇDR ST(T)	YSA ST	ÇDR ST
Ortalama Bağlı Hata	6,41%	259,40%	0,03%	1,06%	0,58%	3,66%

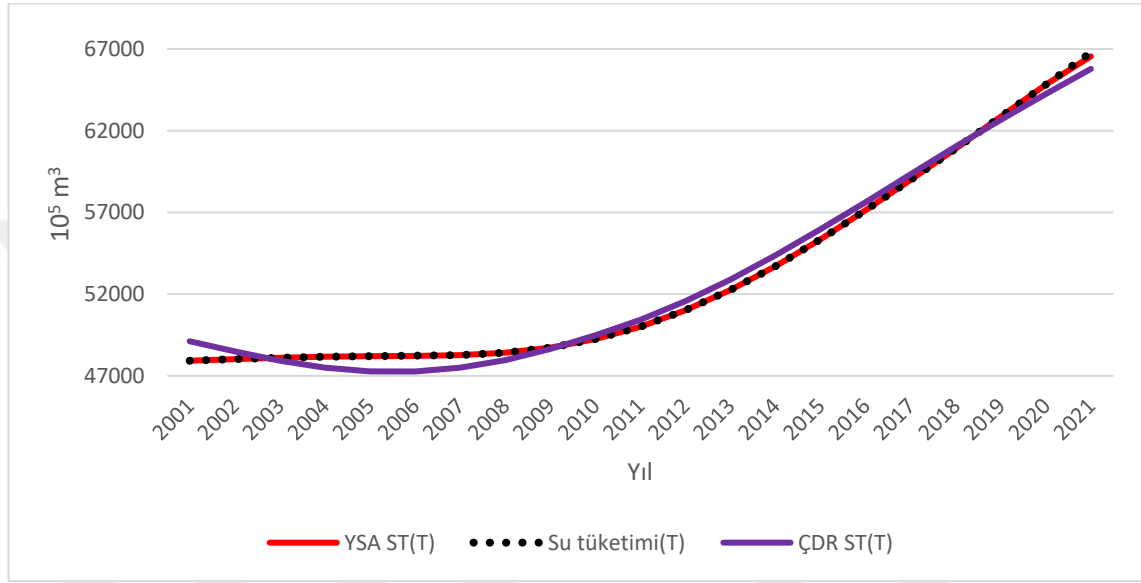
Tüm modellerin ortalama bağlı hataları Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Devresel hareket yapay sinir ağları, orijinal değer ve çoklu doğrusal regresyon uygulandıktan sonraki sonuçları ve bu sonuçların bağlı hataları, Ek 1 'de yer alan Tablo 3.6'te gösterilmiştir. Beklenildiği gibi, devresel hareket bileşen su tüketiminde çoklu doğrusal regresyon sonuçları gerçek değerden uzak sonuçlar vermektedir. Yapay sinir ağlarıyla aynı tahminlemeler yapıldığında, gerçek tüketim değerlerine çok daha yakın olduğu görülmektedir. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmamasından dolayı bu durum ortaya çıkmıştır. Sonuçların grafiksel gösterimi, Şekil 3.14'te görülmektedir. Devresel hareket bileşenler için yapay sinir ağlarının ortalama bağlı hatası %6,41 olarak ölçülmüşken, çoklu doğrusal regresyon yönteminin ortalama bağlı hatası %259,4 olarak ölçülmüştür (Tablo 3.4).



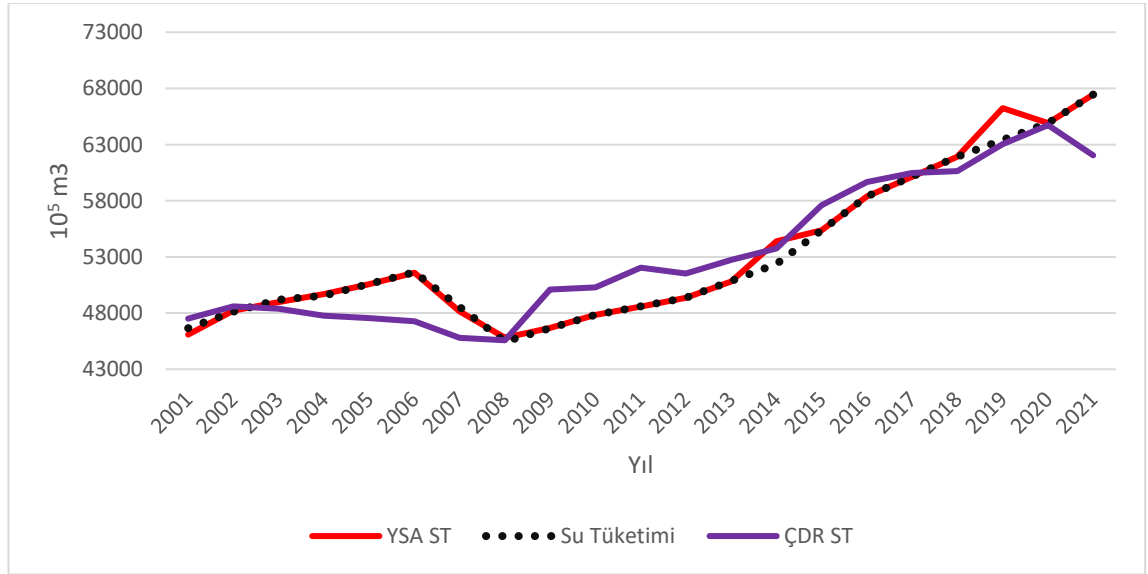
Şekil 3.14. Devresel Hareket Bileşen Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme

Eğilim bileşeni su tüketimi yapay sinir ağları, orijinal değer ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri uygulandıktan sonraki sonuçları ve bu sonuçların bağıl hataları, Ek 1 'de yer alan Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.15'te sonuçlar grafiksel olarak ortaya koyulmuştur. Yapay sinir ağlarının ortalama bağıl hatası %0,03, çoklu doğrusal regresyonun ise %1,06 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.15. Eğilim Bileşeni Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme

HP filtreleme uygulanmamış su tüketimi verilerine yapay sinir ağları, orijinal değer ve çoklu doğrusal regresyon uygulandıktan sonraki sonuçları ve bu sonuçların bağıl hataları, Ek 1'de yer alan Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Orijinal veri setindeki değişkenleri yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri uygulandığında ortaya çıkan sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 3.16'daki gibidir. Yapay sinir ağlarının ortalama bağıl hatası %0,58, çoklu doğrusal regresyonun bağıl hatası ise %3,66 olarak ölçülmüştür (Tablo 3.4).

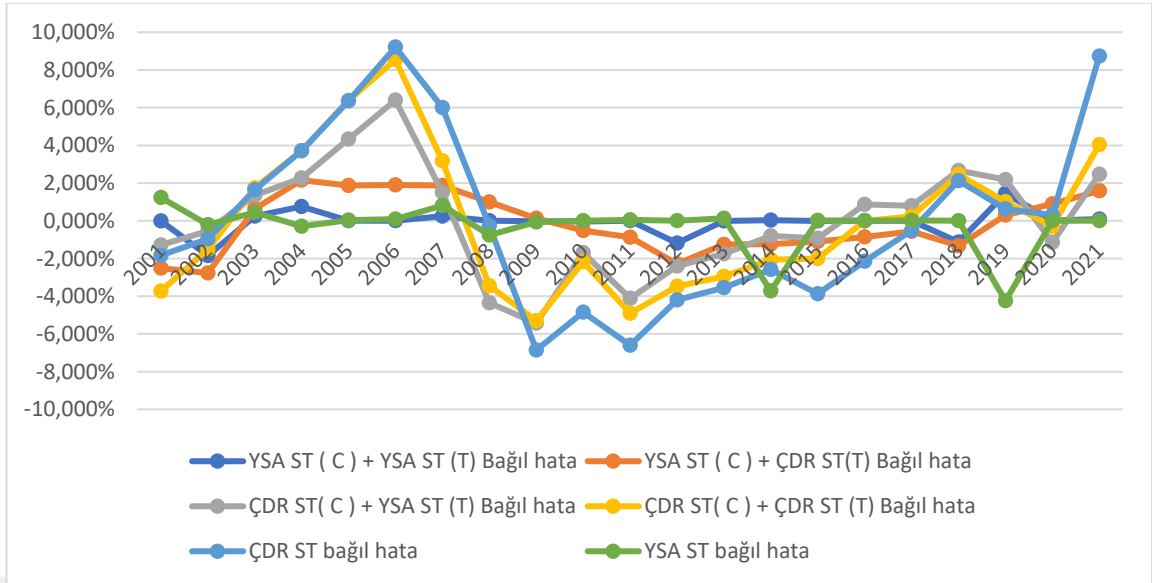


Şekil 3.16. Su Tüketimi Farklı Modellerle Tahminleme

Yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal metotları uygulanan veri setleri ayrı ayrı incelendiğinde, gerçek sonuçlara yakınlığı grafiklerden gözlenmektedir. HP filtreleme metoduyla devresel hareket ve eğilim bileşeni olarak ayrılan su tüketimleri HP filtreleme metodu formülüyle birbirlerine eklenerek toplam su tüketim verilerine ulaşılmıştır. Sonuçların kıyaslanması için de bağıl hatalarına bakılarak gerçek sonuçtan ne kadar uzakta olduğu gözlemlenebilir. Bunun için 6 farklı modelleme kombinasyonu oluşturularak bağıl hataları birbirleriyle kıyaslanabilir. Bu modeller:

- Yapay sinir ağları ST(C)+ Yapay sinir ağları ST(T)
- ❖ Yapay sinir ağları ST(C)+ Çoklu doğrusal regresyon ST(T)
 - Çoklu doğrusal regresyon ST(C)+ Yapay sinir ağları ST(T)
 - Çoklu doğrusal regresyon ST(C)+ Çoklu doğrusal regresyon ST(T)
- Yapay sinir ağları ST
- ✓ Çoklu doğrusal regresyon ST

Bu modellerin sonuçlarının bağıl hatalarının yüzdelik olarak gösterimi, Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17. Farklı Model Kombinasyonlarının Yüzde Bağıl Hataları

HP filtreleme yöntemiyle simülasyon duyarlılığı modellemelerde artmıştır. Çoklu doğrusal regresyon uygulanan su tüketimi verilerinin ortalama bağıl hatası %3,66 olarak ölçülmüştür. HP filtreleme yapıldıktan sonra ayrı ayrı çoklu doğrusal regresyon uygulanan devresel hareket ve eğilim bileşenleri veri setlerinin toplamıyla oluşan modelin ortalama bağıl hatası %3'e düşmüştür. Yapay sinir ağları yöntemi uygulanan verilerin ortalama bağıl hatası %0,58'dir. HP filtrelemeden sonra yapay sinir ağları yöntemi uygulanan eğilim ve devresel hareket bileşenlerinin ortalama bağıl hatası %0,24'tür.

Tüm model kombinasyonlarına ve modellemelere bakıldığında zaman en düşük ortalama bağıl hata %0,24 ile HP filtrelemesi yapılmış ve ayrı ayrı yapay sinir ağları metodu uygulanmış eğilim ve devresel hareket bileşenleri veri setlerinin toplamıyla oluşan model tipidir. Onu orijinal veri setindeki değişkenler kullanılarak yapay sinir ağları metodu uygulandığı model takip etmektedir. Ortalama bağıl hatası %0,58'dir. En iyi sonuç veren yöntemin HP filtrelemesi yapıldıktan sonra iki veri setinin yapay sinir ağları metodunun uygulanması olduğu görülmüştür.

Seçilen değişkenlerin doğruluğunu analizi için modellerden birer birer çıkarılarak sonuçlar ve bağıl hataları kıyaslanmıştır. En iyi sonuç veren devresel hareket ve eğilim bileşenleri veri setleri ayrı ayrı yapay sinir ağları metodu uygulanarak sonuçlar Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Su Tüketimini Etkileyen Faktörlerin Modelden Çıkarılmasıyla Ortalama Bağlı Hata

YSA (T)+ YSA (C)			
	IH'siz	S'siz	N'siz
Ortalama Bağlı Hata	1,975%	1,261%	0,958%

Tüm değişkenler modellemeye dahil olduğunda ortalama bağlı hata %0,24 çıktığı görülmüştür. İhracat çıkarıldığında ortalama bağlı hata %1,975'e ortalama sıcaklık çıkarıldığında %1,261'e, nüfus çıkarıldığında ise %0,958'e arttığı görülmüştür. En iyi sonucun tüm değişkenlerin modellemede kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. Bu da model için seçilen etkenlerin makul olduğunu göstermektedir.

3.4.1. 2030 ve 2050 Yılları İçin Su Tüketim Tahminlemesi

Büyüyen ve değişen dünyamızda kaynakların verimli bir şekilde kullanılarak gelecek nesillere bırakılması önemli bir konudur. Üretim ve tüketim dengesinde kaynakların devamlılığın sağlanması sürdürülebilirlik kavramını önemini ortaya çıkarmaktadır. Sürdürülebilirlik kalkınma ise üretim ve tüketim süreçlerinde sadece karlılığa ve ekonomik faydaya dayalı olan çevresel ve toplumsal faydanın göz ardı edildiğinde ortaya çıkan sorunların çözülmesinde üretilen stratejileri geliştirme çabasıyla ortaya çıkmıştır (Peşkircioğlu, 2016). Birleşmiş Milletler, 2015 yılında, 2030 yılına kadar gerçekleşmesini planladığı sürdürülebilir kalkınma hedeflerini ilan etmiştir (Eşkinat, 2016). Türkiye'nin de kabul ettiği sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde, temiz suya erişebilmek maddeleri de yer almaktadır. Bu yüzden 2030 önemli bir yılı simgelemektedir. İklimlerin değişmesi, buzulların erimesi ve su kaynaklarının azalmasından kaynaklı 191 ülkenin kabul ettiği Paris iklim anlaşmasını Türkiye de kabul etmiştir. Anlaşmanın içerisinde 2050 yılı sıfır karbon emisyonu sağlayacak konuma gelmesi istenmektedir (Karakaya, 2016). Bu anlaşmayla beraber su kaynaklarının hızla yok olması son bulması doğaya

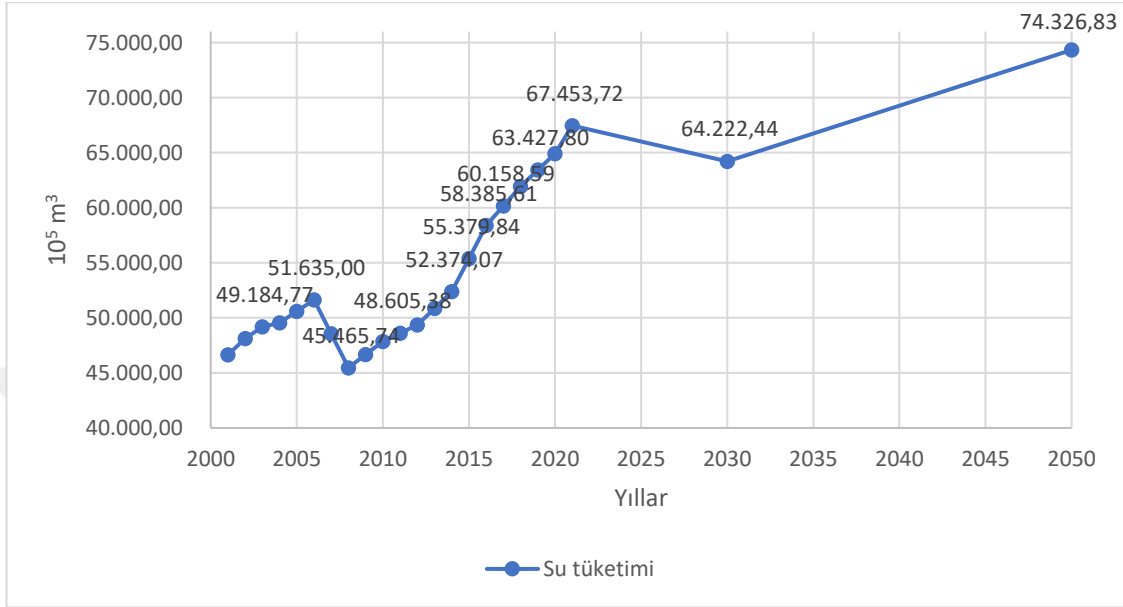
verilen zararlar en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada bu yüzden hedef yıllar 2030 ve 2050 seçilmiştir.

Planlanan yıl için tahminleme yapılabilmesi için etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bunların belirlenmesi zordur. Her yıl için tahminlemeler bulunmamaktadır. Bu yüzden uzun dönemli yıllar olan 2030 ve 2050 yıllarına ait veriler toplanmıştır. Ortalama sıcaklık Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayımladığı iklim değişikliği projeksiyonuna göre 2030 yılında Türkiye'de ortalama sıcaklık 2 derece 2050 yılında 3 derece artacağı öngörülmektedir (Akçakaya vd., 2015). Birleşmiş milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Bölümü'nün yayımladığı Dünya Nüfus tahmini raporuna göre 2030 yılında Türkiye nüfusu 88.417 milyon, 2050 yılında ise 95.627 milyona ulaşacağını öngörmektedir (Odatv, 2017). Türkiye İhracatçılar Meclisinin yayımladığı rapora göre, 2030 yılında gerçekleşmesi öngörülen ihracat 258 milyar dolar, 2050 yılında hedeflenen ise 500 milyar dolardır (Güler, 2021).

HP filtreleme metodu zaman serisi veri setiyle düzgünleştirme yaptığından dolayı, uzun dönemli filtreleme yapılamaz. 2030 ve 2050 yılları için eğilim ve devresel hareket bileşenleri oranlama yöntemiyle bulunmuştur. Bu oranlama 2001 ve 2021 yılları için çalışma yapılan veri setinden elde edilmiştir. Türkiye nüfus verisinin nüfus eğilim bileşenine oranı %1,00084 ile 0.99009 aralığında değişmektedir. Diğer bileşenlerinde eğilim bileşenine oranları bulunarak maksimum ve eğilim bileşeni değerleri elde edilmiştir. 2030 ve 2050 eğilim bileşeni veri setiyle orijinal değerden çıkarılarak devresel hareket bileşen değerleri de bulunmuştur.

Oluşturulan veri setiyle en iyi sonucu veren yapay sinir ağları eğilim bileşeni + yapay sinir ağları devresel hareket bileşeni ile su tahminlemesi yapılmıştır. Buna göre sonuç aralığı 2030 yılı için $[58.616,5762 \times 10^5 \text{ m}^3, 69.828,3102 \times 10^5 \text{ m}^3]$, 2050 yılı için $[64.359,7615 \times 10^5 \text{ m}^3, 84.293,90122 \times 10^5 \text{ m}^3]$ aralıkları ortaya çıkmaktadır. Ortalama değer yıllık su tüketimi 2030 yılı için $64.222,4432 \times 10^5 \text{ m}^3$, 2050 için $74.326,83138 \times 10^5 \text{ m}^3$ olarak bulunmuştur. Tahminleme sonucuna göre gelecekte su sistemlerinin planlanması ve temiz su kaynaklarının konusunda kararlar verilebilir ve geleceğe yönelik bazı yatırımlar yapılabilir. Türkiye'deki su

tüketiminin yıllara göre değişimi ve 2030 ve 2050 yılların tahminlemesi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Türkiye’deki İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi ve Tahminlemesi

SONUÇ

Su insan hayatı için en temel gereksinimdir. Bu gereksinim insan yaşamını etkileyecek kadar hayati bir öneme sahiptir. Sadece yaşam için değil temizlik, üretim gibi insani faaliyetlerde de kullanılarak önem derecesini daha da artmaktadır. Su kaynaklarının kirletilmesi ve artan küresel ısınma etkileri su kaynaklarının daralmasına neden olmaktadır. Artan dünya ve Türkiye nüfusu, artan üretim faaliyetleri gibi aktiviteler ile su tüketimi de artmaktadır. Bu kadar önemli bir yere sahip olan suyun kaynağı sınırsız olmaması, mevcut suyun daha verimli bir şekilde kullanılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır. Suyun verimli kullanılabilmesi içinde suyun yönetim kararlarının stratejik bir şekilde verilerek gelecekte su sıkıntısı yaşanmaması için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Gelecekteki su tüketimi tahmin edilerek bu ihtiyacın karşılanması için stratejik kararlar verilerek su sıkıntısı yaşanması engellenebilir.

Bu çalışmada, 2030 ve 2050 yılları için su tüketim tahminlemesi yapılmıştır. Bu yıllar Paris iklim anlaşması ve sürdürülebilirlik kalkınma hedefleri doğrultusunda belirlenmiştir. Tahminleme yapabilmek için su tüketimini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Birçok faktör olmasına karşın verilerin ulaşılabilirliği ve kapsayıcılığı kriterleri göz önünde bulundurularak üç değişken belirlenmiştir. Türkiye nüfusu, ortalama sıcaklık ve üretimi gösteren ihracat miktarlarının geçmiş yıllar verileri kullanılmıştır. Su tüketimini etkileyen faktörler ile su tüketiminin doğruluğu geliştirilerek gelecek su tüketimi tahminlemesi yapılmıştır. Su tüketimi ve su tüketimini etkileyen faktörler veri setine HP filtreleme metodu uygulanarak eğilim ve devresel hareket bileşen veri setleri oluşturulmuştur. Filtrelemeden sonra yapay sinir ağları metodu ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri devresel hareket ve eğilim bileşenlerine ayrı ayrı uygulanarak su tahminlemesi yapılmıştır. HP filtrelemesi uygulandıktan sonra, iki model performansına bakılarak eğilim bileşenleri su tüketimi ve etkileyen faktörler arasındaki korelasyon kat sayısının arttığı görülmüştür. Zayıf korelasyon kat sayısı bulunun devresel hareket bileşenleri çoklu doğrusal regresyon uygulandığında gerçek değerden çok uzak sonuçlar verdiği en iyi sonucu yapay sinir ağları modelinde verdiği görülmüştür.

Buradan çıkarılacak sonuç ise, doğrusal olmayan veri setlerinde yapay sinir ağları daha iyi sonuç verdiğidir. YSA(T) + YSA(C) model kombinasyonunun diğer model kombinasyonlarına göre en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu model kombinasyonu ile 2030 ve 2050 yılı tahmini nüfus, ortalama sıcaklık ve ihracat rakamlarına bağlı olarak su tüketim tahminlemesi yapılmıştır. Elde edilen su tüketim rakamlarına 2050 yılında ciddi bir su tüketimi olacağı öngörülmektedir. 2030 yılında ise nüfus, ihracat ve sıcaklığın artmasına oranla su tüketimi artmamıştır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden herkesin suya erişebilmesi maddesi doğrultusunda 2030 yılında su tüketiminde bazı yasaklamalar ile su tüketimi kontrol altına alındığı ön görülmektedir. Özellikle 2007 ve 2008 senesinde su tüketiminde düşüşün yaşandığı yıllardaki gibi çeşme suyuyla halı, araba yıkamanın ve bahçe sulamanın devlet tarafından yasaklanmasıyla kontrol altına alındığı ön görülmektedir.

Türkiye, mevcut pozisyonunda nüfusu artan ve küresel ısınmayla beraber sıcaklıkların arttığı bir ülkedir. Su tüketimi de buna bağlı olarak da arttığı yıllara bağlı olarak görülmüştür. Su tüketimi belli dönemlerde devlet yasaklarıyla kontrol altına alınmıştır. Gelecek su tahminlemesi modeli ile ortaya çıkan 2030 ve 2050 yıllarına ait su tüketim tahminlerine su yönetimi kararlarının verilmesinde yardımcı olacaktır. Bu verilere bakılarak, su kaynaklarının dağıtılmasında, araba, halı yıkama, sanayide tüketilen suların kontrol edilmesi kararlarında, yeni projelerin yapılıp yapılmaması konusunda karar verilirken yardımcı olacaktır. Buna bağlı olarak, geleceğe yönelik yeni su kaynakları oluşturulmasında, üretimde kullanılan suyun içme sularından kullanılmaması, atık suların arıtılarak bazı faaliyetlerde kullanılması gibi önlemler alarak gelecekte olan su tüketiminin karşılanması sağlanabilir. Mevcut durum ile devam edilirse su kıtlığı yaşanması ya da daha çok su tüketim yasaklarının gelmesi ön görülebilir bir durumdur.

Bu çalışmada, 2001 ve 2021 yılları arasındaki su tüketimi ve su tüketimini etkileyen faktörlerin veri setleri kullanılarak yapay sinir ağları metoduyla bir öğrenme gerçekleştirilir. Su tüketimini etkileyen faktörler ve su tüketimi arasında bir bağlantı kurarak 2030 ve 2050 yılları beklenen nüfus, ortalama sıcaklık ve ihracat rakamlarıyla su tüketimi tahminlemesi yapılmıştır. Farklı model tipleri de kıyaslanarak en iyi sonucu veren modelleme ile yapılan tahminleme sonuçlarına

göre gelecekte su tüketiminin artacağı görülmektedir. Çalışmada geçmiş verilere ulaşmakta zorluklar yaşanmıştır. Başka girdilere ait verilerin ulaşılması konusunda da zorluklar yaşanmıştır. Çalışmanın sadece Türkiye’de yapılması bir başka kısıttır. Uzun dönem tahminlemeler kısa dönem tahminlemelere daha zayıf olması, çalışmanın doğruluğunu düşürmektedir. Gelecekte daha kısa dönemli tahminlemeler yaparak modelin doğruluk derecesi artırılabilir. Bu çalışma gelecekte 2022 ve sonraki yılların su tüketimi, sıcaklık, nüfus ve ihracat verilerini de kullanılarak veri seti genişletilerek, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca çalışmaya daha farklı su tüketimini etkileyen faktörler eklenerek model doğruluğu daha da artırılabilir. Ayrıca, farklı tahminleme metotları kullanılarak daha kesin tahminlemelerde bulunulabilir. Su kaynakları tahminlemesi yapılarak da su tüketiminin gelecekte karşılanıp karşılanmayacağı görülebilir.

Yurdusev ve Fırat (2009) İzmir’in aylık su tüketimi üzerine yaptığı çalışmada sekiz farklı değişken ve bunların kombinasyonlarını kullanarak 25 farklı uyarlamalı sinirsel bulanık ağ modeli kurmuştur. Bu modellerin performanslarını ölçmek için korelasyon katsayısı, verimlilik ve karekök ortalama bağıl hatanın karesi metotlarını kullanmıştır. En iyi sonucu veren modelin aylık su faturası, ortalama sıcaklık ve nüfus verileriyle kurulan model olduğunu bulmuştur. Çalışmada gelecek su tüketim tahminlemesi üzerinde durulmamış daha çok en iyi tahminleme modelinin bulunması üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada ise 3 farklı bağımsız değişken HP filtrelemesiyle ön işlemden geçirilerek 6 farklı model kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı ve bağıl hata performans ölçütlerine göre en iyi sonuç veren modelin HP filtrelemesinden sonra YSA metodu uygulanan model olduğu bulunmuştur. En iyi model ile 2030 ve 2050 yılları su tüketim verileri tahminlenmiş ve tahmine göre çeşitli politikalar önerilmiştir. Çalışmada daha çok gelecek su tüketim verilerinin ortaya çıkarılması üzerinde durulmuştur.

Su tüketimi üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak kısa dönem tahminlemeler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Verilerin ulaşılmasının kolaylığı bu duruma etki etmiştir. Yapılan çalışmalarda genel olarak birden fazla yöntem birbirleri ile kıyaslanarak en iyi tahminleme metodu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışma ise, uzun dönem su tüketim tahminlemesi üzerine yapılmıştır. Literatürde genel olarak bir şehrin su tüketim tahminlemesi üzerine çalışma yapılmasına karşın bu çalışmada

Türkiye'nin su tüketimi tahminlemesi üzerine çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan farklı olarak bir metodun diğerinden daha iyi tahminleme yaptığını ispatlamak yerine en iyi sonuç veren tahminleme kombinasyonunu ortaya çıkararak geleceğe dair su tüketim tahminlemesi amaçlanmıştır.



KAYNAKÇA

- Adamowski, J. F. (2008). Peak daily water demand forecast modeling using artificial neural networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(2), 119-128.
- Adamowski, J., & Karapataki, C. (2010). Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecasting: evaluation of different ANN learning algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(10), 729-743.
- Adamowski, J., Fung Chan, H., Prasher, S. O., Ozga-Zielinski, B., & Sliusarieva, A. (2012). Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resources Research*, 48(1).
- Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., ..., Çukurçayır, F. (2015). Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 67-74.
- Altunkaynak, A., Özger, M., & Çakmakci, M. (2005). Water consumption prediction of Istanbul city by using fuzzy logic approach. *Water Resources Management*, 19, 641-654.
- Anele, A. O., Hamam, Y., Abu-Mahfouz, A. M., & Todini, E. (2017). Overview, comparative assessment and recommendations of forecasting models for short-term water demand prediction. *Water*, 9(11), 887.
- Bakker, M., Van Duist, H., Van Schagen, K., Vreeburg, J., & Rietveld, L. (2014). Improving the performance of water demand forecasting models by using weather input. *Procedia Engineering*, 70, 93-102.

- Benítez, R., Ortiz-Caraballo, C., Preciado, J. C., Conejero, J. M., Sánchez Figueroa, F., & Rubio-Largo, A. (2019). A short-term data based water consumption prediction approach. *Energies*, 12(12), 2359.
- Boudhaouia, A., & Wira, P. (2021). A real-time data analysis platform for short-term water consumption forecasting with machine learning. *Forecasting*, 3(4), 682-694.
- Candelieri, A., Soldi, D., & Archetti, F. (2015). Short-term forecasting of hourly water consumption by using automatic metering readers data. *Procedia Engineering*, 119, 844-853.
- Cendere, A. (1998). Su elemanlarının kentsel mekânlarda ve yeşil alanlarda kullanımı. Yüksek lisans tezi (basılmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cumhuriyet (2014). İçme Suyunu Amacı Dışında Kullanmak Yasaklandı <https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/icme-suyunu-amaci-disinda-kullanmak-yasaklandi-64755> [Erişim tarihi: 30 Mart 2023].
- Duerr, I., Merrill, H. R., Wang, C., Bai, R., Boyer, M., Dukes, M. D., & Bliznyuk, N. (2018). Forecasting urban household water demand with statistical and machine learning methods using large space-time data: A Comparative study. *Environmental Modelling & Software*, 102, 29-38.
- Düzenli, T., Alpak, E. M., & Akyol, D. (2019). Peyzaj mimarlığında su ögesinin tarihsel süreçteki kullanım amaçları. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 9(1), 20-35.
- Eşkinat, R. (2016). Binyıl kalkınma hedeflerinden sürdürülebilir kalkınma hedeflerine. *Anadolu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(3), 267-282.
- Fırat, M., Yurdusev, M. A., & Turan, M. E. (2009). Evaluation of artificial neural network techniques for municipal water consumption modeling. *Water Resources Management*, 23, 617-632.
- Gagliardi, F., Alvisi, S., Kapelan, Z., & Franchini, M. (2017). A probabilistic short-term water demand forecasting model based on the Markov Chain. *Water*, 9(7), 507.

- Ghalehkhondabi, I., Ardjmand, E., Young, W. A., & Weckman, G. R. (2017). Water demand forecasting: review of soft computing methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1-13.
- Gharabaghi, S., Stahl, E., & Bonakdari, H. (2019). Integrated nonlinear daily water demand forecast model (case study: City of Guelph, Canada). *Journal of Hydrology*, 579, 124182.
- Güler, İ. (2021). Gençler ve Yeni Projelerle Geleceğe Hazırlanıyoruz, *TİMREPORT*, 194,4-5.
- Gülgün, B., Keskin, N., & Ankaya, F. Ü. (2011). Tarih Boyunca Bahçelerde Su Öğesinin Kullanımı. *Ziraat Mühendisliği*, (357), 18-23.
- Güngör, S. S. (2021). Osmanlı Su Mimarisi ve 19. Yüzyılda Osmanlı Su Yapıları. *Türk Hidrolik Dergisi*, 5(1), 32-48.
- Haberler (2007). Hortumla Araç Yıkamak Yasak <https://www.haberler.com/guncel/hortumla-arac-yikamak-yasak-haberi/i> [Erişim tarihi: 30 Mart 2023].
- Hakyemez,C. (2019). Su: Yeni Elmas. *Ekonomik Araştırmalar*.
- Hao, W., Cominola, A., & Castelletti, A. (2022). Comparing Predictive Machine Learning Models for Short-and Long-Term Urban Water Demand Forecasting in Milan, Italy. *IFAC-PapersOnLine*, 55(33), 92-98.
- Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2010). Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 141-150.
- Hodrick, R. J., & Prescott, E. C. (1997). Postwar US business cycles: an empirical investigation. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 1-16.
- Huang, L., Zhang, C., Peng, Y., & Zhou, H. (2014). Application of a combination model based on wavelet transform and KPLS-ARMA for urban annual water demand forecasting. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(8), 04014013.

- Jain, A., Kumar Varshney, A., & Chandra Joshi, U. (2001). Short-term water demand forecast modelling at IIT Kanpur using artificial neural networks. *Water Resources Management*, 15, 299-321.
- Jain, A., & Ormsbee, L. E. (2002). Short-term water demand forecast modeling techniques—Conventional methods versus AI. *Journal-American Water Works Association*, 94(7), 64-72.
- Kabalıcı, E. (2014). Yapay Sinir Ağları. Ders Notları <https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/ysa.pdf>
- Karakaya, E. (2016). Paris iklim anlaşması: içeriği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-12.
- Karamaziotis, P. I., Raptis, A., Nikolopoulos, K., Litsiou, K., & Assimakopoulos, V. (2020). An empirical investigation of water consumption forecasting methods. *International Journal of Forecasting*, 36(2), 588-606.
- Kavurucu, B., Ekmen, E., Yaman, Ö., Yazan, S. Y., Kanmaz, N., & Ünver, Ü. (2022). Türkiye’de Endüstriyel Su Tüketimi ve Arıtımı. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 19-33.
- Kızrak, A. (2018). Şu Kara Kutuyu Açalım: Yapay Sinir Ağları <https://ayyucekizrak.medium.com/%C5%9Fu-kara-kutuyu-a%C3%A7alım-yapay-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-7b65c6a5264a> [Erişim tarihi: 30 Mart 2023].
- Kurnaz, L. (2014). Drought in Turkey. İstanbul Policy Center, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- Li, W., & Huicheng, Z. (2010). Urban water demand forecasting based on HP filter and fuzzy neural network. *Journal of Hydroinformatics*, 12(2), 172-184.
- Liu, J., Savenije, H. H., & Xu, J. (2003). Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(4-5), 219-224.

- Mayers, G. (2020). Sigmoid Function Explained in Less than 5 Minutes <https://medium.com/@gabriel.mayers/sigmoid-function-explained-in-less-than-5-minutes-ca156eb3049a>
- Msiza, I. S., Nelwamondo, F. V., & Marwala, T. (2008). Water demand prediction using artificial neural networks and support vector regression. *Journal of Computers*, 3(11), 1-8.
- Muhammad, A. U., Li, X., & Feng, J. (2019). Artificial intelligence approaches for urban water demand forecasting: a review. In *Machine Learning and Intelligent Communications: 4th International Conference, MLICOM 2019, Nanjing, China, August 24–25, 2019, Proceedings 4*, 595-622. Springer International Publishing.
- Nasseri, M., Moeini, A., & Tabesh, M. (2011). Forecasting monthly urban water demand using extended Kalman filter and genetic programming. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7387-7395.
- OdaTv (2017). 2050'den Sonra Türkiye Nüfusu 10 Milyon Azalacak <https://www.odatv.com/guncel/2050den-sonra-turkiyenin-nufusu-10-milyon-azalacak-118320> [Erişim tarihi: 30 Mart 2023].
- Okatan, A. (2019). Elementlerin Doğadaki Dönüşümü. Erişim adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/elementlerin-dogadaki-donusumu> .
- Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekaya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.
- Pacchin, E., Alvisi, S., & Franchini, M. (2017). A short-term water demand forecasting model using a moving window on previously observed data. *Water*, 9(3), 172.
- Pamay, B. (1971). Park bahçe ve peyzaj mimarisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul
- Pegram, G., Conyngham, S., Aksoy, A., Divrak, B. B., & Öztok, D. (2014). Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi. WWF Türkiye.

- Peña-Guzmán, C., Melgarejo, J., & Prats, D. (2016). Forecasting water demand in residential, commercial, and industrial zones in Bogotá, Colombia, using least-squares support vector machines. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Peşkircioğlu, N. (2016). 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri: Küresel Verimlilik Hareketine Doğru. *Anahtar Dergisi*, 22(335), 4-9.
- Sampathirao, A. K., Grosso, J. M., Sopasakis, P., Ocampo-Martinez, C., Bemporad, A., & Puig, V. (2014). Water demand forecasting for the optimal operation of large-scale drinking water networks: The Barcelona Case Study. *IFAC Proceedings volumes*, 47(3), 10457-10462.
- Saygılı, R. (2022). Türkiye Termik Santraller Haritası. Erişim adresi: <http://cografyaharita.com/haritalarim/4e-2022-turkiye-termik-santraller-haritasi.png> .
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022). 2021 Yılı İklim Değerlendirmesi. Erişim adresi: <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2021-iklim-raporu.pdf> .
- Takvim (2020). Çanakkale’de barajlardaki suyun az kalmasından dolayı araç ve hali yıkamak yasaklandı. [Çevrimiçi] <https://www.takvim.com.tr/galeri/guncel/canakkalede-barajlardaki-suyun-az-kalmasindan-dolayi-arac-ve-hali-yikama-yasaklandi> [Erişim tarihi: 26 Şubat 2024].
- Tiwari, M. K., & Adamowski, J. F. (2015). Medium-term urban water demand forecasting with limited data using an ensemble wavelet–bootstrap machine-learning approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(2), 04014053.
- TÜİK (2009). TÜİK Veri Portalı: Belediye Su İstatistikleri <https://data.TÜİK.gov.tr/Search/Search?text=Belediye%20Su%20%C4%B0statistikleri> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].
- TÜİK (2013). TÜİK Veri Portalı: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, <https://data.TÜİK.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2012-13425> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].

- TÜİK (2020). TÜİK Veri Portalı: Kaynağına göre Çekilen Su Miktarı <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].
- TÜİK (2021). TÜİK Veri Portalı: Belediye Su İstatistikleri <https://data.TÜİK.gov.tr/Search/Search?text=Belediye%20Su%20%C4%B0statistikleri> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].
- TÜİK (2023). TÜİK Veri Portalı: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, <https://data.TÜİK.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].
- TÜİK (2023) TÜİK Veri Portalı: Dış Ticaret İstatistikleri, <https://data.TÜİK.gov.tr/Search/Search?text=d%C4%B1%C5%9F%20ticaret%20istatistikleri> [Erişim tarihi: 10 Şubat 2024].
- Vijai, P., & Sivakumar, P. B. (2018). Performance comparison of techniques for water demand forecasting. *Procedia computer science*, 143, 258-266.
- Vijayalaksmi, D. P., & Babu, K. J. (2015). Water supply system demand forecasting using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Aquatic Procedia*, 4, 950-956.
- Walker, D., Creaco, E., Vamvakieridou-Lyroudia, L., Farmani, R., Kapelan, Z., & Savić, D. (2015). Forecasting domestic water consumption from smart meter readings using statistical methods and artificial neural networks. *Procedia Engineering*, 119, 1419-1428.
- Wohl, K. (1940). The mechanism of photosynthesis in green plants. *The New Phytologist*, 39(1), 33-64.
- Yalçıntaş, M., Bulu, M., Küçükvar, M., & Samadi, H. (2015). A framework for sustainable urban water management through demand and supply forecasting: The case of İstanbul. *Sustainability*, 7(8), 11050-11067.
- Yaşar, A., Bilgili, M., & Şimşek, E. (2012). Water demand forecasting based on stepwise multiple nonlinear regression analysis. *Arabian journal for science and engineering*, 37, 2333-2341.

- Yurdusev, M. A., & Fırat, M. (2009). Adaptive neuro fuzzy inference system approach for municipal water consumption modeling: An application to Izmir, Turkey. *Journal of hydrology*, 365(3-4), 225-234.
- Zhou, S. L., McMahon, T. A., Walton, A., & Lewis, J. (2000). Forecasting daily urban water demand: a case study of Melbourne. *Journal of hydrology*, 236(3-4), 153-164.
- Zubaidi, S. L., Al-Bugharbee, H., Muhsin, Y. R., Hashim, K., & Alkhaddar, R. (2020). Forecasting of monthly stochastic signal of urban water demand: Baghdad as a case study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 888, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

EK 1. MODELLEME SONUÇLARI

Tablo 3.6. Devresel Hareket Sonuçları ve Bağıl Hatalar

	YSA ST (C)	Su tüketimi (C)	ÇDR ST (C)	YSA Bağıl Hata	ÇDR Bağıl Hata
2001	-1274,48	-1.280,05	-675,07	0,44%	89,62%
2002	106,69	108,32	375,99	1,53%	71,19%
2003	1.075,25	1.076,44	411,24	0,11%	161,75%
2004	1.375,07	1.373,42	266,41	0,12%	415,53%
2005	2.385,38	2.383,77	279,34	0,07%	753,35%
2006	3.406,79	3.406,80	303,02	0,00%	1024,27%
2007	2.389,91	275,24	-445,47	88,48%	161,79%
2008	-2.950,94	-2.950,95	-879,70	0,00%	235,45%
2009	-2.068,55	-2.069,76	619,59	0,06%	434,05%
2010	-1.400,23	-1.400,55	-578,09	0,02%	142,27%
2011	-1.396,86	-1.399,33	682,60	0,18%	305,00%
2012	-1.586,44	-1.642,55	-429,49	3,54%	282,44%
2013	-1.377,94	-1.378,16	-474,03	0,02%	190,73%
2014	-1.332,10	-1.332,27	-904,69	0,01%	47,26%
2015	29,75	30,57	545,85	2,72%	94,40%
2016	1.249,74	1.258,18	755,92	0,67%	66,44%
2017	1.069,32	1.165,78	690,86	9,02%	68,74%
2018	1.021,96	1.021,56	-583,69	0,04%	275,02%
2019	571,07	572,51	121,94	0,25%	369,49%
2020	149,76	108,93	861,64	27,27%	87,36%
2021	671,05	672,11	-944,17	0,16%	171,19%
			Ortalama Bağıl Hata	6,41%	259,40%

Tablo 3.7. Eğilim Bileşeni Sonuçları ve Bağlı Hatalar

	YSA ST(T)	Su tüketimi(T)	ÇDR ST(T)	YSA Bağlı Hata	ÇDR Bağlı Hata
2001	47.941,82	47.924,16	49.124,57	0,04%	2,44%
2002	48.001,84	48.022,65	48.490,25	0,04%	0,96%
2003	48.106,61	48.108,33	47.929,01	0,00%	0,37%
2004	48.184,79	48.169,50	47.505,56	0,03%	1,40%
2005	48.217,73	48.205,19	47.273,82	0,03%	1,97%
2006	48.228,15	48.228,20	47.266,79	0,00%	2,03%
2007	48.270,80	48.275,13	47.500,83	0,01%	1,63%
2008	48.424,79	48.416,69	47.966,45	0,02%	0,94%
2009	48.731,28	48.726,30	48.648,10	0,01%	0,16%
2010	49.233,97	49.247,89	49.484,90	0,03%	0,48%
2011	50.019,84	50.004,71	50.429,46	0,03%	0,84%
2012	51.000,50	51.005,97	51.566,98	0,01%	1,09%
2013	52.236,04	52.246,91	52.892,07	0,02%	1,22%
2014	53.713,20	53.706,34	54.377,53	0,01%	1,23%
2015	55.358,54	55.349,28	55.966,70	0,02%	1,10%
2016	57.114,56	57.127,43	57.630,87	0,02%	0,87%
2017	58.975,72	58.992,82	59.329,70	0,03%	0,57%
2018	60.936,24	60.910,02	61.032,43	0,04%	0,20%
2019	62.824,26	62.855,29	62.671,03	0,05%	0,29%
2020	64.828,66	64.815,09	64.249,95	0,02%	0,88%
2021	66.732,16	66.781,61	65.782,49	0,07%	1,52%
			Ortalama Bağlı Hata	0,03%	1,06%

Tablo 3.8. Ham Veri Sonuçları ve Bağlı Hatalar

	YSA ST	Su Tüketimi	ÇDR ST	YSA Bağlı Hata	ÇDR Bağlı Hata
2001	46.075,38	46.644,11	47.518,15	1,23%	1,84%
2002	48.229,56	48.130,97	48.593,50	0,20%	0,95%
2003	48.970,04	49.184,77	48.385,19	0,44%	1,65%
2004	49.689,57	49.542,92	47.768,56	0,30%	3,71%
2005	50.572,98	50.588,96	47.564,33	0,03%	6,36%
2006	51.587,28	51.635,00	47.281,24	0,09%	9,21%
2007	48.160,24	48.550,37	45.798,90	0,81%	6,01%
2008	45.811,77	45.465,74	45.582,08	0,76%	0,26%
2009	46.684,78	46.656,54	50.090,94	0,06%	6,86%
2010	47.841,46	47.847,34	50.282,58	0,01%	4,84%
2011	48.584,15	48.605,38	52.043,87	0,04%	6,61%
2012	49.361,13	49.363,42	51.527,91	0,00%	4,20%
2013	50.798,45	50.868,75	52.737,01	0,14%	3,54%
2014	54.391,73	52.374,07	53.761,01	3,71%	2,58%
2015	55.370,61	55.379,84	57.608,71	0,02%	3,87%
2016	58.383,40	58.385,61	59.666,93	0,00%	2,15%
2017	60.147,61	60.158,59	60.468,83	0,02%	0,51%
2018	61.930,81	61.931,58	60.640,28	0,00%	2,13%
2019	66.238,21	63.427,80	63.030,99	4,24%	0,63%
2020	64.919,57	64.924,02	64.732,72	0,01%	0,30%
2021	67.453,71	67.453,72	62.035,77	0,00%	8,73%
			Ortalama Bağlı Hata	0,58%	3,66%

Tablo 3.9. Su Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Çıkarılarak Model Oluşturulması

YSA (T)+ YSA © Su tüketimi tahminlemesi							
Yıllar	Gerçek değer	IH'sız	Bağlı hata	S'siz	Bağlı Hata	N'siz	Bağlı Hata
2001	46.644	46.754	0,235%	47.663	2,138%	46.653	0,019%
2002	48.131	49.125	2,023%	48.124	0,015%	49.061	1,895%
2003	49.185	48.998	0,381%	48.903	0,576%	49.157	0,057%
2004	49.543	49.122	0,858%	48.672	1,790%	51.560	3,912%
2005	50.589	49.256	2,705%	50.595	0,012%	50.593	0,007%
2006	51.635	48.958	5,469%	50.983	1,280%	51.614	0,040%
2007	48.550	48.386	0,340%	48.521	0,060%	48.553	0,004%
2008	45.466	47.553	4,389%	45.979	1,115%	45.485	0,042%
2009	46.657	48.723	4,242%	47.210	1,173%	47.573	1,927%
2010	47.847	47.797	0,105%	51.196	6,541%	47.853	0,012%
2011	48.605	50.592	3,927%	49.794	2,388%	48.603	0,005%
2012	49.363	51.028	3,262%	50.027	1,326%	49.361	0,004%
2013	50.869	52.583	3,260%	51.300	0,842%	50.875	0,012%
2014	52.374	52.564	0,361%	52.818	0,840%	51.377	1,941%
2015	55.380	56.267	1,577%	56.735	2,388%	55.326	0,098%
2016	58.386	57.530	1,487%	58.293	0,158%	54.188	7,746%
2017	60.159	60.074	0,140%	60.272	0,188%	60.158	0,001%
2018	61.932	60.729	1,980%	61.654	0,450%	62.149	0,349%
2019	63.428	65.419	3,044%	63.360	0,107%	62.166	2,029%
2020	64.924	66.019	1,659%	64.970	0,071%	64.925	0,002%
2021	67.454	67.470	0,025%	65.471	3,028%	67.436	0,026%
Ortalama Bağlı Hata			1,975%		1,261%		0,958%

EK 2. ORJİNALLİK RAPORU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orjinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 27/04/2024

Tez Başlığı: Hodrick-Prescott Filtreleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Uzun Dönem Su Tüketimi Tahmini: Türkiye Üzerine Uygulama

Yukarıda başlığı verilen tezin a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 53 sayfalık kısmına ilişkin, 27/04/2024. Tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 11 'dir.

Uygulanan filtrelemeler*:

- ☐ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- ☒ Kaynakça hariç
- ☒ Alıntılar hariç
- ☐ Alıntılar dâhil
- ☒ 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tezin herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Ad-Soyad/İmza
Ömer Faruk Bayarslan

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Ömer Faruk Bayarslan
	Öğrenci No	N21137554
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu

* Tez Almanca veya Fransızca yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.**Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları İkinci bölüm madde (4)'te de belirtildiği üzere: Kaynakça hariç, Alıntılar hariç/dâhil, 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 5 words) filtreleme yapılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

TO HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

Date: 27/04/2024

Thesis Title (In English): Long-Term Water Consumption Forecasting Using Hodrick-Prescott Filtering and Artificial Neural Network: On Türkiye Application

According to the originality report obtained by my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 27/04/2024 for the total of 53 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled above, the similarity index of my thesis is 11 %.

Filtering options applied**:

1. ☐ Approval and Declaration sections excluded
2. ☒ References cited excluded
3. ☒ Quotes excluded
4. ☐ Quotes included
5. ☒ Match size up to 5 words excluded

I hereby declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

Kindly submitted for the necessary actions.

Ömer Faruk Bayarslan

Student Information	Name-Surname	Ömer Faruk Bayarslan
	Student Number	N21137554
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu

**As mentioned in the second part [article (4)/3] of the Thesis Dissertation Originality Report's Codes of Practice of Hacettepe University Graduate School of Social Sciences, filtering should be done as following: excluding reference, quotation excluded/included, Match size up to 5 words excluded.

EK 3. ETİK KURUL MUAFİYETİ FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 27/04/2024

Tez Başlığı (Türkçe): **Hodrick-Prescott Filtreleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Uzun Dönem Su Tüketimi Tahmini: Türkiye Üzerine Uygulama**

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır.
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne veya ruh sağlığına müdahale içermemektedir.
4. Anket, ölçek (test), mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme gibi teknikler kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen araştırma niteliğinde değildir.
5. Diğer kişi ve kurumlardan temin edilen veri kullanımını (kitap, belge vs.) gerektirmektedir. Ancak bu kullanım, diğer kişi ve kurumların izin verdiği ölçüde Kişisel Bilgilerin Korunması Kanuna riayet edilerek gerçekleştirilecektir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Ömer Faruk Bayarslan

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Ömer Faruk Bayarslan
	Öğrenci No	N21137554
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu

* Tez Almanca veya Fransızca yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev. Date	25.01.2024

HACETTEPE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION	
Date: 27/04/2024	
Thesis Title (In English): Long-Term Water Consumption Forecasting Using Hodrick-Prescott Filtering and Artificial Neural Network: On Türkiye Application	
My thesis work with the title given above: - Does not perform experimentation on people or animals. - Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.). - Does not involve any interference of the body's integrity. - Is not a research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from the participants by using techniques such as survey, scale (test), interview, focus group work, observation, experiment, interview. - Requires the use of data (books, documents, etc.) obtained from other people and institutions. However, this use will be carried out in accordance with the Personal Information Protection Law to the extent permitted by other persons and institutions.	
I hereby declare that I reviewed the Directives of Ethics Boards of Hacettepe University and in regard to these directives it is not necessary to obtain permission from any Ethics Board in order to carry out my thesis study; I accept all legal responsibilities that may arise in any infringement of the directives and that the information I have given above is correct.	
I respectfully submit this for approval.	
Ömer Faruk Bayarslan	

Student Information	Name-Surname	Ömer Faruk Bayarslan
	Student Number	N21137554
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu