



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İSTATİSTİK ANA BİLİM DALI

FARKLI ZAMAN SERİSİ ANALİZLERİ İLE HARGEİSA-
SOMALİLİND SU TÜKETİM ÖNGÖRÜLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Abdishakur Ismail ADAM

Danışman
Prof. Dr. Vedide Rezan USLU

SAMSUN
2021

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İSTATİSTİK ANA BİLİM DALI



FARKLI ZAMAN SERİSİ ANALİZLERİ İLE HARGEİSA-
SOMALİLİND SU TÜKETİM ÖNGÖRÜLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Abdishakur Ismail ADAM

Danışman

Prof. Dr. Vedide Rezan USLU

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdihakur Ismail ADAM tarafından, **Prof. Dr. Vedide Rezan USLU** danışmanlığında hazırlanan “**Farklı Zaman Serisi Analizleri İle Hargeisa-Somaliland Su Tüketim Öngörülerinin Karşılaştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 22.2.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Eren BAŞ Giresun Üniversitesi İstatistik Bölümü		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Prof. Dr. Vedide Rezan USLU Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr.Üye. Hasan BULUT Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

21 /03 / 2021

Abdishakur Ismail ADAM

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Farklı Zaman Serisi Analizleri ile Hargeisa-Somaliland Su Tüketim Öngörülerinin Karşılaştırılması.

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19/01/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %6

Tek kaynak oranı : %1 çıkmıştır.

İmza

21 /03 / 2021

Prof. Dr. Vedide Rezan USLU

ÖZET

FARKLI ZAMAN SERİSİ ANALİZLERİ İLE HARGEİSA-SOMALİLİND SU TÜKETİM ÖNGÖRÜLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Abdishakur Ismail ADAM

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İstatistik Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Mart/2021

Danışman: Prof. Dr. Vedide Rezan USLU

Su, yaşamın varlığı için çok önemlidir, güvenli ve temiz su elde etmek her şehrin gelişmiş sosyal ve ekonomik yaşamının önemli bir göstergesidir. Ancak nüfusun artması, eski su tedarik sisteminin kullanılması, kötü yönetim ve net stratejik politikanın olmaması sonucunda Hargeisa şehrinde yeterli su bulunması kritik hale gelmiştir ve su talebi son derece artmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, Box-Jenkins ARIMA metodolojisi ve Üstel Düzleştirme yöntemini uygulayarak Hargeisa aylık su tüketimi için uygun model araştırılıp tahminleri ve önümüzdeki iki yıl su tüketim öngörülerini elde etmek ve bu bulgulara göre su tüketimi için stratejik politikanın geliştirilmesine yardımcı olmaktır. Öncelikle aylık su tüketim verileri, durağan olup olmadığını belirlemek için incelenmiştir. Durağanlığı kontrol etmek amacıyla, zaman serisi grafiği, korelogram ve Artırılmış Dickey-Fuller testi kullanılmıştır. Seri durağan hale getirildikten sonra Box-Jenkins metodolojisi içinde yer alan uygun ARIMA modelleri araştırılmıştır. Diğer taraftan yine tek değişkenli zaman serileri analizi içinde yer alan üstel düzleştirme teknikleri de uygulanmıştır. Her iki yaklaşımda da bulunan modeller model doğruluk kriterlerine göre karşılaştırılarak nihai modele karar verilip Hargeisa aylık su tüketiminin tahminleri ve öngörüler elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucu, su üretimini artırmak ve genel su krizlerini yönetmek için tüm Hargeisa su endişelerine yardımcı olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Su tüketimi, Box-Jenkins ARIMA metodoloji, Üstel Düzleştirme, Öngörüler, Hargeisa.

ABSTRACT

COMPARISON OF HARGEISA-SOMALILAND WATER CONSUMPTION FORECASTS WITH DIFFERENT TIME SERIES ANALYSIS

Abdishakur Ismail ADAM
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Statistics
Master, March /2021

Supervisor: Prof. Dr. Vedide Rezan USLU

Water is very important for the existence of life, obtaining to safe and clean water is key indicator of an improved social and economic life of every city. However, as a result of increasing population, using old water supply system, poor management and lack of clear strategic policy the availability of sufficient water in Hargeisa city has become critical and the demand for water has extremely increased. The main purpose of this study is to investigate the appropriate model for Hargeisa monthly water consumption and to obtain estimates and water consumption forecasts for the next two years by applying the Box-Jenkins ARIMA methodology and Exponential Smoothing method and according to these findings to help to develop a strategic policy for water consumption. Firstly, Monthly water consumption data were examined in order to identify if there is stationary or not. In order to check stationarity, we have used time series plot, correlograms and Augmented Dickey-Fuller test and after getting data stationary some tentative Box-Jenkins models were determined. On the other hand, exponential smoothing techniques which are included in univariate time series analysis were also applied. The models in both approaches were compared according to the model accuracy criteria. After the final model was determined, estimates and forecasts of Hargeisa monthly water consumption were obtained. The outcome of this study can aid to all Hargeisa water concerns to increase water production and managing overall water crises.

Keywords: Water consumption, Box-Jenkins ARIMA methodology, Exponential Smoothing, Forecasts, Hargeisa.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle bu teze başlamama ve bitirmeme izin veren her şeye gücü yeten Yüce Allah'a hamd ediyorum.

Bu tez çalışmanın her aşamasında bilgisi, ilgisi ve desteği bana her zaman yardımcı olan, görüşlerini ve sabrını esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Vedide Rezan USLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni bugünlere getirmek için maddi, manevi ve her türlü fedakârlık yapan anneme, babama, abilerime ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen Yurt Dışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı 'ya en içten şükranlarımı sunarım. Son olarak, bu çalışmada başarılı bir şekilde tamamlanması için kullanmış olduğum veriler veren Hargeisa Su Ajansı elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Abdishakur Ismail ADAM

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	8
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	9
TABLolar DİZİNİ.....	10
1. GİRİŞ.....	11
1.1. Problem Bildirimi	15
1.2. Çalışmanın Amacı.....	16
1.3. Çalışmanın Hedefleri	16
1.4. Çalışmanın Önemi	16
1.5. Anahtar Terimlerin Tanımı	17
1.6. Çalışmanın Sınırlılıkları.....	18
1.7. Çalışmanın Genel Yapısı	18
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	20
2.1. Küresel Su Kaynakları.....	20
2.2. Tatlı Su Kaynakları	21
2.2.1. Donmuş Tatlı Sular	21
2.2.2. Yeraltı Suları.....	21
2.2.3. Yerüstü Suları	22
2.2.4. Desalinasyon (Tuzdan Arındırma).....	23
2.3. Tatlı Suyun Kullanım Alanları	23
2.3.1. Tarım.....	23
2.3.2. Sanayi.....	24
2.3.3. Enerji Üretimi	25
2.3.4. Hanehalkı.....	26
2.4. Su Tüketimi	27
2.4.1. Su Tüketiminin Tanımı	27
2.4.2. Temel İnsani İhtiyaç Olarak Su Tüketimi.....	27
2.4.3. Küresel Su Tüketimi	28
2.4.4. Suyu Yönelik Uluslararası Hedefler	29
2.4.5. Kentsel Su Yönetimi	30
2.4.6. Evsel Su Tüketimini Etkileyen Faktörler.....	32
2.5. Hargeisa Su Altyapısı.....	33
2.5.1. Genel Hatlarıyla Hargeisa.....	33
2.5.2. Hargeisa Su Kaynakları	34
2.5.3. Hargeisa Su Yönetimi	35
2.5.4. Hargeisa Su Temininde Yaşanan Zorluklar	35
2.5.5. Yeni Hargeisa Su Temini Projesi.....	37

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
3.1. Veriler ve Metodoloji	38
3.2. Zaman Serisi Analizinin Temel Kavramları.....	38
3.2.1. Tanım	38
3.2.2. Zaman Serisinin Bileşenleri.....	39
3.2.3. Durağan ve Durağan Olmayan Zaman Serileri.....	40
3.2.4. Durağanlığın Önemi.....	41
3.2.5. Durağanlığın Test Edilmesi	42
3.3. Box-Jenkins Metodolojisi.....	43
3.3.1. ARIMA Modeli.....	44
3.3.2. ARIMA Modelinin Belirlenmesi	45
3.3.3. Model Parametrelerinin Tahmini ve Model Seçimi.....	46
3.3.4. Modelin Tanısal Kontrolü.....	46
3.3.5. Öngörü	47
3.4. Üstel Düzleştirme	47
3.4.1. Üstel Düzleştirmenin Tanımı	47
3.4.2. Tekli Üstel Düzleştirme	47
3.4.3. İkili Üstel Düzleştirme	49
3.4.4. Üçlü Üstel Düzleştirme.....	49
3.4.5. Model Tahmini	51
3.4.6. Düzleştirme Parametrelerinin Seçimi	51
3.5. ARIMA ve Üstel Düzleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Temel Analizler	53
4.2. Durağanlığın Test Edilmesi	54
4.3. Box-Jenkins Metodolojisinin Sonuçları	56
4.3.1. Modelin Belirlenmesi.....	56
4.3.2. Model Tahmini	57
4.3.3. Tanısal Kontrol	58
4.3.4. Öngörü	60
4.4. Üstel Düzleştirme Yönteminin Sonuçları.....	60
4.4.1. Optimal Modelin Belirlenmesi	60
4.4.2. Düzleştirme Sabiti için En İyi Değerin Seçilmesi	60
4.4.3. Öngörü	61
4.4.4. ARIMA ve TUD yöntemlerinin öngörü performanslarının karşılaştırılması	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	67
ÖZ GEÇMİŞ	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

BM	Birleşmiş Milletler
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
GTÖ	Gıda ve Tarım Örgütü
BMÇYF	Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu
HSA	Hargeisa Su Ajansı
AR	Otoregresif
MA	Hareketli Ortalama
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama
ARIMA	Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu
ACF	Otokorelasyon Fonksiyonu
PACF	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu
ADF	Artırılmış Dickey-Fuller
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
BIC	Bayesian Bilgi Kriteri
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzdellik Hata
MSE	Hata Kareler Ortalaması
MAE	Ortalama Mutlak Hata
RMSE	Hata Kareler Ortalamasının Karakökü
MLE	En Çok Olabilirlik Tahmini
TÜD	Tekli Üstel Düzleştirme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Dünya Su Kaynakları Dağılımı (Bralower, 2014)	20
Şekil 3.1. Zaman Serisinin Bileşenleri (Gören, 2016)	40
Şekil 4.1. Hargeisa aylık su tüketimi zaman serisi grafiği (2011-2020).....	54
Şekil 4.2. Hargeisa aylık su tüketiminin ACF ve PACF grafikleri.....	54
Şekil 4.3. İlk fark alma işleminden sonra ACF ve PACF grafikleri	56
Şekil 4.4. Artıkların histogramı ve Jarque–Bera normallik test sonuçları	59
Şekil 4.5. ARIMA (5, 1, 3) modeli için artıkların ACF ve PACF grafiği	59
Şekil 4.6. Gerçek, ARIMA ve TÜD öngörülerin Zaman seri grafiği	61
Şekil 4.7. %95 güven aralığı ile Hargeisa aylık su tüketim öngörülleri	63



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. ACF ve PACF'nin teorik davranışları (Sevüktekin ve Çınar, 2017).....	46
Tablo 4.1. Hargeisa aylık su kullanımının betimsel istatistikleri.....	53
Tablo 4.2. Gerçek verilerin ADF test sonuçları.....	55
Tablo 4.3. İlk fark alma işleminden sonra verilerin (ADF) test sonuçları.....	56
Tablo 4.4. ARIMA (p, d, q) geçici modelleri.....	57
Tablo 4.5. ARIMA (5, 1, 3) parametrelerinin tahminleri.....	58
Tablo 4.6. Ljung-Box Q test sonuçları.....	59
Tablo 4.7. Gerçek ve ARIMA (5,1,3) öngörü değerleri.....	60
Tablo 4.8. Gerçek ve TUD yöntemi öngörü değerleri.....	61
Tablo 4.9. ARIMA ve TUD öngörülerinin 2020 yılı gerçek değerleri ile karşılaştırılması.....	62
Tablo 4.10. ARIMA ve TUD modellerinin öngörü doğruluğu ölçümleri.....	62
Tablo 4.11. Güven sınırları dahil 2021 - 2022 öngörülen Hargeisa aylık su tüketimi.....	63

1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatta kalabilmeleri açısından zaruri ve önemli bir unsurdur. Hücrelerden büyük organlara kadar vücudumuzdaki her sistemin çalışmak için suya gereksinimi vardır. Su sadece sağlığımız için önemli değildir, aynı zamanda yemek pişirme, banyo yapma, temizlik ve içme suyu gibi sayısız ev ihtiyacında kullanılır. Bu yüzden, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu 2010 yılı Temmuz ayında suyu bir temel insan hakkı olarak tanımıştır (Assembly, 2010a). Bununla birlikte, geride bıraktığımız birkaç on yılda birçok ülkede hızla artan nüfus, iklim değişikliği ve yanlış su kullanımı nedeniyle ciddi su kıtlığı gözlemlenmiştir (Vörösmarty vd, 2000).

Küresel çapta, dünya yüzeyinin %71'i sularla kaplıdır. Küresel suyun yaklaşık %97'si okyanuslarda bulunan salindir (tuzlu su) ve sadece %2,5'i tatlı sudur (Igor, 1993). Son zamanlarda deniz suyunu içme suyuna dönüştürme teknolojisi iyice yaygınlaşmıştır. Suyu elde edebileceğimiz başlıca iki kaynak yüzey ve yeraltı su kaynaklarıdır. Yüzey suyu nehirlerde, göllerde ve rezervlerde bulunurken yeraltı suyu yeraltındaki çatlaklarda, kumda, toprak boşluklarında ve akifer denilen kayalarda bulunur (Hanasaki vd, 2010).

Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişim Raporu'na (2019) göre, 1980'lerden bu yana küresel su tüketimi her yıl yaklaşık %1 artmaktadır ve bunun nedeni küresel nüfus artışı, sosyo-ekonomik kalkınma ve değişen su tüketim alışkanlıklarıdır. Küresel su talebinin 2050 yılına kadar benzer bir oranda artmaya devam etmesi beklenmekte ve mevcut su kullanım miktarının %20 ila %30'u üzerine çıkması öngörülmektedir. Bunun başlıca nedeni ise endüstriyel ve evsel sektörlerdeki artan su talebidir (WWAP, 2019). Birleşmiş Milletler, dünya nüfusunun 2030 yılı itibariyle iki milyar (2×10^9) daha artacağını tahmin etmekte (Gerland vd, 2014) ve 2025 yılı itibariyle, 8 milyarlık küresel nüfustan yaklaşık 5 milyar kişinin su kıtlığı yaşayan ülkelerde yaşayacağını öngörmektedir. Buna ek olarak, BM Dünya Su Değerlendirme Programı, 2050 yılında 60 ülkede 7 milyar insanın su kıtlığıyla karşı karşıya kalabileceğini öngörmektedir.

Küresel kentleşme oranındaki hızlı artış ve kırsal bölgelerden kentsel alanlara daha çok insanın göç etmesinin bir sonucu olarak, evsel amaçlar için giderek daha fazla suya ihtiyaç duyulacaktır. Dördüncü Dünya Su Forumu (2006) uluslararası su tüketim raporu rakamlarına göre, kentsel alanda yaşayan bir kişinin günde ortalama

250 litre su tükettiği ancak küresel iklim farklılıkları nedeniyle bireysel su tüketiminin dünya çapında büyük farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir (Shan vd, 2015).

Nüfus artışı, ticari faaliyetlerin genişlemesi, kentsel kalkınma, su kirliliği, iklim değişikliği ve kuraklık dünyanın birçok yerinde giderek artan su kıtlığını katkıda bulunmaktadır. Su kıtlığı veya güvenli içme suyu eksikliği, dünya çapında 1.1 milyardan fazla insanı etkileyen başlıca sorunlardan biridir diğer bir deyişle her altı kişiden biri güvenli içme suyuna erişememektedir (Network, 2010). Dünya nüfusunun beşte birinin, tüm talepleri karşılamaya yetecek kadar doğal su kaynağının olmadığı fiziksel su kıtlığı bölgelerinde yaşadığı tahmin edilmektedir (Shan vd, 2015).

Su kıtlığı başlıca küresel sorunlardan biridir. Bu nedenle; Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (BMÇYF), birçok hükümet, ve bazı kamu ve özel kuruluşlar, başta gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanlarda yaşayanlar olmak üzere, tüm ülke sakinlerine yeterli su tedarik etmek için yoğun çaba sarf etmektedir ve bunun sonucu olarak 1990'dan bu yana 2 milyardan fazla insan daha iyi suya erişim sağlamıştır (UNICEF vd, 2012). Benzer şekilde, içme suyuna erişim sağlayan dünya nüfusun yüzdesi 1990'da %77 iken 2010'da %89'a yükselmiştir. DSÖ ve BMÇYF Su Temini ve Sanitasyonu Ortak İzleme Programı, 2010 yılı itibarıyla dünya nüfusunun %89'una tekabül eden 6.1 milyar insanın iyileştirilmiş içme suyu kaynaklarını kullandığını raporlamıştır. Yine 2015 yılında, içme suyuna erişime ilişkin “Güvenli içme suyuna sürdürülebilir erişimi olmayan nüfusun oranını yarıya indirmek” BM Binyıl Kalkınma Hedefine ulaşıldığını bildirmiştir (Nations, 2015).

Dünya Sağlık Örgütü, kullanma suyunu yemek hazırlama, banyo yapma, içme suyu ve benzeri ev işlerinde kullanılan su olarak tanımlamıştır. Dolayısıyla, evsel su tüketimi toplam su kullanımının önemli bir kısmını oluşturmakta, kentsel ve kırsal alanlarda tüketicilerin yaşam standartlarına göre farklılık göstermektedir (Haziq ve Panezai, 2017). Birleşmiş Milletler; su tedarikinin, yaşam standartlarının ve tesisat malzemelerinin dünya çapında geliştirilmesi ile birlikte gelişmekte olan ülkelerdeki evsel su tüketiminin %50'nin üzerinde artacağı öngörüsünde bulunmuştur (Reig vd, 2013). İklim değişikliği ayrı bir sorun teşkil etmekte ve mevcut su kaynakları üzerinde olası etkilere sebep olmaktadır. Küresel ısınma iklim değişikliğinin bir neticesidir ve çoğunlukla fosil yakıtların kullanımı, ormansızlaştırma ve çiftçilik gibi beşeri faaliyetlerin atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu arttırmasından kaynaklanır (Shongwe vd, 2011).

İklim değişikliğinin etkisiyle ortaya çıkan kuraklıklar ciddi endişe kaynağıdır. Benzer şekilde karasal buzulların erimesi sonucu yükselen deniz seviyesi kıyısulak alanlara zarar verecek ve de oldukça pahalı kıyı setlerini inşa etmeye mali gücü yetmeyen ve yer değiştirmeyen toplulukları sıkıntıya sokacaktır (Mo vd, 1997).

Afrika su kıtlığı riskiyle karşı karşıyadır ve de 2030 yılı itibariyle 75 ila 250 milyon Afrikalının su stresli (*su sıkıntısı çeken*) bölgelerde yaşacağı tahmin edilmektedir. Örneğin, Afrikanın en kalabalık nüfuslu ve Dünyanın ise en kalabalık yedinci ülkesi olan Nijerya'da, yaklaşık 57 milyon insanın güvenilir ve içilebilir suya erişimi yoktur (Ajadi, 2010). Buna ek olarak, Nijerya, özellikle de kentsel alanlarda yüksek nüfus artış oranına sahiptir ve bu durum evsel ve diğer kullanımlar için ihtiyaç duyulan su miktarını arttırmakta ve ülkenin su kaynakları üzerinde artan baskıya neden olmaktadır (Ojo, 2014).

Öte yandan, su kıtlığının Afrika üzerindeki en büyük etkisi insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütüne göre; kolera, ishal, dizanteri, tifo ateşi dahil suyla taşınan hastalıkların yanı sıra sıtma gibi diğer hastalıkların yayılması suyun yetersiz kullanımından kaynaklanmaktadır. Buna ilaveten, su kıtlığı birçok Afrikalının evlerinde su depolamasına sebep olmakta ve bu durum evsel su kirliliği riskini arttırmakta ve böylelikle suyla taşınan hastalıklar yayılabilmektedir (WHO, April 2012). Dahası, BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden biri olan temiz su ve sanitasyon hedefine Afrika'da ulaşılması, kıtadaki güvenilir ve iyileştirilmiş içme suyu ve sanitasyon hizmetlerinin Dünyanın en düşük seviyesinde olması sebebiyle, bir diğer ana zorluğu teşkil etmektedir.

İnsani Gelişme Raporu, insan su kullanımının çoğunlukla tarıma ve sulamaya ayrıldığını belirtmektedir. Afrika gibi gelişmekte olan bölgelerde, tarım su tüketiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bunun nedeni, günlük minimum 3.000 kalori yiyecek üretmek için yaklaşık 3.500 litre su gerektirmesidir (Watkins, 2006). (Otieno, 2008), Afrika'daki hanehalklarının çoğunluğunun tarımsal üretime bağımlı kaldığını ve de kırsal alanlardaki ailelerin yaklaşık %80 ila %90'ının kendi yiyeceklerini ürettiklerini ileri sürmüştür. (Mabhaudhi vd, 2016), Sahraaltı Afrikası'ndaki tarımsal üretimin %70'inden fazlasının yağmura dayalı tarım ile gerçekleştiğini ve mevcut iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunlarının artmasıyla, mahsullerin kuraklık ve sellerden etkilenme olasılığının daha yüksek olduğunu raporlamıştır.

Somali de gelişmekte olan diğer birçok ülke gibi güvenli içme suyuna erişimde zorluklarla karşılaşmaktadır. DSÖ ve BMÇYF 2019 yılı Su Temini ve Sanitasyonu Ortak İzleme Programı raporuna göre, Somali genelinde temel su tedarik (suya erişim) oranı sadece %52'dir, bu oran kırsal kesimlerde %28 kentsel alanlarda ise %83'tür. Aynı raporda, Somali'nin mevcut su kaynaklarının %40'ının işlevsel olmadığı ifade edilmiştir. Su temini sistemlerinin hatalı işletilmesinin ana sebepleri; söz konusu sistemlerin kötü yönetimi, işletme maliyetlerinin yüksek olması, bakım için ayrılan bütçenin düşük oluşu, yedek parçaların tedarik zincirinde yaşanan eksiklikler ve hizmet sağlayıcıların teknik yetersizlikleri şeklinde sıralanabilir. Somali'de kullanma suyunun %80'i yeraltı sularından temin edilmektedir. Öte yandan, yeraltı suyu rezervleri 100 ila 300 metre derinliktedir ve ülkenin birçok yerinde tuz yoğunluğu yüksektir, bu durum ülkenin su kalitesini düşürmektedir.

Somali'nin yegane kesintisiz yerüstü su kaynakları güney bölgeleri boyunca uzanan Shebelle ve Juba nehirleridir. Bu iki nehir, sadece çok ihtiyaç duyulan sulamayı değil aynı zamanda yüksek verimli taşkınlarıyla yurtiçi ve yurtdışı piyasalarına satılan mahsullerin büyümesine katkı sağlayarak ülkenin tarımsal üretimini sürdürülebilir kılar (UNICEF, 2019). Ancak son yirmi yılda Somali'de devam eden kuraklıklar su sektörünü doğrudan etkilemiştir. Su miktarları azalırken, fiyatlandırma düzensiz bir şekilde artmıştır. Açık su kuyuları ve tulumba kuyuları gibi temel su kaynakları son derece güvenilir hale gelmiştir (UNICEF, 2019).

Somaliland, 1991 yılında Somali'den ayrılarak tek taraflı bağımsızlığını ilan eden bir devlettir. Somaliland'in başkenti Hargeisa'dır. Ülkedeki su mevcudiyetini destekleyici büyük akarsular veya sürekli yerüstü suları olmadığından, Somaliland yerüstü su kaynaklarından ziyade daha çok yeraltı su rezervlerine bağımlıdır. Hargeisa'nın su yönetimi ve dağıtımından sorumlu olan kurumun adı Hargeisa Su Ajansı'dır (HSA). HSA, Hargeisa şehrinde yaşayan tüm insanlara su sağlama yetkisine sahip ve su sağlama işlerini yöneten bağımsız bir su tedarik şirkettir.

Hargeisa Su Ajansı, Çin hükümeti tarafından inşa edilen toplu su tedarik şebekesini işletmek üzere 1974 yılında kurulmuştur. Hargeisa'nın nüfusunun 1974 yılında 175000 ila 180000 arasında olduğu hesaplanmıştır (Buuni vd, 2015). Buuni'ye (2014) göre, Hargeisa için yeterli su kaynaklarının mevcudiyeti çok daha kritik bir düzeye ulaşmıştır. Hargeisa sıcak ve kuru bir iklime sahiptir ve şehre sadece yılda iki kere yağmur yağmaktadır. Hargeisa ülkenin en kalabalık nüfuslu şehridir. Hargeisa

nüfusunun yaklaşık bir buçuk milyon olduğu tahmin edilmektedir, bu da şehir sakinlerinin sayısının son on yılda ikiye katlandığı anlamına gelir. Bunun sonucunda, şehir her yönde muazzam bir şekilde genişlemiş ve birçok yeni konut inşa edilmiştir. Şehirdeki su yönetiminin verimsizliği ile artan nüfusun birleşiminin bir neticesi olarak, yeterli su kaynaklarının mevcudiyeti kritik düzeye ulaşmıştır. Hargeisa nüfusunun su talebi aşırı derecede artmış ve su kıtlığı şiddetli hale gelmiştir (Buuni vd, 2015).

Bu tez çalışması, öncelikle *Box-Jenkins Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA)* metodolojisi ve *Üstel Düzleştirme* metodu gibi farklı zaman serisi yöntemlerinin uygulanmasıyla Hargeisa aylık su tüketim tahminlerini karşılaştırmayı ve ardından önümüzdeki iki yılın Hargeisa su tüketim oranlarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın bulguları, hem Somaliland hükümetine hem de diğer politika yapıcılara Hargeisa şehrinin yüksek su talebini kontrol etmeye yönelik ideal kararlar alma hususunda yardımcı olabilir.

1.1. Problem Bildirimi

Güvenli ve temiz su, şehirlerin sosyo-ekonomik açıdan gelişmesi için önemlidir. Ancak, Hargeisa Su Ajansı mevcut durumda günde 9 milyon litre su tedarikinde bulunurken, şehir nüfusunun ihtiyacı günlük 40 milyon litreden fazladır, dolayısıyla HSA'nın tedarik ettiği rakam Hargeisa nüfusunun talebini karşılamada yetersiz kalmaktadır (Buuni vd, 2015). Buna ilaveten, Somaliland Kalkınma Fonu, Hargeisa şehrinin tahmini 1,5 milyon sakininin %65'inden fazlasının mevcut durumda günlük su tüketimleri için bakımsız su kaynaklarından tankerlerle taşınan suya muhtaç olduğunu rapor etmiştir (Farah ve Yonis, 2015). Geride kalan 20 senede ikiye katlanan ve giderek artan şehir nüfusu ile 1970'li yıllardan kalma 180000 şehir sakininin su ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş eski su temini sisteminin, kötü su yönetimi ve şehrin su altyapısını geliştirilme hususunda net bir stratejik görüş bulunmaması birleşmesi sonucunda, Hargeisa için yeterli su kaynaklarının mevcudiyeti kritik düzeye ulaşmış ve şehir nüfusunun su talebi aşırı derecede artmıştır. Açıkça görülüyor ki Hargeisa'nın kentsel su tüketimi için uluslararası minimum standartları karşılamak ve şehir sakinlerinin yaşamlarını iyileştirmek için su altyapısına daha fazla yatırım yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Her ne kadar, şehrin su altyapısını genişletmek için yeni bir proje şu anda yapım aşamasında olsa da proje henüz tamamlanmamıştır (UN-Habitat, 2015).

Dolayısıyla, bu tez çalışmasında, Hargeisa'nın önümüzdeki iki yıl boyunca ne kadar su tüketeceği incelenecek ve bu konuda önemli bilgiler sunulacaktır. Çalışma bulgularının, ilerideki karar alma ve planlama süreçleri için avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının ana amacı, farklı zaman serisi yöntemlerinin uygulanarak Hargeisa aylık su tüketim tahminlerinin karşılaştırılması ve ardından en iyi yöntemi kullanarak Hargeisa'nın önümüzdeki iki yıl boyunca tüketeceği su miktarının belirlenmesi amacıyla Hargeisa su tüketim oranlarının tahmin edilmesidir.

1.3. Çalışmanın Hedefleri

Bu tez çalışmasının özel hedefleri şunlardır:

1. Box-Jenkins metodolojisi ve Üstel Düzleştirme yöntemlerini kullanarak Hargeisa'nın aylık su tüketimi tahmin etmek.
2. İstatistiksel performans ölçümleri vasıtasıyla bu yöntemlerden elde edilen tahminleri karşılaştırmak.
3. Hargeisa su tüketimi verilerini tahmin etmek için en uygun zaman serisi yöntemini seçmek.
4. Hargeisa'nın önümüzdeki iki yıl için aylık su tüketim oranlarının öngörülerini elde etmek.

1.4. Çalışmanın Önemi

Hargeisa'nın gelecekteki su tüketim oranları hakkında daha önce hiç çalışma yapılmadığından, bu tez çalışması Hargeisa su çalışmaları ile ilgilenen tüm merciler için oldukça önemli olacaktır. Birçok yetkili mercii arasından Hargeisa Su Ajansı ağırlıklı olarak Hargeisa şehrine su temininden sorumludur. Öte yandan çalışmanın bulguları Somaliland Su Bakanlığı ve Somaliland Ulusal Planlama ve Kalkınma Bakanlığı açısından da Hargeisa şehrinin su tüketimine ilişkin sorunlar hakkında planlama oluşturmak ve eylemlerde bulunmak için önemli olacaktır. Dahası sivil toplum kuruluşları da bu çalışmanın sonuçlarından yararlanarak Hargeisa su kullanımına ilişkin projelerini geliştirebilecektir.

Aynı şekilde uluslararası örgütler ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Birleşmiş Milletler-Su gibi ajansları ve diğer ilgili kuruluşlar da bu çalışmanın sonuçlarını kullanarak daha ileri çalışmalar yapabilir veya Hargeisa su temininin

geniştirilmesi için iyileştirme ve güçlendirme programları yürütebilir. Ayrıca araştırmacılar bu çalışmayı Hargeisa su sorunları ile ilgili daha ileri çalışmalar yapmak için ilgili alanlarda literatür olarak kullanabilir.

Son olarak, bu tez çalışmasının sonuçları hem karar vericilere hem de politika uygulayıcılara en uygun kararları alma ve başkent Hargeisa'nın su risklerinin tam olarak çözüme kavuşturma hususlarında yardımcı olabilir.

1.5. Anahtar Terimlerin Tanımı

Zaman serisi analizi, anlamlı istatistikler çıkarmak için zamana dayalı bir dizi verinin analiz edilmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Söz konusu analiz, önceden gözlemlenen değerleri kullanıp gelecekteki olayları tahmin etmek amacıyla zaman serisi verilerini analiz etme ve modelleme yöntemlerini kapsar (Rangaswamy vd, 2013).

Zaman serisi analizinin iki ana hedefi vardır:

- A. Bir zaman serisinin zaman içerisindeki değişiminin yapısını ortaya koymak ve modellemek.
- B. Zaman serisinin gelecek değerlerini öngörmek.

Box-Jenkins Yöntemi gelecekteki değerleri tahmin etmek amacıyla zaman serisi verilerini analiz eden ve modelleyen istatistiksel bir tekniktir. Bu yöntemin adı, belirli zaman serisi veri setleri için modeller tanımlama, tahmin etme ve kontrol etme sürecini geliştiren istatistikçi George Box ve Gwilym Jenkins'ten gelmektedir (Box vd, 1970). Box ve Jenkins, zaman serisi verilerinin geçmiş değerlerini kullanıp en uygun zaman serisi modelini bulmak için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modellerini geliştirmişlerdir. Bu modeller sınıfı içerisinde üç farklı model incelenmektedir. Bunlar otoregresif modeller AR(p), hareketli ortalama modelleri MA(q) ve karma modeller ARIMA(p,d,q) olarak bilinmektedir. Zaman serisi verilerini analiz ve tahmin etmede en etkili yaklaşımdır (Tebbs, 2011).

Üstel Düzleştirme Yöntemleri trend, mevsimsel bileşen veya her ikisine sahip verileri analiz etmek ve modellemek için kullanılan zaman serisi analizi yöntemleridir. İlk olarak 1956'da Robert Goodell Brown tarafından istatistik literatürüne kazandırılan yöntem, 1957'de Charles C. Holt tarafından geliştirilmiş ve 1960'da Holt ve Winters tarafından nihai halini almıştır. Üstel düzleştirme zaman serisi analizinde en başarılı tahmin yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Hyndman ve Athanasopoulos,

2018). Başlıca üç tip üstel Düzleştirme tahmin yöntemi vardır. *Basit Üstel Düzleştirme* trend veya mevsimsellik bileşenine sahip olmayan zaman serilerini analiz etmek için uygun bir yöntemdir. *Çift Üstel Düzleştirme* basit üstel düzgünleştirilmenin geliştirilmiş versiyonu olup trendli zaman serileri için geliştirilmiştir. *Üçlü Üstel Düzleştirme* ise en ileri yaklaşım olup hem trend hem de mevsimsellik bileşenine sahip zaman serisi verilerinin analizinde oldukça başarılıdır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018).

1.6. Çalışmanın Sınırlılıkları

Diğer akademik çalışmalarda olduğu gibi, bu tez çalışmasının da kendine özgü sınırlılıkları bulunmaktadır ve bunlar aşağıdakileri kapsar:

- Çalışma yalnızca iki yıllık kısa ve sınırlı bir zaman çerçevesine sahiptir.
- Çalışmanın bulguları sadece Hargeisa şehri için geçerlidir, ülkedeki başka hiçbir bölge ve ilçe ile ilişkilendirilmeyecektir.
- Hargeisa şehrinde yapılan bu çalışma türünün ilk örneği olduğundan, geçmiş araştırmaların eksikliği ve konuyla ilgili literatürün sınırlı sayıda oluşu karşılaşılan başka bir zorluktur.
- Box-Jenkins ARIMA yöntemi sadece durağan bir zaman serisi (*ortalamasının, varyansının ve otokorelasyonunun zamanla takriben sabit olması gereken*) için uygundur ve bu yaklaşım durağan olmayan veriler için kullanılmaya uygun değildir (Gujarati ve Porter, 2003).

1.7. Çalışmanın Genel Yapısı

Bu tez çalışması aşağıdaki şekilde organize edilmiştir:

Birinci Bölüm Giriş: Bu bölüm; çalışmanın arka planını, sorunun ifadesini, çalışmanın amaçlarını ve önemini tartışan giriş kapsamakta, ayrıca çalışmanın sınırlılıklarını ve organizasyonunu da sunmaktadır.

İkinci Bölüm Literatür Taraması: Bu bölüm; farklı yazar, akademisyen ve araştırmacıların su tüketimi konusuna ilişkin bulgu ve fikirlerini tanımlamakta, ayrıca su ile ilgili literatür ve teorik altyapıyı vurgulamaktadır. Bölümün başlıkları; küresel su kaynakları, tatlı su kaynakları, tatlı suyun kullanım alanları, su tüketimi, su ile ilgili uluslararası hedefler ve son olarak Hargeisa su sistemidir.

Üçüncü Bölüm Materyal ve Yöntem: Bu bölüm, çalışma verilerinin analizlerinde kullanılan matematiksel ve istatistiksel araçlara ve genel olarak çalışmanın metodolojisine odaklanmaktadır. Çalışma kapsamında esasen verilerin analizleri için Box-Jenkins ve Üstel Düzleştirme olmak üzere iki farklı zaman serisi analiz yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır.

Dördüncü Bölüm Bulgular ve Tartışma: Bu bölüm, üçüncü bölümde belirtilen iki farklı zaman serisi yöntemini uygulayarak Hargeisa su tüketimi verileriyle ilgili bulguları, sonuçları ve tartışmaları ele almaktadır.

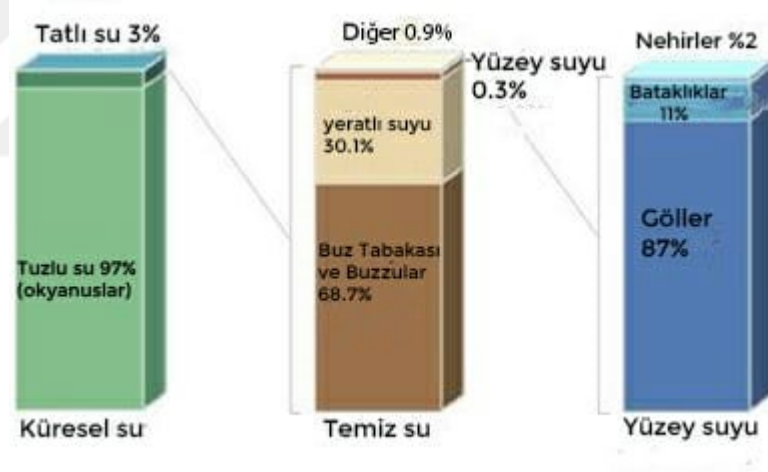
Beşinci Bölüm Sonuç ve Öneriler: Bu bölüm, analizlerden elde edilen bulgulara dayanarak çalışmanın sonucunu ortaya koymakta ve konuya ilişkin olası öneriler ve daha ileri araştırma alanları sunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Küresel Su Kaynakları

Su, insanlığın refahı ve hayatımızın birçok alanı için oldukça önemli bir unsurdur. Su; tarımsal, endüstriyel, evsel, rekreasyonel ve çevresel faaliyetler gibi birçok amaç için kullanılabilir. Ancak, küresel su kaynakları beşeri faaliyetler nedeniyle baskı altındadır.

Dünya genelinde küresel suyun %97'si tuzlu sudur ve bunun yalnızca %3'ü tatlı su olarak değerlendirilmektedir (Bralower ve Bice, 2014). Tatlı su genellikle düşük konsantrasyonlarda çözünmüş tuzlara sahip olarak kabul edilir, milyonda 500 parçadan daha az çözünmüş tuz içeren su olarak tanımlanabilir (Tóth, 2009). Tatlı su; buzullarda, göllerde, nehirlerde, derelerde, rezervuarlarda ve hatta yeraltı sularında bulunabilir. Küresel tatlı suyun %65'inden fazlası buzullarda ve kutuplardaki buz tabakasında donmuş halde olsa da geri kalan donmamış tatlı su çoğunlukla yer altı suyu şeklindedir ve yalnızca küçük bir kısmı yer üstünde bulunur (Radwan vd, 2011).



Şekil 2. 1. Dünya Su Kaynakları Dağılımı (Bralower, 2014)

Yukarıdaki Şekil 2.1.'den görülebileceği üzere, Dünyadaki tatlı suyun çoğu kutuplardaki buz tabakasında ve buzullarda (%69) donmuş halde ve yeraltı sularında (%30) bulunurken, tüm göl, nehir ve dereler hep birden küresel tatlı suyun hemen hemen (%1)'ini oluşturmaktadır.

Tatlı su, kullanma suyu (veya içme suyu) ile aynı değildir. Yeryüzündeki tatlı suların çoğu (yerüstü ve yeraltı suları) herhangi bir arıtma işlemi yapılmadan içmeye uygun değildir.

Tatlı su, beşeri faaliyetler veya sel, kasırga, hortum, deprem ve tsunami gibi doğal afetler nedeniyle kolayca kirlenebilir.

2.2. Tatlı Su Kaynakları

Yeryüzünde tatlı suyun bulunabileceği farklı kaynaklar vardır ve bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur:

2.2.1. Donmuş Tatlı Sular

Donmuş tatlı sular, kutuplardaki buzul tabakalarında, buzullarda ve sürekli karlarda bulunmaktadır. Buzullar Dünyadaki tüm kıtalarda bulunabilir, ancak bugün yeryüzünde yalnızca üç devasa buz örtüsü bulunmaktadır: Grönland buz örtüsü, Batı Antarktik buz örtüsü ve Doğu Antarktik buz örtüsü (Alley vd, 2005).

Küresel kalıcı buz hacmindeki donmuş suyun çoğu (%99,5) buz örtülerinde ve buzullarda bulunmaktadır (Bennett ve Glasser, 2011). Ayrıca permafrost (sürekli donmuş halde bulunan toprak) bölgelerinin zemini, donmuş göl ve nehirler, mevsimsel kar örtüsü ve benzeri yerlerde de az miktarda olsa buz depolanmıştır.

Buzullar dünyadaki toplam su kaynağının sadece %2'sini oluşturur öte yandan gezegendeki tatlı suyun yaklaşık %70'i Antarktika ve Grönland buz örtülerinde donmuş durumdadır, geri kalan %30'u ise tüketime hazırdır (Dubey ve Pandey, 2014). Antarktik buz örtüsü dünyadaki en büyük donmuş tatlı su deposudur ve Dünya yüzeyindeki karaların %8,3'ünü kaplamaktadır. Grönland buz örtüsü ise küresel yüzeydeki karaların %1,2'sini kaplamaktadır (Alley vd, 2005).

Hansen vd'ye (2016) göre, Antarktik buz örtüsünün erimesi durumunda küresel deniz seviyesi yaklaşık 60 metre (200 fit) yükselebilir. Bu durum, aynı zamanda Batı Avrupa'da daha yağışlı yazlara ve Amerika Birleşik Devletleri'nde daha aşırı sıcak dalgalarına neden olabilir. Neredeyse Meksika kadar büyük yüzölçümüne sahip Grönland buz örtüsünün tamamen erimesi durumunda, küresel deniz seviyesi yaklaşık 7 metre (23 fit) yükselebilir (Gregory vd, 2004).

2.2.2. Yeraltı Suları

Yeraltı suları, Dünya yüzeyinin altında bulunan sular olarak tanımlanabilir. Yeraltı suları, akifer adı verilen kaya ve tortularda tutulur ve bu kütlelerin içinden akar. Yeraltı suları, dünyadaki tatlı su rezervlerinin yaklaşık %30'unu oluşturmakta ve tüm

küresel suyun yaklaşık %0,76'sına tekabül etmektedir (Gregory vd, 2004). Birleşmiş Milletler'e göre yeraltında 10 milyon kilometre küp su depolanmıştır.

Yeraltı suları, kuraklık dönemlerinde maruz kalınan yerüstü suyu sıkıntısını azaltabilecek önemli bir kaynaktır. Dahası yeraltı suları, tükenme süreleri haftalardan yıllara değişkenlik gösteren yerüstü tatlı su kaynakları gibi kısa vadeli su hazneleri ile karşılaştırıldığında uzun vadeli doğal su hazneleridir (Bethke ve Johnson, 2008).

Yeraltı suları genellikle yerüstü sularına göre daha ucuz, daha elverişli ve daha temizdir. Dolayısıyla, çoğunlukla kamuya su temininde kullanılmaktadır. Örneğin, yeraltı suyu Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en büyük su kaynağıdır ve Kaliforniya'nın yıllık yeraltı suyu tüketimi diğer eyaletlere kıyasla en büyük miktara ulaşmaktadır (Downs ve Day, 2005).

Küresel çapta, yeraltı suyu çekilen tüm tatlı suların üçte birini oluşturmakta ve evsel, tarımsal ve endüstriyel amaçlar için kullanılan suyun tahmini olarak sırasıyla %36, %42 ve %27'sini sağlamaktadır (Döll vd, 2012).

2.2.3. Yerüstü Suları

Yerüstü suları; nehirler, dereler, göller ve sulak alanlar gibi Dünya yüzeyinde bulunabilen sulardır. Okyanuslar, tatlı su olmasalar da yerüstü suyu olarak kabul edilmektedir. Yerüstü suları, mavi su olarak da adlandırılabilir.

Yerüstü suları, içme suyu olarak kullanılmakla beraber sulama, atık su arıtımı, hidroelektrik, hayvancılık ve endüstriyel üretim için de oldukça önemlidir. Yerüstü suları günlük işlerde kullanılan suyun yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır (Mullen, 2012). Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu'nun (USGS) raporuna göre, yerüstü suyu litre başına 1.000 miligramdan (m / L) daha az çözünmüş katı içerdiğinde tatlı su olarak kabul edilebilir.

Kalıcı, Yarı Kalıcı ve İnsan Yapımı olmak üzere üç tür yerüstü suyu bulunmaktadır. Kalıcı (*Sürekli*) yerüstü suları yıl boyunca devamlılık gösteren sulardır ve bu tür sular nehirlerde, bataklıklarda ve göllerde bulunabilir. Yarı kalıcı (*geçici*) yerüstü suları, yılın yalnızca belirli zamanlarında var olan ve çay, lagün (*deniz kulağı*) ve su kuyusu gibi alanlarda bulunabilen suları ifade eder. İnsan yapımı yerüstü suları, barajlar ve yapay sulak alanlar gibi insanların çeşitli amaçlarla inşa ettikleri su kaynaklarıdır.

Göller ve nehirler küresel yerüstü sularının önemli bir kaynağıdır. Göller, yerüstü tatlı sularının yaklaşık %87'sine karşılık gelir; bunun %29'unu Afrika'daki büyük göller, %22'sini Rusya'daki Baykal gölü, %21'ini Kuzey Amerika'daki büyük göller ve %14'ünün diğer göller oluşturur (Perlman, 2005). USGS'ye göre, nehirlerdeki toplam su hacminin 2,120 km³ olduğu tahmin edilmektedir ki bu hacim küresel yerüstü tatlı sularının %2'sidir.

2.2.4. Desalinasyon (Tuzdan Arındırma)

Desalinasyon, tuzlu suyun (genellikle deniz suyu) içilebilir suya dönüştürüldüğü yapay bir işlemdir. Söz konusu işlemde, insani tüketime veya sulamaya uygun su üretimi için tuzlu su tuzlardan ve minerallerden arındırılır. En yaygın desalinasyon işlemleri termal (*damıtma işlemi*) veya elektrikle (*ters ozmoz işlemi*) yapılanlardır (Al-Karaghoulı ve Kazmerski, 2012).

Genellikle deniz suyunun desalinasyonu, nehirlerden veya yeraltı sularından çekilen tatlı suya göre daha maliyetlidir. Bununla birlikte, yağmurdan bağımsız bir su kaynağıdır ve dünya nüfusunun yaklaşık %1'i günlük ihtiyaçlarını karşılamak için tuzdan arındırılmış su kullanmaktadır (Ebrahimi vd, 2018). Desalinasyon, Orta Doğu ve Karayip ülkelerinin ana su kaynağıdır (Fischetti, 2007). Örneğin Katar ve Kuveyt gibi ülkeler, evsel ve endüstriyel tatlı su ihtiyaçları için desalinasyona %100 bağımlıdır (Veale, 2015).

2.3. Tatlı Suyun Kullanım Alanları

Tatlı sular farklı amaçlar için kullanılabilir. Bununla birlikte, su genellikle tarım, sanayi, enerji üretimi ve hanehalkı ihtiyaçları için kullanılır.

2.3.1. Tarım

Tatlı sular, tarımda ve gıda üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Su esas olarak hem yağmura dayalı hem de sulamaya dayalı tarımda kullanılmaktadır (Wallace, 2000).

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'na göre, gıda üretimi ve tarımsal kaynaklarda kullanılmak için ayrılmış suya tarımsal su denir. Nehirlerden ve yeraltı sularından elde edilen küresel tatlı suyun yaklaşık yüzde 70'i tarımsal su olarak gıda ve diğer tarımsal ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Küresel düzeyde, ekili toplam arazinin sadece %20'sinde sulu tarım yapılırsa da, dünya çapında üretilen toplam

gıdanın %40'ı sulu tarımla üretilmektedir. Sulu tarımın gelişmesi, küresel gıda üretimini arttırmış ve giderek artan dünya nüfusunu beslemeyi mümkün kılmıştır (Rosegrant vd, 2009).

Hayvancılık sektörü halihazırda toprak ve su gibi doğal kaynakların ana kullanıcılarından biridir. Günümüzde toplam ekili arazinin yaklaşık %35'i ve suyun yaklaşık %20'si yem üretimi için kullanılmaktadır (Opio vd, 2012).

Deutsch ve diğerleri, hayvancılık sektörünün yıllık 11.900 km³ tatlı su kullandığını tahmin etmektedir, bu hacim yıllık küresel su akışının yaklaşık %10'una denk gelmektedir (Deutsch vd, 2010). Dahası, Hayvancılık sektörünün yüksek su tüketimi, bir hayvanı yetiştirip kesmek için geçen süre açısından oldukça önemli bir faktördür ve mahsul üretimine kıyasla daha yüksek istifadeye sahiptir. Örneğin, 0,5 kg sığır eti üretimi için 1800 galon su gerekirken, 1 kg mısır hasadı için yalnızca 216 galon su gerekmektedir.

Bunlarla beraber; hızla artan nüfus, kentleşme, iklim değişikliği ve ülkeler arası su rekabeti, gelecek yıllarda tarımsal su talebi üzerinde yüksek baskı oluşturacak ve dolayısıyla küresel gıda güvenliği olumsuz yönde etkilenecektir.

2.3.2. Sanayi

Endüstriler, yeryüzündeki ana su kullanıcılarından biridir. Avrupa'da toplam su çıkarımının yaklaşık %40'ı imalatta ve diğer endüstriyel işlerde kullanılmaktadır (Förster, 2014)(Förster, 2014).

Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu'na göre, endüstriler, bir ürünü imal etmek, işlemek, yıkamak, seyreltmek, soğutmak veya taşımak için su kullanabilir. Aynı şekilde, eritme tesisleri (*dökümhaneler*); petrol rafinerileri; kimyasal ürün, gıda mamülü ve kağıt üreten işletmelerde de su kullanılmaktadır (Lane, 2004).

Küresel çapta, Amerika Birleşik Devletleri yılda 300 milyar m³'ün üzerindeki su kullanımı ile en büyük endüstriyel su kullanıcısıdır ve bu hacim, yılda yaklaşık 140 milyar m³ su kullanan ikinci en büyük endüstriyel su kullanıcısı Çin'in açık ara önündedir (Ritchie ve Roser, 2017).

Bununla birlikte, endüstriyel su kullanımı dünya çapında çeşitlilik göstermektedir. Bunun nedeni ülkelerin farklı ekonomik koşullara sahip olmasıdır. Yüksek gelirli ülkeler sularının %59'unu endüstride kullanırken, düşük gelirli ülkelerde bu oran sadece %8'dir (Pfister vd, 2011). Amerika, Avrupa ve Doğu

Asya'daki en gelişmiş ülkeler endüstriyel kullanım için yılda 1 milyar m³'ten fazla su kullanırken, söz konusu oran her yıl 500 milyon m³'ten az su kullanan Sahra Altı Afrika ve Güney Asya ülkelerinde genellikle çok daha düşük kalmaktadır (Ritchie ve Roser, 2017).

Endüstriyel su kullanımındaki büyük artış, doğal su kaynakları üzerinde kritik bir etkiye neden olmaktadır. Endüstriyel atık sular, doğal su kirliliğinin ve çevresel bozulmanın ana sebeplerinden biridir. Sanayi tesislerine giren büyük miktarda su endüstriyel üretim için kullanıldıktan sonra atık suya dönüşmektedir. Gelişmiş ülkelerde, atık suyun arıtılması çok büyük miktarda finansal kaynak ve enerjiye mal olurken, gelişmekte olan ülkelerde atık su genellikle sadece kısmi arıtma ile veya bazı zamanlar hiç arıtılmadan bırakılmaktadır (Jia vd, 2006).

2.3.3. Enerji Üretimi

Tatlı sular, elektrik enerjisi üretimi için de kullanılabilir. Su gücü olarak da bilinen hidrolik güç, baraj ve benzeri tesisler aracılığıyla düşen veya hızlı akan suyun enerjisinden elde edilen güçtür. Nitekim hidrolik güç, elektrik üretimi için bir kaynaktır ve hidrolik güç sisteminden elde edilen elektriğe hidroelektrik denir.

19. yüzyılın sonlarına doğru elektrik üretim kaynağı olarak görülmeye başlanan hidrolik güç, 20. yüzyılın başlarında gelişerek modern hidroelektrik santrallerine dönüşmüştür. Hidroelektrik santraller/sistemler, toplam küresel elektrik üretiminin %16'sını karşılamaktadır ve küresel yenilenebilir enerjinin yaklaşık %86'sını sağlamaktadır (Hamududu ve Killingtveit, 2012). Çin'de bulunan Üç Boğaz Barajı, kurulu kapasite (22,500 MW) bakımından dünyanın en büyük hidroelektrik santralidir ve her yıl 101,6 terawatt/saatten fazla enerji üretmektedir (Ehrlich ve Geller, 2017).

Hidroelektrik üretimi, küresel elektrik gereksinimine büyük bir katkı sağlamaktadır. Örneğin; Brezilya, Mozambik, Nepal ve Norveç dahil 32 ülke, elektrik tedariklerinin %80'inden fazlasını hidrolik güçten faydalanarak sağlamaktadır (Zarfl vd, 2015). Uluslararası Enerji Ajansı; ucuz, yenilenebilir ve çevre dostu özelliklerinden dolayı küresel hidrolik güç üretiminin 2008'den 2050'ye kadar yaklaşık %75 artacağını öngörmüştür.

Hidroelektrik santraller, sürdürülebilir birer enerji kaynağı olmalarının yanı sıra sel kontrolü, sulama ve su temini gibi başka faydalara da sahiptir. Hidrolik güç, sera gazı emisyonunun önlenmesi ve küresel ısınmanın azaltılması bakımından önemli bir

yenilenebilir enerji kaynağı olmasına rağmen, hidrolik güç ve iklim değişikliği doğrudan ilişkilidir ve iklim değişikliğinin nehir kanallarından akan suyu azaltacağı ve bunun da küresel su mevcudiyeti, su düzenliliği ve hidroelektrik üretim üzerinde negatif etki oluşturacağı beklenmektedir (Berga, 2016).

2.3.4. Hanehalkı

Tatlı su, temel insani gereksinimlerin karşılanması ve beşeri faaliyetlerin sürdürülmesinde hayati bir öneme sahiptir ve insanlar su olmadan hayatta kalmaz. Evsel amaçlarla kullanılan tüm sular kullanma suyu olarak adlandırılır. Kullanma suyu iç mekan kullanımı (içme, yemek pişirme, banyo yapma, çamaşır yıkama vb.) ve dış mekan kullanımı (bahçe sulama, dış temizlik, yüzme havuzu vb.) olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

Kullanma suyu temini; akarsular, kaynaklar, elle kazılarak açılan kuyular, tulumba ile sondaj kuyusundan su çekme, yağmur suyu deposu, su şebekesi (borularla su temini), su satıcıları vb. farklı sistemler aracılığıyla gerçekleşir.

Tatlı su genellikle üç temel insani ihtiyacı gidermek için kullanılır: Hayatta kalmak için gereken içme suyu, sanitasyon ve hijyen hizmetleri için gereken su ve evsel kullanımlar için gereken su. Uluslararası kuruluşlar, hükümetler ve su sağlayıcıları, günlük insan ihtiyaçları için temel su gereksinimini kişi başına günde 50 litre (l/p/d) olarak tavsiye etmiştir ve bu oran bir bireyin ekonomik, sosyal veya politik refaha erişimini garanti altına almaktadır (Gleick, 1996).

Evsel ihtiyaçlar için talep edilen su, tatlı suların en görünür kullanım alanı olmasına rağmen, tarımsal ve endüstriyel ihtiyaçlar için çekilen sularla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü 2015 yılı raporuna göre, küresel çapta su çekimlerinin yaklaşık %12'si evsel ve hane içi amaçlarla kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, evsel su kullanımı dünya çapında farklılık göstermektedir. Örneğin, Gıda ve Tarım Örgütü (GTÖ)'nun 2015 yılı raporuna göre, Afrika'da toplam çekilen suyun %13'ü evsel amaçlar için kullanılırken bu oran Asya'da yaklaşık %9'dur ve bunun nedeni Asya ülkelerinin tarımsal amaçlar için daha çok su tüketmesidir.

Öte yandan, Avrupa ve Okyanusya ülkelerinde evsel ve kentsel su kullanımı daha yüksektir, Avustralya ve Yeni Zelanda'da sularının sırasıyla %22 ve %25'ini bu amaçla kullanır (FAO, 2015).

2.4. Su Tüketimi

2.4.1. Su Tüketiminin Tanımı

Tatlı su kaynaklarının nasıl kullanıldığı tartışılırken su kullanımı, su çekilmesi ve su tüketimi gibi terimler sıkça kullanılabilir. Küresel su kaynakları veritabanı olan GTÖ AQUASTAT, *su kullanımını* suyun bir hizmet sağladığı herhangi bir eylem olarak tanımlarken, *su çekilmesini* tarımsal, endüstriyel veya kentsel (evsel) amaçlar için kullanılmak üzere yerüstü (nehirler ve göller gibi) veya yeraltı su kaynaklarından çekilen tatlı su olarak ifade etmektedir (Kohli vd, 2010).

Bu araştırmada *su tüketimi* (özellikle kentsel su tüketimi), şehir su temin sisteminden (şebekesinden) çekilerek belirli bir zaman dilimi (aylar veya yıllar) içerisinde farklı amaçlarla kullanılan ve kaynağına geri dönmeyen su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple, suyun taşınması sürecindeki sızıntılardan kaynaklanan su kayıpları dikkate alınmamaktadır.

2.4.2. Temel İnsani İhtiyaç Olarak Su Tüketimi

Temel insani ihtiyaç olan su, gerek kişisel gerekse evsel amaçlarla kullanılır, insanların refahı ve sağlığı için önemli bir unsurdur, ancak suya erişilebilirlik; iklimsel, sosyo-kültürel, teknolojik ve ekonomik koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Bu hususta ilk olarak, Kasım 2002'de BM Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Komitesi insani su hakkını şu ifadelerle onaylamıştır: "İnsani su hakkı, herkesin kişisel ve evsel kullanımlar için yeterli, güvenli, kabul edilebilir ve uygun fiyatlı su hakkını tanır" (UN, 2002). Temmuz 2010'da ise Birleşmiş Milletler Genel Kurulu nihayet insani su ve sanitasyon hakkını tanımış ve temiz içme suyu ve sanitasyonun tüm insan haklarının gerçekleştirilmesi için gerekli olduğunu onaylamıştır (Assembly, 2010b).

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, kişi başına günlük minimum 7,5 litre su, normal şartlar altındaki çoğu insanın temel su gereksinimlerini karşılayacak düzeydedir. Ancak, acil bir durumda, en az 15 litre suya ihtiyaç duyulmaktadır ve temel hijyen ihtiyaçları ve temel gıda hijyeninin karşılanması için daha yüksek miktar olan kişi başına günlük yaklaşık 20 litre su sağlanmalıdır. Bazı iklim koşullarında çamaşır yıkama ve banyo için daha yüksek miktarlarda su gerekebilir (WHO, 2003).

Su temini, her bireyin kişisel ve evsel su kullanımını karşılayacak süreklilik ve yeterlilikte olmalıdır. Bu kullanımlara; içme, çamaşır yıkama, yemek hazırlama yanı sıra kişisel ve hane içi hijyen dahildir. Ayrıca, kişisel veya hane içi kullanım için gerekli olan suyun güvenli olması bir zorunluluktur. Başka bir ifadeyle, suyun insanların sağlığını riske atabilecek mikroorganizmalardan, kimyasal maddelerden ve radyolojik tehlikelerden arındırılmış olması gerekmektedir.

Güvenli içme suyuna yönelik tedbirler genellikle ulusal ve uluslararası standartlarla tanımlanmaktadır. Örneğin, DSÖ'nün içme suyu kalitesine ilişkin yönergeleri, ulusal su güvenliği yönetmelik ve standartları için sağlam bir temel oluşturur ve uygun şekilde uygulanırsa, ülkelerin içme suyu güvenliği sağlanacaktır (Ki-moon ve General, 2015).

Aynı şekilde, su toplumsal açıdan kabul edilebilir renkte, kokuda ve tatta olmalıdır. Diğer bir deyişle, tüm su tesis ve hizmetleri her bir kişisel veya evsel kullanım için kültürel açıdan uygun olmalıdır. Son olarak, su en yoksul topluluklar dahil herkes için erişilebilir ve uygun fiyatlı olmalıdır (Ki-moon ve General, 2015).

2.4.3. Küresel Su Tüketimi

Tarımsal, endüstriyel ve kentsel tatlı su tüketimi, küresel çapta 1900'lerden beri yaklaşık altı kat artmıştır (Ritchie ve Roser, 2017). Bunun başlıca nedenleri; giderek artan küresel nüfus, iklim değişikliği, ekonomik büyüme, kentleşme, endüstriyel üretim ve sulu tarımın yaygınlaşmasıdır (Ercin ve Hoekstra, 2014).

Küresel su tüketimi 1980'lerden beri yıllık %1 oranında artmaktadır ve 2050 yılına kadar benzer oranda artmaya devam ederek mevcut su tüketim düzeyinin %20'si ile %30'u üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Bunun başlıca nedeni ise endüstriyel ve tarımsal sektörlerdeki artan su talebidir (WHO, 2019). Aynı şekilde, Young and Esau da 2009'da 4500 milyar m³ olan küresel su tüketiminin 2030'a kadar 6900 milyar m³'e çıkacağını tahmin etmiştir (Young ve Esau, 2015).

Küresel çapta, zirai sulama ve hayvancılık dahil tarım sektörü, dünyanın en büyük su tüketicisidir, yıllık su çekiminin yaklaşık %67'si tarım sektörüncesi kullanılmaktadır (FAO, 2015). 2050'ye kadar 9 milyara ulaşacak dünya nüfusunu beslemek için tarımsal üretimde %50, su kaynaklarında ise %15 artışın gerekeceği tahmin edilmektedir (Khokhar, 2017).

Sanayi sektörü küresel ölçekte nispeten daha az su kullanmasına rağmen (yaklaşık %20), insani kullanımın (%10) neredeyse iki katı su çekmektedir ve bu oran ülkelere göre değişkenlik gösterir. Örneğin, Belçika mevcut suyunun %80'ini sanayi sektöründe kullanmaktadır (Aubin, 2008).

BM GTÖ, küresel çapta çekilen tatlı suların sadece %10'unun evsel amaçlı ve hanehalkı işleri için kullanıldığını, küresel nüfusunun %87'sinin içme suyunu iyileştirilmiş kaynaklardan aldığını ve bunların çoğunlukla kentsel alanlarda yaşadıklarını, öte yandan kırsal nüfusun yalnızca %76'sının iyileştirilmiş su kaynaklarına erişebildiğini raporlamıştır. Ayrıca, kentsel alanların kırsal alanlardan daha iyi hizmet görmesine rağmen, su talebini artıran nüfus büyümesinden muzdarip olduklarını bildirmiştir (WHO ve UNICEF, 2010).

Küresel su tüketimi ülkeden ülkeye ve sektörden sektöre önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir. Bu durum; ekonomik şartlar, iklim ve ülkenin tarım veya sanayi sektörünün önemi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Örneğin, Sudan tatlı suyunun %96'sını tarım için kullanırken, Almanya ve Hollanda %1'inden daha azını kullanmaktadır. Benzer şekilde, Estonya tatlı suyunun %96'sını endüstriyel amaçlar için kullanırken, Kanada %80'ini kullanır ve Mozambik'te ise endüstriyel su kullanımının payı %2'den daha azdır (Ritchie ve Roser, 2017).

DSÖ ve BMÇYF'in 2010 yılı raporuna göre, dünya üzerinde içme suyu için iyileştirilmemiş su kaynaklarını kullanan 884 milyon insan bulunurken 2,6 milyar insan ise iyi bir sanitasyon hizmetinden yoksundur (WHO ve UNICEF, 2010). Dünyanın bugün karşı karşıya kaldığı temel sorunlardan biri de su kıtlığı ve kirliliğidir. Bu sorunun gelecekte nüfus artışı ve tatlı su bulunabilirliği ve kalitesindeki düşüşle birlikte oldukça ciddi bir hal alacağı düşünülmektedir (Ercin ve Hoekstra, 2012). Dünyanın suyu daha verimli kullanmaya yönelik yollar geliştirmesi gerekecektir. Deniz suyunun tuzdan arındırılması ve suyun geri dönüştürülmesi, doğal su kaynaklarının kullanımını azaltarak 2050'deki olası küresel su kıtlığını önleyebilir (Guppy vd, 2017).

2.4.4. Suya Yönelik Uluslararası Hedefler

Suya yönelik birçok uluslararası amaç ve hedef vardır, ancak bunlardan en etkili ve ünlü olanları *Binyıl Kalkınma Hedefleri* (BKH) ve *Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleridir* (SKH). Binyıl Kalkınma Hedefleri, 2000 yılında ortaya konan ve o tarihte

mevcut 189 BM üye devleti (günümüzde sayısı 193'tür) ve 22 uluslararası örgüt tarafından 2015 yılına kadar ulaşılmak üzere kabul edilen, 21 alt hedefi içeren 8 uluslararası ana hedefti (Nations, 2009). 7 Numaralı Milenyum Kalkınma Hedefi; çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasıydı. Bu hedefin, alt hedeflerinden biri (Hedef 7C) içme suyuna odaklanmıştı: “Güvenli içme suyuna ve temel sanitasyona sürdürülebilir erişimi olmayan insanların oranını 2015 yılına kadar yarıya indirin” (Nations, 2010).

DSÖ ve BMÇYF'in 2015 yılı raporuna göre, küresel nüfusun %91'i, 1990'daki %76'ya kıyasla iyileştirilmiş bir içme suyu kaynağı kullanmaktadır. Başka bir ifadeyle, 1990'dan beri 2,6 milyar insan iyileştirilmiş içme suyuna ve 1,9 milyar insan (%73) temiz borulu içme suyu sistemine erişim sağlamıştır. Ancak 884 milyon insan hala iyileştirilmemiş içme suyu kaynaklarını kullanmakta ve bunların birçoğu Sahra Altı Afrika ile Güney ve Doğu Asya'da yaşamaktadır (DSÖ ve UNICEF, 2015). Benzer şekilde, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH), önümüzdeki 15 yıl (2016-2030) içerisinde daha iyi ve daha sürdürülebilir bir dünyaya ulaşmak için 2015 yılında 193 BM üye devleti tarafından kabul edilen 17 küresel hedef ve 169 alt hedeften oluşan bir hedefler bütünüdür (Nations, 2020). 6 Numaralı Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi şunu beyan eder: “Herkesin suya ve sanitasyon hizmetlerine erişimi ile sürdürülebilir su ve sanitasyon yönetimini güvence altına alın”. Güvenli ve temiz içme suyuna erişim hususunda önemli gelişmeler sağlanmış olsa da 2,2 milyar insan hala güvenilir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerinden yararlanamamaktadır (Nations, 2018).

Bununla birlikte, 2030 yılına kadar tüm insanlığın güvenli ve uygun fiyatlı içme suyuna erişmesi için su altyapısına çok daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir. Doğal tatlı su kaynaklarının korunması ve yeniden eski haline getirilmesi de oldukça önemli bir konudur (UNDP, 2019).

2.4.5. Kentsel Su Yönetimi

Kentsel Su Yönetimi; şehir su temini, kentsel drenaj, atık su arıtma ve taşkın koruma gibi sorumlulukları içermektedir. Kentsel su yönetimi, kentsel alanlarda suyla ilgili tüm konuları dikkatle ele almaktadır. Ana hedefi ise şehir ve kasabaları yaşanabilir, üretken ve sürdürülebilir kılmaktır. Öte yandan, dünyadaki birçok şehir hızla büyümekte ve bu sebeple yüksek su kıtlığı ile karşı karşıya kalmaktadır. Kentleşmenin sonuçlarından birisi de kentsel alanlarda artan su talebidir. Her ülke, tüm vatandaşları için iyi su temini sağlayamamaktadır.

DSÖ ve BMÇYF Ortak Programı, 2019'da, dünyadaki kentsel nüfusun %96'sından fazlasının iyileştirilmiş içme suyu hizmetlerine erişimi olduğunu bildirmiştir (WHO ve UNICEF, 2019). Suya ve sanitasyon hizmetlerine erişim oranı kentsel alanlarda kırsal kesimlere nazaran genel olarak daha yüksek olsa da 2017'de hala şehirlerde yaşayan 156 milyon insan iyileştirilmiş su kaynaklarından yoksundur (Water, 2017).

2016 yılı itibariyle, küresel nüfusun %54,5'inin kentsel yerleşimlerde yaşadığı düşünülmektedir ve 2030 yılı itibariyle insanların %60'ının kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir (Nations, 2016). Kentsel büyümenin en hızlı olduğu ülkeler, gelişmekte olan ülkelerdir ve artan kent nüfusu, su kıtlığı ve yetersiz sanitasyon gibi olağanüstü zorluklar oluşturmaktadır.

Kentsel yerleşimlerde yaşayan insanların sürdürülebilir yaşamına etki eden iki ana engel bulunmaktadır: Güvenli suya ve sanitasyona erişiminden yoksunluk ve sel ve kuraklık gibi suyla ilgili doğal felaketlerin artması. Bu iki sorunun insan sağlığı ve refahı, çevre, ekonomik büyüme ve kalkınma üzerinde büyük etkileri vardır ve şehirlerde yeterli sayıda su ve sanitasyon tesislerinin olmaması ishal, sıtma ve kolera gibi hastalıkların salgınlarına yol açabilir (DESA, 2016).

Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, zayıf su altyapısı ve hızlı kentleşme gibi nedenlerden dolayı küresel çapta kentsel su talebi oldukça yüksektir. Buna ilaveten, dünya çapındaki su kaynakları sınırlı sayıda olmasından dolayı farklı su kullanımları (kentsel, tarımsal ve endüstriyel) arasındaki rekabet giderek yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, yüksek nüfuslu şehirlere düzenli olarak kaliteli içme suyu sağlamak, su tedarik şirketleri için kritik bir zorluk olacaktır (Sharma ve Vairavamoorthy, 2009).

Kentsel su yönetimi anlayışı tüm dünyada farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerin içme suyu şebekleri iyi kurulmuş ve su altyapıları iyi organize edilmiştir, su kaçakları ise düşük seviyededir. Genel olarak, gelişmiş ülkelerdeki şehirlerin birçoğu kamu veya özel içme suyu temin sistemleri ile yeterli miktarda suya ulaşır, ancak gelişmekte olan ülkelerdeki şehirler kötü yönetim ve kurumsal çerçeve nedeniyle yetersiz içme suyu temin sistemlerine, eskimiş su altyapısına, su dağıtım sırasında yüksek su kayıplarına maruz bırakılırlar (Jiang vd, 2010).

İyi tasarlanmış ve işletilen kentsel su sistemini başarmak için su verimliliğinin artırılması, su kalitesinin geliştirilmesi, atık su yönetiminin iyileştirilmesi, su

altyapılarına yatırım yapılması ve su kayıplarının önlenmesi ve ayrıca bu eylemlerin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmak için politika ve stratejilerin oluşturulması ve uygulanması gerekmektedir (Larsen vd, 2016).

2.4.6. Evsel Su Tüketimini Etkileyen Faktörler

Evsel su tüketimi; iklim değişikliği, ekonomik şartlar, nüfus artışı, hanehalkı büyüklüğü, su erişilebilirliği ve su fiyatlandırması gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir, bu faktörler hem doğrudan hem de dolaylı olarak su tüketimini etkilemektedir.

İklim değişikliği, evsel su tüketimi üzerindeki en etkili faktördür. İklim değişikliğinden kaynaklanan kuraklık, sel, yüksek sıcaklık ve düşük yağış gibi durumlar su teminini riske atabilir. Kuraklık koşulları uzun süreli yağış olmayan dönemlerden sonra ortaya çıkmakta, sonrasında rezervuar ve akarsulardan yeterli su akmamaya başlamakta ve dolayısıyla evsel amaçlı su kullanımı etkilenmektedir (Wada vd, 2013). Su taşkınları, evsel su kullanımını etkileyen bir diğer ana sorundur. Şiddetli yağmurlar ve yükselen deniz seviyeleri selleri neden olabilmekte ve bu durum içme suyunun kirlenmesine sebebiyet verebilmektedir. Dünyanın birçok yerinde, özellikle de düşük su altyapısına sahip yoksul ülkelerde seller su sıkıntısına yol açabilmektedir (Das vd, 2007).

Bundan başka, yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde yaşayan insanların içme, yıkama ve banyo için daha fazla su kullanmasının yanı sıra bahçe sulama, yüzme havuzları ve kişisel hijyen gibi gerekliliklerinin artması evsel amaçlı kullanılan su miktarını artırabilir (Corbella ve i Pujol, 2009).

Evsel su tüketimi söz konusu olduğunda ekonomik şartlar da önemli bir rol oynamaktadır. Normal koşullarda daha yüksek gelirli aileler, daha düşük gelirli ailelere kıyasla daha fazla su tüketmektedir. Billings ve Jones (2011), aile geliri arttığında su tüketiminin arttığını ve azaldığında ise tüketimin azaldığını, bunun da su tüketimi ile gelirin pozitif yönde ilişkili olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir (Billings ve Jones, 2011).

Nüfus artışı, küresel su sıkıntısını arttıran başka bir zorluktur. Küresel nüfustaki büyüme, artan küresel su talebi ve evsel kullanım için su rekabeti anlamına gelmektedir (Mogelgaard, 2012). Nüfus artışı özellikle de sınırlı olan kişi başına mevcut su miktarını azaltacaktır ve bu da şehirlerde su sıkıntısını artırabilir ve kentsel

su krizlerine neden olabilir (Okello vd, 2015). Hanehalkı büyüklüğü, evsel su tüketimi için bir diğer önemli unsurdur ve normal olarak hanehalkı büyüklüğü arttığında, su tüketimi de artmaktadır. Çok sayıda çocuğu olan aileler, küçük ailelere kıyasla çamaşır yıkamak, banyo yapmak ve hijyen amacıyla daha fazla su kullanmaktadır (Willis vd, 2013).

Dahası, su fiyatlarının evsel su tüketimi üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Talep teorisinde de belirtildiği üzere bir ürünün fiyatı artarsa o ürüne olan talep azalmaktadır (Froukh, 2001). Bu fiyatlandırma görüşüne göre, su fiyatı arttığında tüketim oranı düşecektir (Salman vd, 2008). Dolayısıyla su fiyatının su tüketim miktarı üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Yüksek su talebi nedeniyle dünya genelinde su fiyatları her geçen yıl kademeli olarak artmaktadır ve bu durumun gelecekteki yıllarda su krizlerine neden olabileceği düşünülmektedir (Inglezakis vd, 2016). Son olarak, suya erişilebilirlik, bir şehirdeki su tüketiminin miktarı ve kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir. Şehrin su temini sistemine erişilebilirlik iyileştirilirse, insanlar güvenli, yeterli ve yüksek kalitede su tüketecektir (Wagah vd, 2010).

2.5. Hargeisa Su Altyapısı

2.5.1. Genel Hatlarıyla Hargeisa

Hargeisa, Somaliland'in başkenti ve en büyük şehridir. Somaliland; Afrika Boynuzu'nda yer alan, eski adıyla Britanya Somaliland Protektorası olarak bilinen, 1991 yılında Somali'den tek taraflı bağımsızlığını ilan etmiş, özerk bir cumhuriyettir. Başkent Hargeisa, ülkenin kuzey batı kesiminde 9° 33' kuzey enlemi ve 44° 4' doğu boylamında yer almaktadır (latlong.net, 2020). Hargeisa dağlık bir bölgede yer alır ve deniz seviyesinden 1.334 metre (4.377 fit) yükseklikte bulunur ve toplam alanı 78 km²'dir (30 milkare).

Hargeisa bir ticaret, finans ve sanayi merkezidir, Hargeisa'da çeşitli mallar üreten çok sayıda fabrika ve şirket bulunmaktadır (Haas, 2017).

Hargeisa sekiz ilçeden oluşmaktadır: Mohamed Mooge, Mohamoud Haybe, Macalin Haruun, Ibrahim Koodbuur, 26 June, 31 May, Gacan libaax ve Ahmed Dhagax. Hargeisa, kışları ılık ve yazları sıcak geçen yarı kurak bir iklime sahiptir. Hargeisa'ya yılda iki kere yağmur yağar ve yıllık yağış miktarı 400 milimetrenin (16 inç) biraz altındadır (MoNPD, 2019). Hargeisa ülkede en büyük nüfusa ev sahipliği yapan şehirdir. Hargeisa'da yaşayan insanların sayısının, yıllık %3 ila %5 nüfus artış

oraniyla, yaklaşık 1.5 milyon olduğu tahmin edilmektedir (MoNPD, 2019), bu da şehir sakinlerinin sayısının son on beş yılda ikiye katlandığı anlamına gelir.

Bunun sonucunda, şehir her yönde muazzam bir şekilde genişlemiş, geride kalan on yıllar boyunca birçok yeni köy şehre dahil olmuştur. Şehirdeki su yönetiminin verimsizliği ile artan nüfusun birleşiminin bir neticesi olarak, güvenli ve yeterli su kaynaklarının mevcudiyeti kritik düzeye ulaşmıştır. Su talebi aşırı derecede artmış ve su kıtlığı şiddetli hale gelmiştir (Ahmed, 2016).

2.5.2. Hargeisa Su Kaynakları

Hargeisa'nın suyu farklı kaynaklardan sağlanmaktadır ancak ana su kaynağı, şehre 20km uzaklıkta bulunan Geed Deeble'deki 12 sondaj kuyusudur. Geed Deeble, ilk olarak 1972'de inşa edilmiş ve daha sonra 1980'ler boyunca birkaç kez yeniden inşa edilmiş küçük bir köydür (*Tuulo*). Sondaj kuyularından gelen su, Geed Deeble pompa istasyonunda bulunan bir rezervuara pompalanır ve burada dört pompa, Biyo-Khadir'deki bir hidrofor istasyonu aracılığıyla Hargeisa'nın ana su rezervuarı olan Çin Rezervuarına 300 metre eğime kadar su ittirir.

Hargeisa Su Ajansı'nın raporuna göre, sondaj pompaları her gün 23 saat çalışmakta ve saatte ortalama 50m³ su çıkarmaktadır ve toplam su üretiminin günlük 13.500 m³ olduğu tahmin edilmektedir. Su daha sonra Sheedaha bölgesinde bulunan (Hargeisa'nın kuzeyinde bir mahalle) ve şehrin her yerine su sağlamak için suyu küçük borularla ileten rezervuarlara aktarılmaktadır (HWA, 2018). Ancak, Hargeisa su dağıtım sistemi şehirdeki tüm hanelere yeterli gelmemektedir çünkü Hargeisa su temin sistemi 1980'lerde inşa edildiğinde o dönemde Hargeisa'da yaşayan yaklaşık 300.000 kişiye su sağlamak üzere planlanmıştı ve gerçekten de bu nüfusun ihtiyacını karşılıyordu fakat günümüzdeki Hargeisa sakinlerinin sayısı planlanan zamandaki sayının üç katından fazladır (Ahmed, 2016).

Hargeisa'nın ikinci su kaynağı, özellikle Hargeisa'nın Doğu, Güney ve Batı ilçelerinde su dağıtan tankerlerdir (*Booyado*), bu su kamyonları Hargeisa'nın yaklaşık 30 kilometre doğusundaki Aw-Barkhadle Köyü'nden aldıkları suyu Hargeisa'ya taşımaktadır. Ancak, Geed Deeble'den farklı olarak, Aw-Barkhadle su kuyuları özel mülkiyete aittir.

Aileler, evlerinde beş, on veya daha fazla varil suyu depolamaya yarayan çeşitli su depoları (*Taangi*) kullanmaktadır. Su depolamak için büyük su depoları satın

almaya gücü yetmeyen yoksul aileler, küçük su testileri (*Jirkaamo*) kullanırlar ve suyu çoğunlukla eşekli su satıcılarından (*Gaari Dameer*) veya doğrudan şehrin kuzey kısmında bulunabilen su satış noktalarından (kiosk) alırlar (Ahmed, 2016).

2.5.3. Hargeisa Su Yönetimi

Hargeisa'nın suyu, Hargeisa Su Ajansı tarafından işletilmekte, dağıtmakta ve yönetilmektedir. HWA, halihazırda 200.000'den fazla kişiye su hizmeti veren devlete ait bir şirkettir. Hargeisa Su Ajansı, Çin hükümeti tarafından inşa edilen su tedarik şebekesini işletmek üzere 1974 yılında kurulmuştur (HWA, 2019b). HSA, Hargeisa şehrine su temini ile görevlendirilmiş bağımsız bir su tedarik şirkettir ve bu şirketin genel müdürü Somaliland Su Bakanlığı tarafından değil, doğrudan Somaliland Devlet Başkanı tarafından atanmaktadır. HWA'nın yönetim kurulu, genel müdürü ve genel müdür yardımcıları ve diğer kurumsal ağırları bulunmaktadır. Şu anda 329 kadrolu personeli bulunmaktadır (HWA, 2019b). Ajans; suyla ilgili projeleri, yeni içme suyu şebekelerini ve mevcut su dağıtım şebekelerinin genişletilmesini planlar ve yönetir. Ajans halihazırda 21.000'den fazla hane ile su bağlantısı, 400 su satış noktası (kiosk) ve 3 su tankeri sabit borusundan teşekkül eden su şebekesini işletmektedir. Ajans, sınırlı altyapısı ve depolama kapasitesine rağmen, halihazırda Hargeisa nüfusunun %30'una su sağlamaktadır. Ajans kontrolündeki su bağlantılarının çoğu şehrin kuzey köylerinde yoğunlaşmıştır ve bir kısmı ise şehrin güney kesiminde yer almaktadır (HWA, 2019b).

2.5.4. Hargeisa Su Temininde Yaşanan Zorluklar

Su, Somaliland genelinde ve özellikle de başkent Hargeisa için kıtlığı çekilen bir kaynaktır. Somaliland'de göller, kalıcı nehirler veya su akıntıları yoktur. Yağmur suyu ise yılda sadece iki yağmur mevsimi ile sınırlıdır. Dahası, ülkede kuraklıklar yaygındır ve her 3-4 yılda bir orta dereceli ve her 7-9 yılda bir şiddetli derecede kuraklık meydana gelmektedir.

Hargeisa Belediyesi'ne göre, Hargeisa'da yaşayan nüfusun 1,5 milyondan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, söz konusu nüfus tahmini %4-5 büyüme oranıyla son 18 yılda ikiye katlanmıştır. Bu büyüme oranının bir sonucu olarak, güvenli ve yeterli su temininin sağlanması ciddi bir soruna dönüşmüştür. Hargeisa nüfusunun %65'inden fazlası halihazırda günlük su tüketimi için korunmasız ve bakımsız su kaynaklarından tankerlerle taşınan suya bağımlıdır. Düşük gelirli ailelerin

suya harcadıkları para, tankerlerle taşınan suyun yüksek fiyatı nedeniyle diğer ailelerden neredeyse 5 kat daha fazladır (Farah ve Yonis, 2015).

Ayrıca, eski su temini sisteminin kullanılması ve yeterli su altyapısının olmaması, Hargeisa'da su sıkıntısına neden olan bir diğer önemli kısıtlamadır ve şehirdeki çoğu insan günlük su gereksinimini karşılamakta zorlanmaktadır. Hargeisa Belediyesi'nin mevcut su temini sistemi 1970'lerin başında tasarlanmış ve inşa edilmiş ve 1980'lerde Çin Hükümeti'nin yardımıyla genişletilmiştir. Ancak bu su temini şebekesi kurulduğunda Hargeisa bugünkünden yaklaşık 5 kat daha küçüktü ve nüfusu ise 180.000 civarındaydı. Söz konusu sistem 35 yıldan fazla bir süre önce inşa edilmesine rağmen, hala şehirdeki tek güvenli ve elverişli ve aynı zamanda büyük ölçekli su altyapısı olma özelliğini muhafaza etmektedir. Bununla birlikte, boru hatları ve su üretim ve iletim sisteminin diğer kritik bileşenleri, bakım ve yenileme eksikliği nedeniyle kullanılmaz hale gelme riskiyle karşı karşıyadır (Habitat, 2016).

Ülkede yıllarca süren çatışma ve istikrarsızlık, Hargeisa su altyapısının genişletilmesi ve hatta bakımı hususunda finansman eksikliğine sebebiyet vermiştir. Bu nedenle, yeni su altyapısının geliştirilmesi büyük bir ihtiyaçtır ve yeni su temini şebekesi yatırımları oldukça önemlidir.

Bağımsız Aydınlar Konsorsiyumu'nun ortaya çıkardığı gibi; kötü su yönetimi, temiz su stratejisinin eksikliği ve su geliştirme politikasından yoksunluk, Hargeisa'da güvenli, yeterli ve yüksek kaliteli su teminini gölgeleyen kritik faktörlerdir (Arrale, 2018).

BM-Habitat'ın 2016 yılı raporuna göre, Hargeisa sakinleri için ortalama su mevcudiyeti kişi başına günde 13 litreden (l/c/d) daha azdır ve şebeke sızıntıları nedeniyle oluşan nispeten yüksek su kayıpları dikkate alındığında bazı alanlarda bu oran 10 l/c/d'ye kadar düşebilmektedir. Dolayısıyla, Hargeisa su temini rakamları, Uluslararası Kuruluşlar tarafından gelişmekte olan ülkelerdeki kasaba ve şehirler için tavsiye edilen asgari 32 ila 40 l/c/d'lik kentsel su temininin gerisindedir ve dahası, genel olarak önerilen ortalama 65 l/c/d'lik kentsel su temini değerinden ise oldukça uzaktır (Habitat, 2016).

Son olarak Hargeisa; şehir sakinlerinin geçimlerinin iyileştirilmesi, istihdam fırsatlarının oluşturulması ve şirketlerin büyüme hızlarının artması yanı sıra hem Hargeisa şehir ekonomisinin hem de tüm Somaliland'in kalkınmasının canlanması için

acil bir şekilde mevcut su temini sisteminin geniş kapsamlı rehabilitasyonuna ve yeni su temini sistemi yatırımlarına ihtiyaç duymaktadır (Habitat, 2016).

2.5.5. Yeni Hargeisa Su Temini Projesi

Hargeisa Kentsel Su Temini İyileştirme Projesi; Avrupa Birliği, Somaliland Kalkınma Fonu ve BM-Habitat tarafından sırasıyla 15 milyon EUR, 8.6 milyon USD ve 1.5 milyon EUR'luk fonlarla ortaklaşa finanse edilen bir projedir. Proje, Hargeisa Su Ajansı ve Somaliland Su Kaynakları Bakanlığı ile işbirliğinde BM-Habitat tarafından uygulanmaktadır (UN-Habitat, 2015). Proje Aralık 2012'de başlatılmıştır ve projenin Nisan 2021 itibariyle tam faaliyete geçmesi beklenmektedir. Bu projenin genel amaçları; güvenli ve uygun fiyatlı suya erişimi arttırmak, Hargeisa'nın kent merkezi ve çevresindeki bölgelerde yaşayan finansal açıdan savunmasız ailelerin geçim kaynaklarını iyileştirilmek, sürdürülebilir su kaynaklarından elde edilen içme suyunun dağıtım ağını genişletmek ve istihdam fırsatları oluşturmaktır (UN-Habitat, 2015).

Yeni su boru hattı, 40 yıllık mevcut boru hattı sisteminin yerini yeni yüksek kapasiteli tek bir taşıma hattı ile değiştirecektir. Bu yeni projeye tüm Hargeisa sakinleri ilave su hacmi kazanacaktır. Önümüzdeki yıl inşa edilecek bu yeni su temin boru hattı, yeni Geed Deeble pompalama istasyonu ile birlikte günlük 20 milyon litre su iletecek kapasitede tasarlanmıştır. Ayrıca, şehrin su üretimini artırmak için, Hora Haadley köyünde dört yeni sondaj kuyusu açılacak (şu anda neredeyse bitirilmek üzere) ve toplamda yaklaşık 40 km'lik yeni su borusu satın alınıp döşenecektir (UN-Habitat, 2015).

Buna ek olarak, yeni proje kapsamında, Hargeisa'nın ana kuyu sahasını (Geed Deeble) daha da geliştirmek için eski ve yaşlı sondaj kuyuları rehabilite edilecek ve yeni üretim ve keşif sondajları yapılarak sürdürülebilir su kaynaklarının kullanılabilirliği arttırılacaktır. Bu projeye, Hargeisa'nın su temin kapasitesi mevcut günlük ortalama 9 milyon litreden, günlük maksimum 20 milyon litre kapasiteye çıkarılacak, diğer bir deyişle %122'lik artışla önemli ölçüde artacaktır (HWA, 2019a).

Boru hattının inşası tamamlandığında, Hargeisa'da 800.000'den fazla kişi güvenli ve sürdürülebilir bir su kaynağına (doğrudan borulu su veya su satış noktaları aracılığıyla) erişebilecektir. Bu yeni proje, Hargeisa'daki tüm insanların sosyo-ekonomik açıdan rahatlamalarını sağlayacak su ihtiyaçlarını güvence altına alıp, su kaynaklarının daha eşit pay edilmesini garantiye alacaktır (Trust, 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Veriler ve Metodoloji

Bu tez çalışmasında Hargeisa Su Ajansı, özellikle de Ajansa ait İstatistik Dairesi, tarafından toplanan ikincil veriler kullanılacaktır. Veriler, Ocak 2011-Aralık 2020 zaman aralığındaki 10 yıllık Hargeisa aylık su tüketimini kapsamaktadır. Bu tez çalışması, Hargeisa aylık su tüketim öngörülerini karşılaştırmak için *Box-Jenkins Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA)* metodolojisi ve *Üstel Düzleştirme (Exponential Smoothing)* metodu adlı iki farklı zaman serisi analiz yöntemini kullanacak ve ardından en iyi yöntemi seçip önümüzdeki iki yılın Hargeisa su tüketim oranlarını öngörecektir.

Veri serilerinin hesaplanması, analizi, modellenmesi, tanı kontrolü ve öngörüsü için *Minitab* ve *Econometric Views (EViews)* programları kullanılacaktır.

3.2. Zaman Serisi Analizinin Temel Kavramları

3.2.1. Tanım

Zaman serileri, her biri belirli bir t zamanda kaydedilen X_t gözlemleri serisidir ($t = 0,1,2,\dots$ olmak üzere) (Rangaswamy vd, 2013). Zaman serisi verileri, kesikli ve sürekli olmak üzere iki farklı yapıya sahip olabilir. Kesikli zaman serileri, gözlemlerin saatlik, günlük, haftalık, aylık veya yıllık gibi belirli ve eşit aralıklı zaman noktalarında alınmasıyla oluşmaktadır. Ekseriyetle enflasyon, altın fiyatları, döviz kurları ve faiz oranları gibi ekonomik değişkenlerin şekillendirdiği zaman serileri, kesikli zaman serileri olarak tanımlanmaktadır (Brockwell vd, 2002). Sürekli zaman serileri, gözlemlerin belirli bir zaman aralığında sürekli olarak kaydedilmesiyle elde edilmektedir. Elektrik sinyalleri, gerilim ölçümleri veya ses titreşimleri zaman içerisinde sürekli olarak ölçülebilir, bu değişkenlerin ölçüm serileri sürekli zaman serilerine örnek olarak verilebilir (Brockwell vd, 2002).

Zaman serisi verileri, doğaları gereği karmaşık bir yapıya sahiptir ve bunların ayıklanması ve yorumlanması oldukça zordur. Bir zaman serisinin zaman içerisindeki davranışını anlamamanın en kolay yolu, bu serinin "zaman serisi grafiği" adı verilen grafiğini çizmektir (Goggin, 2007). Zaman serisi analizi, anlamlı istatistiksel sonuçlar elde etmek ve verilerin diğer özelliklerini ifade etmek için zaman serisi verilerini analiz etme yöntemlerini içerir (Lin vd, 1995).

İstatistik bağlamında, zaman serisi analizinin temel hedefi, önceden gözlemlenen değerleri kullanarak zaman serisi verilerinin gelecekteki değerlerini kestirmeye ilişkin öngörüdür. Ek olarak, zaman serisi analizi, gözlem kümesi ile temsil edilen olgunun doğasını belirlemek için kullanılabilir (Hipel ve McLeod, 1994).

Zaman serileri analizi tek değişkenli ve çok değişkenli zaman serileri olmak üzere iki şekilde incelenebilir. Tek değişkenli zaman serileri, zamana bağlı tek bir değişkeni olan serilere denir. Örneğin: Samsun ilinin son 2 yıldaki günlük sıcaklığı. Çok değişkenli zaman serileri, zamana bağlı birden fazla değişken olduğunda ortaya çıkmaktadır. Her değişken yalnızca geçmiş değerlerine değil, aynı zamanda diğer değişkenlere de bir miktar bağlıdır. Örneğin: Samsun ilinin son 3 yıldaki günlük rüzgar hızı, nemi ve sıcaklığı (SINGH, 2018).

3.2.2. Zaman Serisinin Bileşenleri

Bir zaman serisindeki gözlemin değerlerini etkileyen çeşitli nedenlere zaman serisinin bileşenleri denir. Bu bileşenler genel olarak Eğilim (Trend), Mevsimsel, Döngüsel ve Düzensiz değişimler olmak üzere dört ana bileşene ayrılır.

Eğilim, serinin temelini teşkil eden uzun vadeli davranış veya örüntüdür. Eğilim, bir zaman serisindeki uzun dönemli yükseliş veya düşüşü gösterebilir. Eğilim; nüfus artışı, fiyat enflasyonu ve genel ekonomik değişiklikler gibi etkilerin sonucu olabilir. Eğilim iki şekilde gözlemlenebilir: Doğrusal Eğilim ve Doğrusal Olmayan Eğilim (Verbesselt vd, 2010). Bazı eğilim örnekleri şunlardır: Nüfus, tarımsal üretim, endüstriyel üretim, doğum ve ölüm sayıları.

Mevsimsel Değişim: Mevsimsel etki, sistematik ve takvimsel bir etkidir. Bir zaman serisinin bir yıldan daha kısa bir süre boyunca mevsimsel faktörlerden etkilenmesi sonucu ortaya çıkan ve kendi kendini tekrar eden bir yapıdır. Yineleyici örüntünün gözlemlendiği zaman dilimi sabittir (Thomas ve Wallis, 1971). Mevsimsel olarak etkilenen değişkenler yılın bazı dönemlerinde diğer dönemlere göre daha yüksek veya daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Bu davranış örüntüsü mevsimsellik olarak bilinir ve birçok farklı şekilde ortaya çıkabilir. Örneğin belirli mevsimlerde, belirli aylarda, bir yılın belirli haftalarında, bir çeyreğin belirli bir ayında, belirli bir haftada veya belirli bir günde meydana gelebilir (Miyake vd, 2009).

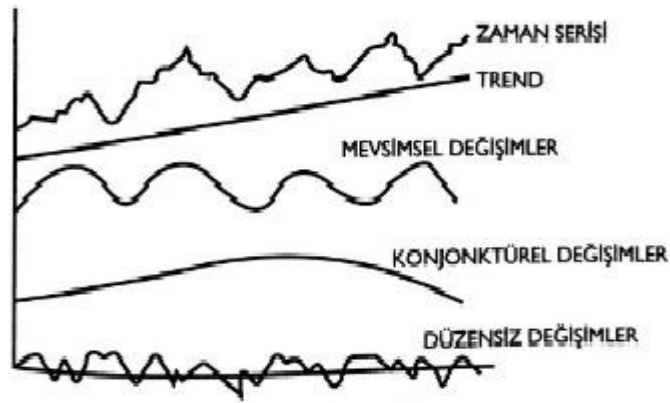
Mevsimsel değişimlere ilişkin bazı örnekler şunlardır: Kış ve yaz aylarında soğuk içecek talebinin artması veya azalması, yazın su tüketiminin artması, Ramazan

ayında alışverişin artması ve benzeri. Mevsimsellik; altı ay, üç ay, bir ay, bir hafta, bir gün ve hatta bir saat gibi dilimleri kapsayabilir (Plosser, 1978).

Döngüsel (Konjonktürel) Değişimler, verilerde bir yıldan uzun süredir var olan kısa vadeli dalgalanmalardır (yükselme ve düşmeler). Özellikle, veri sabit bir sıklığa sahip olmayan yükselme ve düşme gösterdiğinde döngü oluşur. Genellikle, enflasyon veya hisse senedi fiyatındaki keskin yükseliş gibi iş döngüsü ile ilişkilendirilen beklenmeyen veya öngörülemeyen olaylardan kaynaklanır.

Mevsimsel ve Döngüsel değişim arasındaki temel fark, evvelkinin bir yıl içerisinde sabit bir uzunlukta olması, sonrakinin ise bir yıldan daha uzun bir süre çeşitli uzunluklara sahip olmasıdır ve ayrıca dalgalanmalar esnek ve değişkense döngüseldir, ancak sıklık (frekans) değişmiyorsa ve birtakım takvimsel özellikler gösteriyorsa, örüntü mevsimseldir (Chen vd, 2016).

Düzensiz (Rastgele) Dalgalanma: Düzensiz hareketler, zaman serilerindeki düzensiz değişimlerdir ve gözlemlenemezler. Düzenli değişimler değildir, ve bütünüyle rastgele veya düzensiz bir doğaya sahiplerdir. Zaman serisinin diğer tüm bileşenler çıkarıldıktan sonra geriye kalan açıklanamayan kısımdır. Bu bileşenin tanımlanabilir bir şekli yoktur (Yasue vd, 1993). Aşağıdaki şekil, zaman serisinin bazı bileşenlerini göstermektedir:



Şekil 3.1. Zaman Serisinin Bileşenleri (Gören, 2016)

3.2.3. Durağan ve Durağan Olmayan Zaman Serileri

Ortalaması, varyansı ve kovaryans zaman içerisinde sabit olan ve sistematik olarak ne azalan ne de artan zaman serileri *durağandır*. Zaman serileri literatüründe, böyle bir zaman serisi zayıf durağan veya kovaryansça durağan (durağan kovaryanslı)

veya ikinci sıradan durağan veya stokastik süreç şeklinde adlandırılabilir (Gujarati ve Porter, 2003).

Örneğin, bir Y_t zaman serisinin aşağıdaki özellikleri göstermesi durumunda durağan (stationary) olduğu söylenir:

$$\begin{aligned} \text{Ortalama: } E(Y_t) &= \mu \\ \text{Varyans: } \text{Var}(Y_t) &= E(Y_{t-1} - \mu)^2 = \sigma^2 \\ \text{Kovaryans: } \gamma_k &= E(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Burada; γ_k , Y_t ve Y_{t+k} değerleri arasındaki kovaryanstır (Gujarati ve Porter, 2003).

Eğer bir zaman serisi yukarıda tanımlanan özelliklere sahip değilse serinin durağan olmadığı söylenir. Durağan olmayan zaman serileri sistematik eğilimlere (doğrusal, üstel vb.) ve mevsimsel şekiller sahiptir. Durağanlık, birçok zaman serisi analiz yöntemi için bir gerekliliktir. Durağan olmayan serilerle analiz, modelleme ve öngöründe bulunmak tutarsız ve yanlış sonuçlara neden olur. Zaman serilerini modelleyebilmek için serilerin durağan olması, değilse durağanlaştırılması gerekmektedir.

3.2.4. Durağanlığın Önemi

Zaman serisi verileri, birkaç nedenden dolayı durağan olmalıdır. Bunlardan ilki, durağanlığın, ARIMA modellemesi, eğilim tahmini, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve benzeri birçok zaman serisi analizi uygulama ve aracı için ortak bir varsayım haline gelmesidir. Benzer şekilde, tüm ilgili zaman noktalarındaki verilerin kesin bir doğrulukta tanımlanması için ortalamalar, varyanslar ve korelasyonlar gibi örnek istatistiklerde de durağanlık gereklidir.

Bunlardan ikincisi, durağan süreçlerin analiz edilmesinin, modellenmesinin ve öngörülmesinin daha kolay olmasıdır. Durağan süreçlerde, araştırmacılar kolaylıkla istatistiksel özelliklerin geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı olacağı öngörüsünde bulunabilir. Son olarak, durağan olmayan zaman serisi verilerinin kullanılması güvenilir ve sahte sonuçlar üretir ve bu durum, gelecekteki bir değeri öngörürken daha fazla zorluk çıkarır ve daha yüksek hata olasılığına yol açar (Palachy, 2019).

Eğer zaman serisinin kararlı şekilde artan veya azalan bir eğilimi varsa, Trendsizleştirme (Detrending) onu durağan hale getirmek mümkündür ve böyle bir zaman serisine eğilim-durağan (trend-stationary) denir. Orijinal serilerin ortalaması,

varyansı ve otokorelasyonları zaman içinde sabit değilse, farklılaştırılarak (*fark işlemi yapılarak*) durağanlaştırılabilir ve böyle serilerin fark-durağan (difference-stationary) olduğu söylenebilir (Nau, 2018).

3.2.5. Durağanlığın Test Edilmesi

Yukarıda bahsedildiği gibi bir zaman serisinin durağan olup olmadığını tespit etmek oldukça önemlidir. Bir zaman serisinin durağanlığını incelemenin temelde üç yolu vardır: Grafik analizleri, korelogramlar (*serisel korelasyon grafikleri*) ve birim kök testleridir.

Grafik Analizleri: Durağanlığı test etmenin en temel yöntemi zaman serisi verilerinin zaman serisi grafiğini çizmektir. Genellikle, böyle bir enformel analiz, bir zaman serisinin durağan olup olmadığına dair ilk ipuçlarını sunabilir. Zaman serisi grafiği; artan veya azalan bir eğilim, mevsimsel veya döngüsel değişim, değişen ortalama ve varyans gösteriyorsa, verilerin durağan olmadığını söyleyebiliriz (Gujarati ve Porter, 2003).

Grafik Analizleri durağanlığı tespit etmek için kesinlikle güvenilir değildir ve genellikle verilere ilişkin kesin iddialarda bulunmaktan ziyade ilk izlenim elde etmek için kullanılmaktadır.

Korelogramlar: Zaman serilerinin durağanlığını test etmenin bir başka yolu da korelogramlar çizmektir. Bir korelogram, zaman içerisinde değişen verilerdeki (diğer bir deyişle zaman serisi verilerindeki) serisel korelasyonu gösteren bir grafikdir. Verilerin Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) grafiklerini bir panel grafik şeklinde sunar. Dolayısıyla, çeşitli gecikmelerdeki otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları sıfır civarında ise, zaman serilerinin muhtemelen durağan olduğunu söyleyebiliriz. Ancak gecikmelerdeki korelasyonların ve kısmi korelasyonların istatistiksel olarak anlamlı olmaları serinin durağan olmadığını göstermektedir (Gujarati ve Porter, 2003).

Birim Kök (unit root) Testleri: Zaman serisi verilerinin durağanlığının tespitinde kullanılan Dickey-Fuller testi, Artırılmış Dickey-Fuller (ADF) testi ve Phillips-Perron (PP) testi gibi istatistiksel testlerdir.

Bu tez çalışmasında, verilerin durağanlığının belirlenmesinde Artırılmış Dickey Fuller (ADF) testi kullanılmıştır. ADF Testi, Y_t zaman serisi verilerinde bir rastgeleliğin izlediğini varsaymaktadır (Kwiatkowski vd, 1992).

Test şu denkleme sahiptir:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + e_t \quad (3.2)$$

Burada; ρ , AR polinomunun karakteristik köküdür; ve ayrıca e_t sıfır ortalaması ve sabit varyansı σ^2 olan bir hata terimidir (Tebbs, 2011).

ADF testi, verilerdeki durağansızlığın sıfır hipotezini test etmeye yaramaktadır. Sıfır Hipotezi ($H_0: \rho = 1$): Bir zaman serisinin birim köke sahip olduğunu, yani durağan olmadığını gösterir. Alternatif Hipotez ($H_1: \rho < 1$): Bir zaman serisinin birim köke sahip olmadığını, yani durağan olduğunu gösterir (Dickey ve Fuller, 1979).

Ekseriyetle, verileri modellemek ve öngörmek için birçok zaman serisi analiz yöntemi bulunmaktadır, ancak bu araştırmada şu iki yöntem kullanılacaktır:

1. Yaygın olarak Box-Jenkins metodolojisi olarak bilinen Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA).
2. Üstel Düzleştirme (Exponential Smoothing) yöntemi.

3.3. Box-Jenkins Metodolojisi

Adını istatistikçiler George Box ve Gwilym Jenkins'den alan Box-Jenkins metodolojisi, Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) veya Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modellerinden yararlanarak zaman serisi verilerini modellemek ve öngörmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Box-Jenkins tekniği, Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli kullanarak modelin belirlenmesi, tahmin etmesi, tanı kontrolü ve öngörme olmak üzere dört aşamada ele alınabilir (Box vd, 1970).

Model genellikle ARIMA (p, d, q) modeli olarak adlandırılır; burada p , d ve q parametreleri modelin sırasıyla Otoregresif, Entegre ve Hareketli Ortalama kısımlarına karşılık gelen negatif olmayan tam sayılardır. ARIMA, zaman serisi verilerini analiz etme ve öngörmeye en etkili yaklaşımdır. ARIMA yöntemi, genel olarak durağan olmayan verilerin eğilimlere veya mevsimsel örüntülere uydurulmasında kullanılır. Bununla birlikte, ileriye yönelik öngörü noktaları ve öngörü aralığı sağlar (Chatfield ve Xing, 2019).

Bu tez çalışmasında, Hargeisa Su Ajansı tarafından toplanılan ve Ocak 2011'den Aralık 2020'a kadar olan 10 yıllık zamanı kapsayan Hargeisa aylık su tüketimi verileri kullanılacaktır.

3.3.1. ARIMA Modeli

Box-Jenkins ARIMA (p, d, q) modelinin temel süreçleri, sırasıyla Otoregresif (AR) süreci, Entegre sürecini (I) ve Hareketli Ortalama (MA) sürecini kapsamaktadır. ARIMA modelleri, zaman serilerinin öngörülmesinde kullanılan en yaygın model sınıfıdır, çünkü bir dizi farklılaştırma (fark alma işlemi) adımını kullanarak durağan olmayan bir seriyi durağan bir seriye dönüştürebilir. ARIMA modelinin oluşturulmasına yardımcı olan parametreler üç tanedir: AR sırasını belirleyen p , durağanlığa dönüşene kadar gereken fark alma işlemi sayısını ifade eden d , ve MA sırasını gösteren q (Tebbs, 2011).

Bir zaman serisinin durağan değilse, serinin uygun derecede farkları alınarak durağanlık sağlanır. Fark alma derecesi d ile simgelenir ve genellikle 1 ve en çok 2 değerini alır.

Eğer birinci farklar ($d=1$) seriyi durağan hale getiriyorsa, bu şekilde gösterilir;

$$d = 1 : y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (3.3)$$

Aynı anda eğer ikinci farklar ($d=2$) seriyi durağan hale getiriyorsa şöyle ifade edilir;

$$d = 2 : y_t = (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2}. \quad (3.4)$$

Fark alma işlemini rastgele yürüyüş serisine (durağan olmayan) uygularsak, ak gürültü (durağan seriler) elde ederiz ve seri ilk fark alma ile durağan hale gelirse, birinci dereceden entegre, $I(1)$ olduğunu söyleriz.

Benzer şekilde, seri ikinci fark alma ile durağan hale gelirse, ikinci dereceden entegre, $I(2)$ olduğunu söyleriz (Gujarati ve Porter, 2003).

Genel olarak, d dereceden entegre, $I(d)$, bir zaman serisi, Y_t , şu şekilde yazılabilir:

$$\nabla^d Y_t = W_t \quad (3.5)$$

Burada W_t farkı alınmış seridir ve ∇^d fark alma operatörüdür. Bir seriyi durağanlaştırmak için d kere farkını almak gerekebilir.

Adhikari ve Agrawal (2013) göre, gecikmeli polinomları (çokterimlileri) kullanan ARIMA (p, d, q)'nın matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi temsil edilebilir :

$$\varphi(L)(1 - L)^d y_t = \theta(L)\varepsilon_t \quad (3.6)$$

Buradaki AR(p) ve MA(q) özellikleri aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\text{AR}(p): y_t = c + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} \dots \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.7)$$

$$\text{MA}(q): y_t = \mu + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

Burada, φ tahmin edilecek Otoregresif parametredir; θ tahmin edilecek Hareketli Ortalama parametresidir; ∇ , fark alma işlemidir; L gecikme veya geri kaydırma işlemidir; rastgele hata (ε_t) sıfır ortalama ve sabit varyansa sahiptir.

Box ve Jenkins, ARIMA modelinin parametrelerinin tahminini önermiştir ve yaklaşımları, ARIMA modelinin belirlenmesi, parametre tahmini ve tanılayıcı kontrol ve öngörü olmak üzere dört yinelemeli adımı içermektedir (Box vd, 1970).

3.3.2. ARIMA Modelinin Belirlenmesi

ARIMA modelinin belirlenmesi, uygun p, d ve q değerlerini seçme söz konusudur. Öncelikle serinin durağan olup olmadığından emin olacağız, seri durağan ise otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafikleri p ve q değerlerini bulmamıza yardımcı olacaktır.

ARIMA yönteminde üç model vardır. Bunlar Otoregresif (AR) süreç, Hareketli ortalama (MA) süreci ve Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) süreçleridir. AR(p) sürecinde ACF üstel ya da geometrik olarak azalır PACF q-gecikmeden sonra kesilir, MA(q) sürecinde ise ACF p-gecikmeden sonra kaybolur PACF üstel ya da geometrik olarak azalır, ARMA (p, q) sürecinde hem ACF hem de PACF azalarak kaybolur.

ARIMA (p, d, q) sürecinin teorik PACF'si genellikle ilk p gecikmelerinde sıfırdan farklı PACF gösterir, geri kalan gecikmeler ise sıfır PACF'ye sahiptir. Teorik ACF içinse ilk q gecikmeleri sıfırdan farklı ACF bildirirken, geri kalan gecikmeler sıfır ACF'ye sahiptir.

Böylelikle, q ve p değerlerini, sırasıyla ACF ve PACF sınırlarının dışında kalan katsayılar olan %5 seviyesindeki anlamlı gecikmelerin toplam sıklığı (frekansı) ile belirleyebiliriz (Gujarati, 2011). P, d ve q değerleri yanlış seçilirse, türetilen modeller yetersiz olur ve bu nedenle öngörü için kullanılamaz.

Tablo 3.1. ACF ve PACF'nin teorik davranışları (Sevüktekin ve Çınar, 2017)

Model	Otokorelasyon Fonksiyonu	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu
AR(p)	Üstel/geometrik olarak azalır	q -gecikmeden sonra kesilir
MA(q)	p-gecikmeden sonra Kesilir	Üstel/geometrik olarak azalır
ARMA(p, q)	Üstel/geometrik olarak azalır	Üstel/geometrik olarak azalır

3.3.3. Model Parametrelerinin Tahmini ve Model Seçimi

ARIMA modelinin dereceleri belirlendiğinde (p, d ve q değerleri), $(\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_p \text{ and } \theta_1, \theta_2 \dots \theta_q)$ otoregresif ve hareketli ortalama terimlerine ait parametreleri tahmin edebiliriz. ARIMA modelinin parametrelerini tahmin etmek için MINITAB istatistik paket programı kullanılacaktır. MINITAB, ARIMA modelini tahmin ederken, En Çok Olabilirlik Tahmininden (MLE) yararlanmaktadır. Bu teknik, gözlemlendiğimiz verilerin olabilirlik fonksiyonunu maksimum yapan parametre değerlerini bulmaktadır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Model tahmin sürecini model seçim süreci takip eder ve en iyi ARIMA modeli Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) ve Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) kullanılarak seçilebilir (Tebbs, 2013).

$$AIC = -2 \ln(\bar{L}) + 2h \quad (3.9)$$

$$\text{ve } BIC = -2 \ln(\bar{L}) + \ln(n)h \quad (3.10)$$

Burada, \bar{L} olabilirlik fonksiyonu olabilirlik değeridir; h ve n ise sırasıyla tahmin edilecek parametrelerin ve artıkların sayısıdır. Dolayısıyla, aday modeller arasından, minimum AIC ve BIC'ye sahip olan model en iyisi olarak seçilecektir (Paul vd, 2013).

3.3.4. Modelin Tanısal Kontrolü

Belirli bir ARIMA modelinin seçilmesi ve parametrelerinin tahmininden sonra, seçilen modelin verilere uyup uymadığı kontrol edilmektedir. Modelden elde edilen artıklar bu aşamada önemli rol oynarlar. Bu nedenle, artıklara ilişkin Histogram, Jarque–Bera Normallik testi, ACF ve PACF grafikleri ve ayrıca Ljung-Box Q testi kullanılarak modelin veriye uygunluğu belirlenecektir (Adedia vd, 2018). Seçilen modelin artıkları birbirinden bağımsız ve aynı dağılıma sahip olmalı, sıfır ortalama ve sabit varyansa sahip olmalıdır. Özetle seçilen modelden elde edilen artıklar ak gürültü (rastgele) davranışı sergilerse, seçilen model en uygun model olarak belirlenebilir (Gujarati ve Porter, 2003).

3.3.5. Öngörü

En uygun ARIMA modeline karar verdikten sonra zaman serisi analizlerinin en temel ikinci amacı olan gelecek değerlere ilişkin öngörülerini elde edilebilir. Özetle, zaman serilerinin gelecekteki değerleri öngörülebilir ve öngörülerin güven aralıkları oluşturulabilir. ARIMA modellemesinin popülerliğinin arkasındaki nedenlerden biri öngörüdeki başarısıdır. Birçok durumda, bu teknikle elde edilen öngörüler, özellikle de kısa vadeli öngörüler, geleneksel ekonometrik modellemelerden elde edilenlere nazaran daha güvenilirdir (Gujarati ve Porter, 2003).

3.4. Üstel Düzleştirme

3.4.1. Üstel Düzleştirmenin Tanımı

Üstel düzleştirme (*Exponential smoothing*), tek değişkenli veriler için bir zaman serisi öngörü yöntemidir. Sistemik eğilime, mevsimsel bileşene veya her ikisine sahip zaman serisi verilerinin analizinde kullanılabilir (Brownlee., 2018). Üstel düzleştirme 1950'lerin sonunda (Brown, 1959; Holt, 1957; Winters, 1960) tarafından keşfedilmiştir ve literatürdeki en başarılı öngörü yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018).

Üstel düzleştirme öngörü yönteminde, geçmiş gözlemler için katlanarak azalan ağırlıklar tayin etmektedir. Özellikle, geçmiş gözlemler geometrik olarak azalan bir oranla ağırlıklandırılır. Gözlemler eskidikçe ağırlıklar katlanarak azalmaktadır. Başka bir deyişle, gözlem ne kadar yeni olursa, ilişkili ağırlık o kadar yüksek olmaktadır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Bu yöntemle hızlı bir şekilde güvenilir öngörüler üretilmektedir ve bu da endüstriyel verilerin işlendiği uygulamalar için ciddi bir avantaj sağlar (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Zaman serisi öngörülerinde; üstel düzleştirme yöntemleri, popüler Box-Jenkins ARIMA yöntemine bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Genel olarak, üç temel üstel düzleştirme zaman serisi öngörü yöntemi vardır ve bunlar sırasıyla *Basit Üstel Düzleştirme*, *İkili Üstel Düzleştirme* ve *Üçlü Üstel Düzleştirmedir*.

3.4.2. Tekli Üstel Düzleştirme

Aynı zamanda Basit Üstel Düzleştirme olarak bilinen Tekli Üstel Düzleştirme eğilimi veya mevsimselliği olmayan tek değişkenli veriler için bir zaman serisi öngörü yöntemidir. Bu teknik, net bir eğilime veya mevsimsel örüntüye sahip olmayan verilerin öngörülmesi için uygundur. Düzleştirme faktörü veya düzleştirme katsayısı

olarak adlandırılan tek bir parametre alfaya (α) ihtiyaç duyar. Alfa, 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir (Brownlee, 2017).

Tekli Üstel Düzleştirmede; t+1 zamandaki öngörü değeri, en son gözlem y_t ile önceki öngörü değeri \hat{y}_t arasındaki ağırlıklı ortalamaya eşittir ve şöyle yazılır;

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha)\hat{y}_t \quad (3.11)$$

Burada y_t , t zamandaki gerçek değerdir; \hat{y}_t , t zamandaki y değişkeninin öngörü kısaca düzleştirilmiş değeridir; \hat{y}_{t+1} , t+1 zaman dilimindeki düzleştirilmiş değeridir ve α , $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığında yer sahip düzleştirme parametresidir (Ostertagova ve Ostertag, 2012).

Yukarıdaki (3.11) formülü yeniden yazdığında şunu elde edilir:

$$\hat{y}_{t+1} = \hat{y}_t + \alpha e_t \quad (3.12)$$

Burada artık, $e_t = y_t - \hat{y}_t$, t zamandaki öngörü hatasıdır.

Dolayısıyla, üstel düzleştirme öngörüsünün geçmiş öngörü ile son öngöründe meydana gelen hatanın düzeltilmesinin toplamı olduğunu da söylemektedir.

(3.11) formülü yeniden tekrar ettiğinde şunu elde edilir:

\hat{y}_1 bilinmediğinden, ilk öngörüyle ilk gözlemle eşit şekilde ayarlayabilir. Dolayısıyla,

$$\hat{y}_1 = y_1 \quad (3.13)$$

$$\hat{y}_2 = \alpha y_1 + (1 - \alpha)\hat{y}_1 \quad (3.14)$$

$$\hat{y}_3 = \alpha y_2 + (1 - \alpha)y_1 + (1 - \alpha)^2 y_1 \quad (3.15)$$

$$\hat{y}_4 = \alpha y_3 + \alpha(1 - \alpha)y_2 + \alpha(1 - \alpha)^2 y_1 + (1 - \alpha)^3 y_1 \quad (3.16)$$

Yani, öngörü denkleminin genel biçimi şöyle yazılır:

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1 - \alpha)^k y_{t-k} + (1 - \alpha)^t y_1, \quad t \in \mathbb{N} \quad (3.17)$$

Burada \hat{y}_{t+1} ; y değişkeninin t+1 zamandaki öngörü değeridir (Ostertagova ve Ostertag, 2012). Bu yöntemde tahminler elde edilirken gözlem değerleri ağırlıklarla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar 0 ile 1 arasındadır. Gözlemlere eklenen ağırlıklar, zamanda geriye gidildikçe katlanarak azalır ve bu nedenle buna “üstel düzleştirme” denilmektedir.

Eğer değer küçükse (0'a yakın), ağırlıklar daha yavaş azalır, ancak değer büyükse (1'e yakın) ağırlıklar daha hızlı azalır ve alfabayı uygun şekilde seçerek azalma oranını kontrol edebiliriz. Küçük bir değer için ya da herhangi bir makul örneklem büyüklüğü için, ağırlıkların toplamı yaklaşık bir olacaktır (Ostertagova ve Ostertag, 2012).

3.4.3. İkili Üstel Düzleştirme

İkili Üstel Düzleştirme (nam-ı diğer Holt Üstel Düzleştirme Yöntemi), Tekli Üstel Düzleştirme yönteminin genişletilmiş bir versiyonudur ve tek değişkenli zaman serilerindeki eğilimleri açıkça destekler. Holt (1957), eğilime sahip verilerin öngörülmesi için tekil (basit) üstel düzleştirme yöntemini genişletmiştir (Brownlee., 2018). İkili üstel düzleştirme, her bir dönemde bir düzey bileşenini (level component) ve bir eğilim (trend) bileşenini dikkate almaktadır. Bu yöntemde, zaman serisi verilerini öngörmek için iki düzleştirme parametresi (alfa ve beta) kullanılmaktadır. Alfa (α) parametresi düzey bileşenini kontrol eden bir düzleştirme faktörü olduğundan, eğilimdeki değişimi kontrol etmek için beta (β) adlı ilave bir düzleştirme faktörü eklenmiştir (LaViola, 2003).

Bu yöntem, zaman serisi verilerinin eğilimli olduğu ve mevsimsel dalgalanması olmadığı durumlarda kullanışlıdır. Bu teknik, farklı şekillerde değişen eğilimleri desteklemektedir: Eğilim doğrusal olduğunda ortaya çıkan bir toplamsal ve eğilim üstel olduğunda gerçekleşen çarpımsal formu vardır. Toplamsal eğilimli (additive trend) bir İkili Üstel Düzleştirmeye, klasik olarak yöntemin geliştiricisi olan Charles Holt'un adını taşıyan Holt doğrusal eğilim modeli denir (Brownlee, 2017). (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018) göre, bu yöntem bir adet öngörü denklemine ve iki adet düzleştirme denklemine (biri düzey ve biri eğilim için) sahiptir. Bu denklemler genel olarak şu şekilde yazılmaktadır:

$$\text{Öngörü denklemi} \quad \hat{y}_{t+h} = \ell_t + hb_t \quad (3.18)$$

$$\text{Düzey denklemi} \quad \ell_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.19)$$

$$\text{Eğilim denklemi} \quad b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3.20)$$

3.4.4. Üçlü Üstel Düzleştirme

Üçlü Üstel Düzleştirme, İkili Üstel Düzleştirme yönteminin geliştirilmiş bir versiyonudur ve mevsimsellik etkisini dikkate almaktadır. Zaman serisi davranışının üç yönü olan düzey, eğilim ve mevsimsellik, üstel düzleştirmenin üç türünü ifade eder ve bu sebeple bu yönteme *üçlü üstel düzleştirme* denir.

Bu yöntem aynı zamanda *Holt-Winters Üstel Düzleştirme yöntemi* olarak bilinmektedir ve adını bu yönteme katkıda bulunan iki kişiden almıştır: *Charles Holt* ve *Peter Winters*. Bu yöntem, zaman serisi verileri öngörü teknikleri arasında en popüler olanlardan biridir (Dev vd, 2018).

Holt (1957) ve Winters (1960), mevsimsellik bileşenini dikkate almak için Holt (İkili) Üstel Düzleştirme yöntemini genişletmiştir. Alfa ve beta düzleştirme faktörlerine ek olarak, *gamma* (γ) isimli mevsimsel bileşenin üzerindeki etkiyi kontrol eden yeni bir düzleştirme faktörü eklenmiştir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018). Eğilimle benzer bir şekilde, mevsimsellik bileşeni de ya toplamsal yada çarpımsal süreç olarak modellenenebilir, toplamsal süreç doğrusal mevsimselliği incelerken çarpımsal süreç doğrusal olmayan mevsimselliği dikkate alır. Üçlü üstel düzleştirme, üstel düzleştirme yöntemlerinin en gelişmiş versiyonudur (Brownlee., 2018).

Holt-Winters mevsimsel yöntemi bir adet öngörü denklemi ve üç adet düzleştirme denklemi içerir; sırasıyla α , β ve γ düzleştirme parametrelerine sahip bu denklemlerden biri düzey için ℓ_t , biri eğilim için b_t , ve biri de mevsimsellik bileşeni içindir s_t .

Üçlü Üstel Düzleştirmenin toplamsal biçimi şu şekilde yazılabilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018):

$$\text{Öngörü denklemi} \quad \hat{y}_{t+h} = \ell_t + hb_t + s_{t+h-m(k+1)} \quad (3.21)$$

$$\text{Düzey denklemi} \quad \ell_t = \alpha(y_t - s_{t-m}) + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.22)$$

$$\text{Eğilim denklemi} \quad b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3.23)$$

$$\text{Mevsimsel denklem} \quad s_t = \gamma(y_t - \ell_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)s_{t-m} \quad (3.24)$$

Çarpımsal biçimi içinse denklemler şunlardır:

$$\text{Öngörü denklemi} \quad \hat{y}_{t+h} = (\ell_t + hb_t)s_{t+h-m(k+1)} \quad (3.25)$$

$$\text{Düzey denklemi} \quad \ell_t = \alpha \frac{y_t}{s_{t-m}} + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.26)$$

$$\text{Eğilim denklemi} \quad b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3.27)$$

$$\text{Mevsimsel denklem} \quad s_t = \gamma \left(\frac{y_t}{\ell_{t-1} - b_{t-1}} \right) + (1 - \gamma)s_{t-m} \quad (3.28)$$

α , β ve γ 'nın düzey, eğilim ve mevsimsellik için 0 ile 1 arasında değişen düzleştirme parametreleri olduğu denklemlerde; ℓ_t bir düzey bileşeni, b_t bir eğilim faktörü, s_t bir mevsimsel indeks ve \hat{y}_{t+h} ilerideki $t + h$ dönemlerinde bir öngörü değeridir.

3.4.5. Model Tahmini

En Çok Olabilirlik Tahmini (MLE); α , β ve γ düzleştirme parametrelerinin tahmininde kullanılabilir. En çok olabilirlik tahmini, bir olabilirlik fonksiyonunu maksimize ederek bir olasılık dağılımının parametrelerini tahmin etme yöntemidir. Olabilirlik fonksiyonu, belirlenen modelden ortaya çıkan verilerin olasılığıdır. Olabilirliği maksimize ederek düzleştirme katsayıları α , β , ve γ 'yı tahmin edebiliriz.

Bu tez çalışmasında, MLE'nin hesaplanması karmaşık olduğundan modelin düzleştirme parametrelerinin hesaplanmasında basitçe MINITAB istatistik programı kullanılmıştır. Düzleştirme parametrelerinin olası değerleri sınırlandırılmıştır ve parametreler genellikle 0 ile 1 arası değerlerden oluşmaktadır (Broze ve Melard, 1990).

3.4.6. Düzleştirme Parametrelerinin Seçimi

Üstel düzleştirme yöntemindeki önemli konulardan birisi de kullanılacak düzleştirme parametresinin en iyi değerlerinin seçilmesidir. Bunun nedeni, Üstel Düzleştirme yöntemlerinin öngörü doğruluğunun (forecasting accuracy) düzleştirme parametrelerine bağlı olmasıdır. Bu nedenle, uygun bir üstel düzleştirme parametresi değeri seçmek, öngörü sırasındaki olası hataları en aza indirmek için oldukça önemlidir (Ostertagova ve Ostertag, 2012). Bu çalışmada, Minitab tarafından oluşturulan düzleştirme parametresi değeri kullanacaktır ve Minitab artıkların kareleri toplamını en aza indiren bir parametre değeri seçilecektir (Ravinder, 2013).

3.4.7. Üstel Düzleştirme Yöntemleri ile Öngörü

Üstel Düzleştirme, zaman serisi analizinde en popüler öngörü tekniklerinden biridir. Anlaşılması ve kullanılması oldukça basittir. Çalışma kapsamında, zaman serisi verilerinin öngörüsü için üstel düzleştirme yöntemleri kullanırken, serinin eğilime, mevsimselliğe veya her ikisine sahip olup olmadığının anlaşılması amacıyla zaman serisi grafiği kontrol edilecektir. Daha sonra, hangi üstel düzleştirme yönteminin kullanılmasının uygun olduğu belirlenecek ve ardından düzleştirme parametresinin (veya parametrelerinin) seçilmesi gerekecektir.

Son olarak, seçilen düzleştirme parametresi (veya parametreleri) kullanılarak verilerin gelecekteki değerleri öngörülecektir.

3.5. ARIMA ve Üstel Düzleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasının ana amacı, ARIMA metodolojisi ve Üstel Düzleştirme yöntemini uygulayarak Hargeisa aylık su tüketim öngörülerini karşılaştırmak ve ardından en iyi tekniği seçerek önümüzdeki iki yılın Hargeisa su tüketim oranlarını öngörmektir. Dolayısıyla, sonuçlarının doğruluğu (accuracy) konusunda endişelendiğimiz iki öngörü yöntemi karşılaştırılacaktır. Burada doğruluk, öngörüler ile gerçek değerler arasındaki mesafe anlamına gelmektedir. Genel olarak, tüm öngörü yöntemlerinin temel amacı, yüksek öngörü doğruluğuna ulaşmaktır.

Öngörü yöntemlerinin karşılaştırılmasına ilişkin birçok ölçüt bulunmaktadır. Ancak, bu tez çalışmasında en popüler üç doğruluk ölçümü kullanılmıştır. Bunlar; kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzdelik hatası (MAPE) gibi farklı versiyonlarıdır. Bu ölçülerin her biri için en küçük ölçümlere sahip olan yöntem seçilecek ve böylelikle, öngörü için kullanılacak en iyi yöntem belirlenecektir (Wang ve Chaovalitwongse, 2010).

Doğruluk ölçümleri şu şekilde tanımlanabilir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}} \quad (3.29)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (3.30)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \quad (3.31)$$

Burada y_t t zamandaki gerçek değerdir; \hat{y}_t t zamandaki öngörü değeridir ve n ise toplam gözlem sayısıdır.

MAE, gerçek ve tahmin edilen gözlemler arasındaki tümsel doğruluğu ölçen yaygın bir öngörü hatası ölçüsüdür (Willmott ve Matsuura, 2005). RMSE, Hata Kareler Ortalaması (MSE)'nin kareköküdür, gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkların karekökünü temsil eder. RMSE her zaman pozitiftir (eksisiz) ve sıfır değeri verilerle mükemmel uyumu gösterir (Hyndman ve Koehler, 2006). MAPE, MAE'ye karşılık gelen karşılaştırmalı bir ölçüdür. Göreli performansı ölçtüğü için farklı ürünler arasındaki öngörülerin doğruluğunun karşılaştırılmasında en faydalı ölçüdür. Nicel öngörü yöntemlerinde sıklıkla kullanılan doğruluk ölçülerinden biridir (Makridakis vd, 2008).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Temel Analizler

Verilerin betimsel istatistikleri ölçülmüştür. Aşağıdaki Tablo 4.1'de, Hargeisa aylık su tüketiminin ortalaması, medyanı, varyansı, standart sapması, açıklığı (*range*), minimumu, maksimumu, çarpıklığı ve basıklığı dahil bazı temel betimsel istatistikleri gösterilmektedir. Veriler, Hargeisa Su Ajansı tarafında kaydedilmiş on yıllık (2011-2020) Hargeisa aylık su tüketimini içermektedir. Toplamda 120 gözlem yapılmıştır; en yüksek aylık su tüketimi Haziran 2015'de 242087 metreküp ve en düşük aylık su tüketimi Mayıs 2014'de 183524 metreküp şeklinde kaydedilmiştir. Tüketilen en yüksek ve en düşük su miktarları arasındaki fark ise 58563 metreküptür.

Ayrıca, Hargeisa'nın aylık ortalama su tüketimi 207120 metreküp iken su tüketim medyanı ise 206268 metreküptür. Bununla birlikte, Tablo 4.1, Hargeisa su tüketimi varyansının 131431905 metreküp ve standart sapmanın 11464 metreküp olduğunu göstermektedir, bu da veri serilerinin ortalamadan çok geniş alana yayıldığı anlamına gelir.

Tablo 4.1, verilerin çarpıklığının 0.68 olduğunu da göstermektedir ki bu da Hargeisa su tüketimi dağılımının pozitif veya sağa-çarpık olduğu anlamına gelir, yani sıra verilerin basıklığının 0.63 olduğunu göstermektedir ve bu da veri dağılımının daha düşük merkezi tepe noktasına sahip olduğu anlamına gelir.

Hargeisa su ajansının Ocak 2011'den Aralık 2020'a kadar dağıttığı toplam su miktarı 22386124 metreküptür.

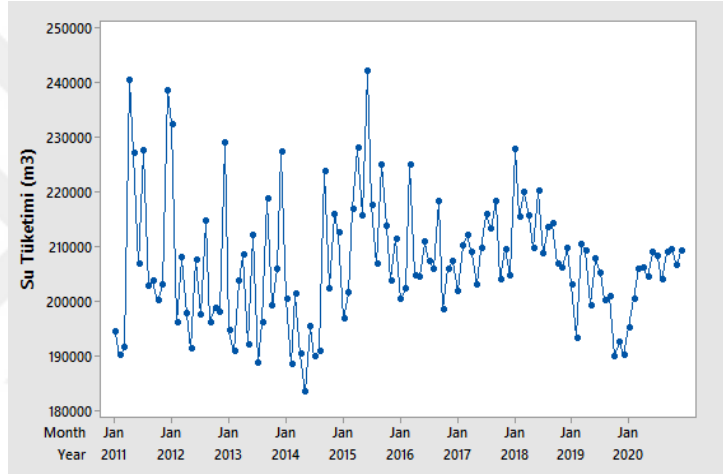
Tablo 4.1. Hargeisa aylık su kullanımının betimsel istatistikleri

Betimsel Ölçü	Su Tüketimi
Ortalama	207120
Medyan	206268
Varyans	131431905
Standart Sapma	11464
Açıklık	58563
Minimum	183524
Maksimum	242087
Çarpıklık	0.68
Basıklık	0.63
Toplam	24854438

4.2. Durağanlığın Test Edilmesi

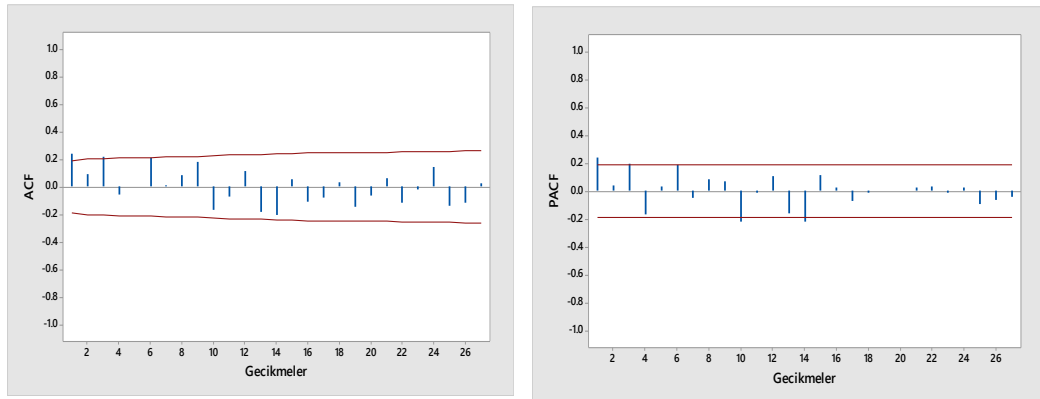
Box-Jenkins metodolojisini kullanarak analiz yapmadan önce verilerin durağan olması gerekmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında aşağıdaki 3 teknik kullanılarak veri serilerinin durağanlığı incelenmiştir: Zaman serisi grafiği, korelogramlar (Otokorelasyon Fonksiyonu ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu grafikleri) ve Artırılmış Dickey-Fuller testi.

İlk olarak, Hargeisa aylık su tüketimi zaman serisi grafiği Şekil 4.1'de gösterildiği gibi çizilmiştir. Şekil 4.1, verilerin eğilime ve mevsimsel örüntüye sahip olmadığını göstermektedir, ancak varyans zaman içerisinde sabit değildir. Dolayısıyla, zaman serisi verilerinin durağan olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1. Hargeisa aylık su tüketimi zaman serisi grafiği (2011-2020)

İkinci olarak, verilerin durağanlığını test etmek için Şekil 4.2'de gösterildiği gibi serinin ACF ve PACF grafiklerini çizilmiştir.



Şekil 4.2. Hargeisa aylık su tüketiminin ACF ve PACF grafikleri

Genellikle ACF'deki gecikmeler eğer çok yüksek bir değerden başlayıp çok yavaş azalıyorsa, bu serinin durağan olmadığını bir göstergesidir. Burada ACF ve PACF'deki gecikmeler azalmasından dolayı verilerin durağan söyleyebiliriz fakat istatistiksel olarak daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için Artırılmış Dickey Fuller Testi kullanılacaktır.

Durağanlığın test edilmesine ilişkin grafiksel yaklaşımlara ek olarak, durağanlığın istatistiksel testlerden de geçirilmesi gereklidir. Bu yaklaşımlardan birisi de son yıllarda yaygın olarak kullanılan *Birim Kök Testidir*. Veri kümelerinin durağanlığını değerlendirmek için Artırılmış Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmıştır.

Üç adet ADF test modeline (kesmeli ve trendli, kesmeli ve trendsiz & kesmesiz ve trendsiz) tabi tutulan gerçek verilerin sonuçları veri serilerinin durağan olmadığını göstermiştir.

Aşağıdaki Tablo 4.2'de de görüldüğü üzere ADF test istatistiğinin mutlak değeri %1'lik, %5'lik ve %10'luk ADF kritik değerlerinden daha az olduğundan sıfır hipotezi kabul edilmiştir ve serinin durağan olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.2. Gerçek verilerin ADF test sonuçları

ADF test modelleri	%1'lik ADF kritik değeri	%5'lik ADF kritik değeri	%10'luk ADF kritik değeri	ADF test istatistiği
Kesmeli ve trendsiz	-3.4891	-3.8872	-3.5805	-3.0890
Kesmeli ve trendli	-4.0412	-3.4501	-3.1503	-3.0654
Kesmesiz ve trendsiz	-2.5854	-1.9437	-1.6149	-0.2173

Son olarak, çeşitli yaklaşımlar kullanıldıktan sonra serinin durağan olmadığı fark edilmiştir. Veri serileri durağan olmadığı için fark alma işleminin kullanılarak serilerin durağan hale getirilmesine karar verilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 4.3'den görüleceği üzere verilerin ADF test istatistiğinin mutlak değeri %1'lik, %5'lik ve %10'luk ADF kritik değerlerinden daha büyük olduğundan sıfır hipotezi red edilmiştir ve serinin durağan olduğunu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.3. İlk fark alma işleminden sonra verilerin (ADF) test sonuçları

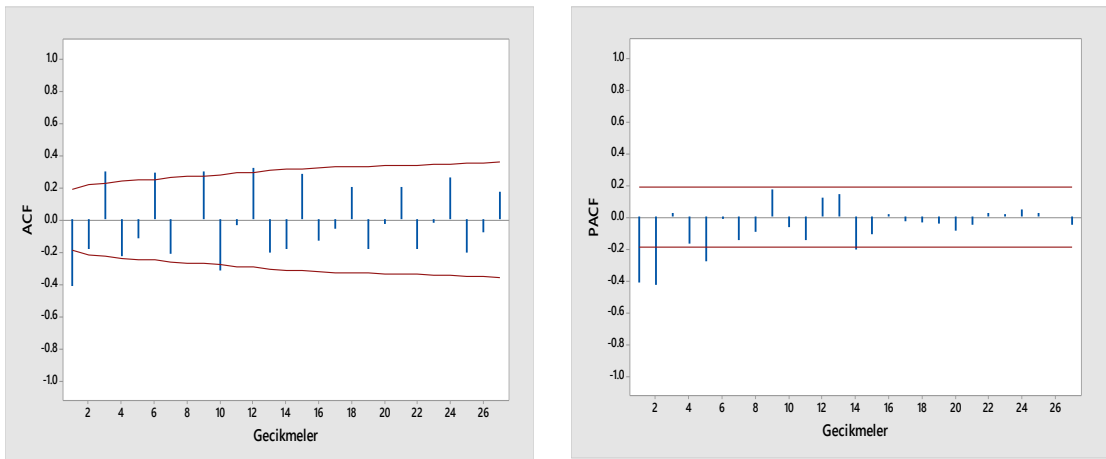
ADF test modelleri	%1'lik ADF kritik değeri	%5'lik ADF kritik değeri	%10'luk ADF kritik değeri	ADF test istatistiği
Kesmeli ve trendsiz	-3.4886	-2.8870	-2.5804	-8.5951
Kesmeli ve trendli	-4.0405	-3.4497	-3.1501	-8.5616
Kesmesiz ve trendsiz	-2.5854	-1.9437	-1.6149	-8.6337

Veriler durağan olduğundan; en uygun model seçimi aşamasına geçilebilir. Analizler sonucunda öngörü performanslarını karşılaştırabilmek için veri seti eğitim ve test kümesi olarak ikiye bölünmüştür. 2011 ile 2019 yılları arasındaki gözlemler eğitim kümesi olarak, 2020 yılına ait gözlemler ise test kümesi olarak belirlenmiştir.

4.3. Box-Jenkins Metodolojisinin Sonuçları

4.3.1. Modelin Belirlenmesi

Modelin belirlenmesinde kullanılan başlıca araçlar otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafikleridir. Bu çalışma için Şekil 4.3'de gösterilen korelogramları kullanarak, AR(p) ve MA(q) modellerinin derecesini belirleyebiliriz. Tablo 4.3'te görüldüğü üzere veri kümesi ilk fark alma işleminden sonra durağan hale gelmiştir. Nitekim, ACF ve PACF grafiğindeki sivri uçları (%95 güven aralığının dışındaki gecikmeler) kullanarak hem q hem de p değerlerinin belirleyebiliriz.



Şekil 4.3. İlk fark alma işleminden sonra ACF ve PACF grafikleri

ACF grafiği, modelin hareketli ortalama (MA) kısmını oluşturacak gecikme 1, gecikme 3, gecikme 6, gecikme 9, gecikme 10 ve gecikme 12'de sivri uçlara (*anlamli gecikmelere*) sahiptir.

PACF grafiği ise, modelin otoregresif (AR) kısmını oluşturan gecikme 1, gecikme 2 ve gecikme 5 için sivri uçlara sahiptir.

Dolayısıyla, modeller, Şekil 4.3'te gösterilen ACF ve PACF grafiklerindeki anlamli gecikmelerin birleşimi baz alınarak geçici olarak seçilmiştir ve ardından Box-Jenkins yaklaşımı aracılığıyla en iyi model belirlenmiştir. Buna ek olarak, Orijinal veriler durağan olmadığından model seçimi için ARMA (p, q) yerine ARIMA (p, d, q) kullanılacaktır.

Anlamli gecikmeler olmalarına rağmen, az parametrelili bir modelin çok parametrelili bir modele göre daha iyi öngörüler ve yeterli temsil sağlayacağını belirten Sıkılılı İlkesi (*the Principle of Parsimony*) gereği gecikme 9, gecikme 10 ve gecikme 12 göz ardı edilmiştir (Deka ve Resatoglu, 2019).

Tablo 4.4. ARIMA (p, d, q) geçici modelleri

Numara	Modeller	AIC	BIC
1	ARIMA (1, 1, 1)	21.67677	21.81731
2	ARIMA (1, 1, 3)	21.69369	21.84357
3	ARIMA (1, 1, 6)	21.67302	21.89784
4	ARIMA (2, 1, 1)	21.73288	21.85778
5	ARIMA (2, 1, 3)	21.63932	21.81418
6	ARIMA (2, 1, 6)	21.58110	21.83090
7	ARIMA (5, 1, 1)	21.64884	21.84868
8	ARIMA (5, 1, 3)	21.56752	21.77668
9	ARIMA (5, 1, 6)	21.57517	21.89991

Tablo 4.4'teki çıktı, veri serisinin tüm aday ARIMA modellerini içermektedir. Dolayısıyla, hangi modelin seçilmesi gerektiği ile ilgili sorunun cevabı; Box-Jenkins'in en düşük Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) sahip olan modelin en iyi model olduğu yaklaşımıyla bulunabilir. Bu nedenle, veri serilerini tahmin etmek üzere seçilen en uygun model ARIMA (5, 1, 3) modelidir çünkü bu model Akaike ve Bayesian bilgi kriterlerinin en düşük değerine sahiptir.

4.3.2. Model Tahmini

En iyi uydurulmuş ARIMA modeli belirlendikten sonra, MINITAB programı kullanılarak seçilen modelin parametreleri tahmin edilmiştir (Tablo 4.5 bakınız).

AR (1), AR (2), AR (3), MA (1), MA (2) ve MA (3) parametrelerinin katsayıları istatistiksel olarak anlamlı olmakla birlikte, AR (4) ve AR (5) parametrelerinin katsayıları %5'lik anlamlılık düzeyi ile istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 4.5'e göre, seçilen ARIMA (5, 1, 3) modeli şu şekilde yazılabilir:

$$Y_t = 42.83 - 0.335Y_{t-1} - 0.596Y_{t-2} + 0.524Y_{t-3} + 0.265\varepsilon_{t-1} - 0.240\varepsilon_{t-2} + 1.016\varepsilon_{t-3}$$

Bu model, Hargeisa su tüketiminin gelecekteki değerlerini öngörmek için kullanılacaktır.

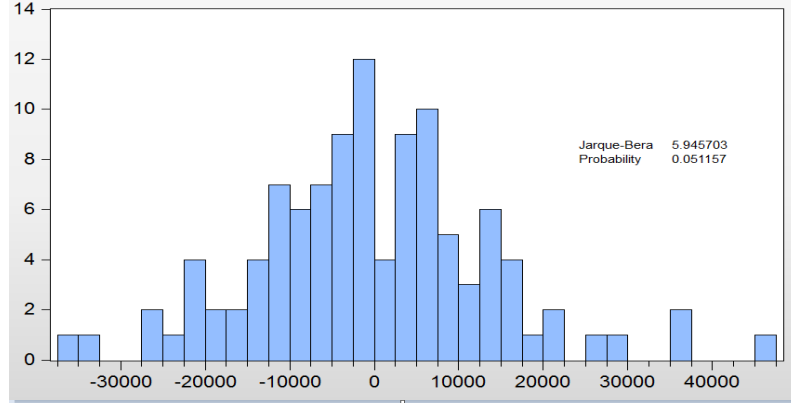
Tablo 4.5. ARIMA (5, 1, 3) parametrelerinin tahminleri

Tür	Katsayılar	Standart Hatası	P-değeri
AR 1	-0.335	0.103	0.002
AR 2	-0.596	0.111	0.000
AR 3	0.524	0.123	0.000
AR 4	-0.037	0.109	0.734
AR 5	0.152	0.103	0.144
MA 1	0.265	0.044	0.000
MA 2	-0.240	0.043	0.000
MA 3	1.016	0.030	0.000
Sabit	42.83	8.33	0.000

4.3.3. Tanısal Kontrol

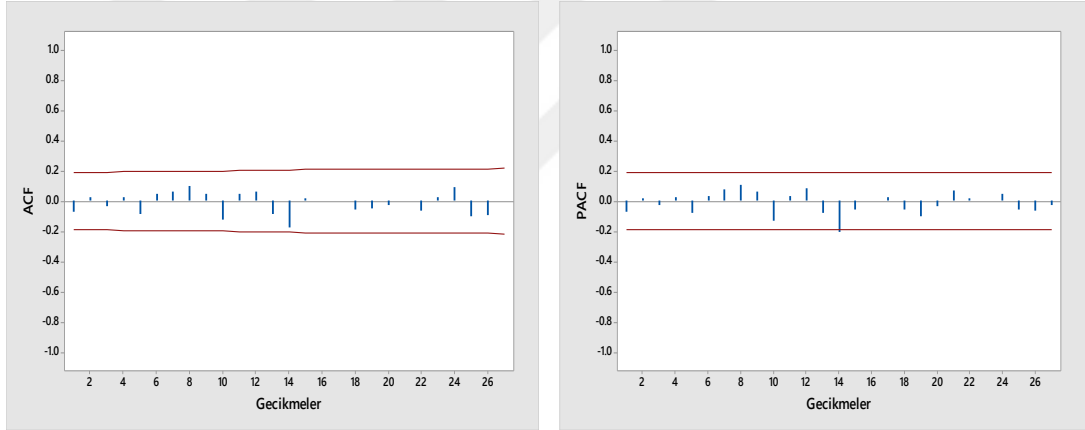
ARIMA model kurmada teşhis etme testlerini kullanarak modelin yeterliliğini kontrol etmektedir. Modelin tanılayıcı kontrolü, tahmin edilen modelin kabul edilebilir olup olmadığını kontrol etmeye yardımcı olur, bu da artıkların otokorelasyonlu olmadığı ve normal dağılım gösterdiği anlamına gelmektedir. En yaygın tanı aracı, seçilen modelin artıklarının ak gürültü (*white noise*) olup olmadığını kontrol etmektir. Dolayısıyla, artıkların normalliğini değerlendirmek için Histogram ve Jarque–Bera normallik testi kullanılırken, artıkların rasgeleliğini belirlemek için seçilen modelin artıklarının ACF ve PACF grafikleri çizilmektedir. Son olarak, artıkların otokorelasyonunu değerlendirmek için Ljung-Box Q testi kullanılır.

Şekil 4.4'teki Histogram, artıkların normalliğini ortaya çıkarmıştır. Histogram, sıfır etrafında eşit olarak dağılmış asimetrik çan şeklindedir. Bu durum, artıkların normal olarak dağıldığını göstermektedir. Benzer şekilde, Jarque–Bera testinin p değeri %5 alfa değerinden daha büyük olduğu için artıkların normal dağıldığı sonucuna varılabilmektedir.



Şekil 4.4. Artıkların histogramı ve Jarque–Bera normallik test sonuçları

Şekil 4.5'da, ARIMA (5, 1, 3) modelinden elde edilen artıkların ACF ve PACF grafikleri gösterilmektedir. Hem otokorelasyon hem de kısmi otokorelasyon grafiklerinin incelenebileceği gibi, %95 güven aralığının üzerinde anlamlı bir gecikme yoktur ve buradan artıkların tamamen rastgele olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 4.5. ARIMA (5, 1, 3) modeli için artıkların ACF ve PACF grafiği

Son olarak, Tablo 4.6'da görüldüğü gibi Ljung-Box Q testiyle, gecikmelerin p değerleri 0,05 alfa değerinden büyük olduğu anlaşıldığından artıklar arasında otokorelasyon olmadığı teyit edilmiştir ve bu da ARIMA (5, 1, 3) modelinin gelecekteki değerleri öngörmek için yeterli olduğunu onaylamaktadır.

Tablo 4.6. Ljung-Box Q test sonuçları

Gecikmeler	12	24	36	48
Ki-Kare	6.46	13.89	17.88	33.84
Serbestlik derecesi	3	15	27	39
P-Value	0.091	0.534	0.907	0.704

4.3.4. Öngörü

Gujarati ve Porter (2003)'e göre, Box-Jenkins ARIMA'nın popülaritesi öngörü başarısından kaynaklanmaktadır, bu nedenle bu yöntemin öngörülerinin güvenilir olduğu düşünülmektedir.

Aşağıdaki Tablo 4.7'da, Hargeisa aylık su tüketiminin test kümesine ait (Ocak 2020'dan Aralık 2020'a) gerçek değerleri ile ARIMA (5,1,3) modeli kullanılarak öngörü değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Gerçek ve ARIMA (5,1,3) öngörü değerleri

Dönem	Gerçek	Öngörü
Oca-20	195285	196135
Şub-20	200582	199548
Mar-20	205985	206652
Nis-20	206265	205855
May-20	204589	203122
Haz-20	208989	209047
Tem-20	208241	208571
Ağu-20	203992	204917
Eyl-20	208966	209556
Eki-20	209591	209337
Kas-20	206598	205691
Ara-20	209231	209581

4.4. Üstel Düzleştirme Yönteminin Sonuçları

4.4.1. Optimal Modelin Belirlenmesi

Serilerin eğilime, mevsimselliğe veya her iki biçime sahip olup olmadığını belirlemek için gerçek verilerin zaman serisi grafiği dikkate alınmıştır. Şekil 4.1'de Hargeisa aylık su tüketiminin eğilime ve mevsimsel örüntüye sahip olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, verilerin gelecekteki değerlerinin öngörülmesinde Tekli Üstel Düzleştirme (TÜD) yöntemi kullanılacaktır.

4.4.2. Düzleştirme Sabiti için En İyi Değerin Seçilmesi

Tekli Üstel Düzleştirme (TÜD) yöntemi, 0 ila 1 arası bir değere sahip tekli Düzleştirme parametresi alfaya (α) ihtiyaç duyar. Bu yöntemin öngörü doğruluğu Düzleştirme sabitine bağlıdır. Dolayısıyla, bu yöntemin öngörü doğruluğu için uygun bir alfa değerinin seçilmesi oldukça kritik bir önem taşır. Bu çalışmada Minitab program tarafından oluşturulan düzleştirme parametresi değeri kullanılacaktır ve

Minitab alfa değeri 0.175611 verilmiştir ve bu değerin kullanılması ile verilerin öngörüsü hesaplanacaktır.

4.4.3. Öngörü

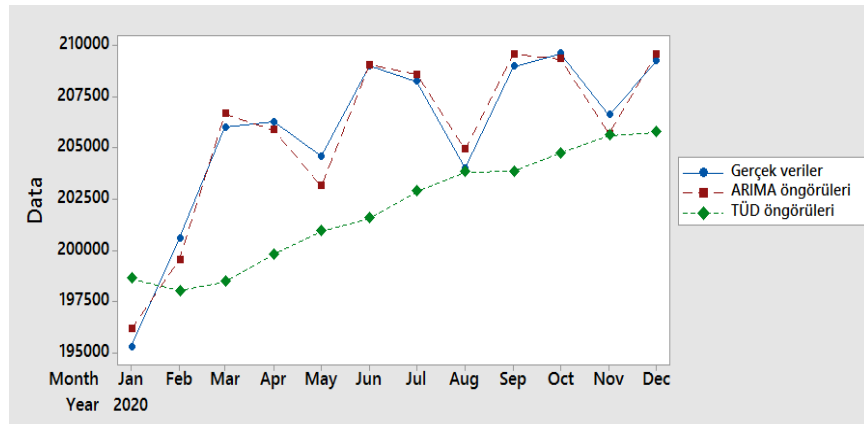
Tablo 4.8'de, Hargeisa aylık su tüketiminin TUD yöntemi kullanılarak belirlenen 2020 yılı öngörüsü sunulmaktadır. İki yöntemin öngörü doğruluklarını karşılaştırmak amacıyla, ARIMA yönteminde olduğu gibi benzer test kümesi (Ocak 2020'dan Aralık 2020'a) kullanılmıştır.

Tablo 4.8. Gerçek ve TUD yöntemi öngörü değerleri

Dönem	Gerçek	Öngörü
Oca-20	195285	198021.29
Şub-20	200582	198470.98
Mar-20	205985	199790.52
Nis-20	206265	200927.51
May-20	204589	201570.51
Haz-20	208989	202873.28
Tem-20	208241	203815.91
Ağu-20	203992	203846.83
Eyl-20	208966	204745.81
Eki-20	209591	205596.68
Kas-20	206598	205772.52
Ara-20	209231	198021.29

4.4.4. ARIMA ve TUD yöntemlerinin öngörü performanslarının karşılaştırılması

Her iki modelin öngörü performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, öncelikle ARIMA ve TUD öngörülerin gerçek değerleri ile beraber zaman seri grafiği kullanarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6'daki zaman seri grafiği ARIMA yönteminin TUD yönteminden daha iyi tahminlere sahip olduğunu teyit edebiliriz.



Şekil 4.6. Gerçek, ARIMA ve TUD öngörülerin Zaman seri grafiği

Bununla birlikte ARIMA ve TUD yöntemlerinin 2020 yılı öngörülleri gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.9'daki öngörü sonuçları baktığımızda ARIMA yönteminin TUD yöntemine daha iyi öngörüllere sahip olduğunu doğrulayabiliriz, çünkü ARIMA öngörülleri TUD öngörüllere göre gerçek değerlere daha yakın sonuçlara sahiptir.

Tablo 4.9. ARIMA ve TUD öngörüllerin 2020 yılı gerçek değerleri ile karşılaştırılması

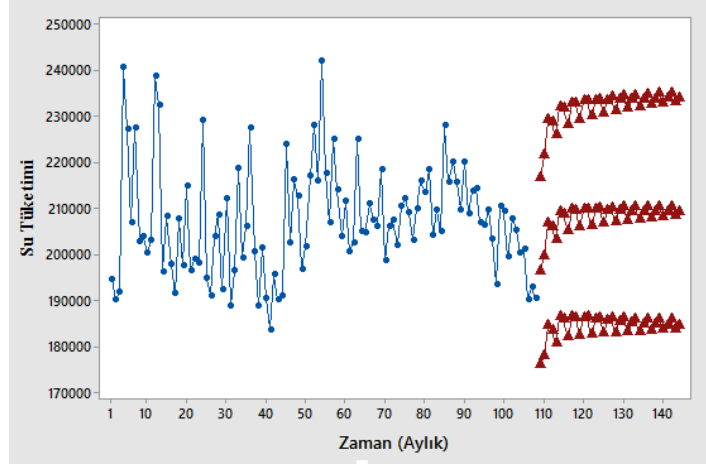
Dönem	Gerçek	ARIMA öngörülleri	TUD öngörülleri
Oca-20	195285	196135	198021.29
Şub-20	200582	199548	198470.98
Mar-20	205985	206652	199790.52
Nis-20	206265	205855	200927.51
May-20	204589	203122	201570.51
Haz-20	208989	209047	202873.28
Tem-20	208241	208571	203815.91
Ağu-20	203992	204917	203846.83
Eyl-20	208966	209556	204745.81
Eki-20	209591	209337	205596.68
Kas-20	206598	205691	205772.52
Ara-20	209231	209581	198021.29

Görsel değerlendirmenin ötesinde, RMSE, MAE ve MAPE öngörü doğruluğu ölçümlerini kullanarak iki yöntemin performansları karşılaştırılabilir. En az ölçüm değerine sahip yöntem, seçilecek en iyi yöntem olacaktır. Tablo 4.10'daki sonuçlara göre, ARIMA modelinin ölçüm değerleri diğer yöntemden daha küçüktür, dolayısıyla TUD modelinden daha iyi bir öngörü yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, ARIMA'nın (5,1,3) gelecekteki Hargeisa su tüketimi değerlerini öngörmek için en iyi model olduğu teyit edilmiştir.

Tablo 4.10. ARIMA ve TUD modellerinin öngörü doğruluğu ölçümleri

Doğruluk Ölçümleri	ARIMA(5,1,3) Model	TUD Model
RMSE	9840	12027.98
MAE	7161.36	8905.58
MAPE	3.42	4.23

Şekil 4.7'de, %95 güven aralığında bulunan ve 2 yıllık dönemi (2021'den 2022'ye) gösteren Hargeisa aylık su tüketim öngörülleri sunulmaktadır. Alt güven sınırı ve üst güven sınırı da belirtilmiştir. Hargeisa su tüketiminin Aralık 2019'den sonraki dönemde biraz artıp daha sonra benzer oranlarda devam edeceği tahmin edilmiştir.



Şekil 4.7. %95 güven aralığı ile Hargeisa aylık su tüketim öngörülleri

Son olarak Tablo 4.11'de, Hargeisa aylık su tüketimi için Ocak 2021 - Aralık 2022 arası öngörü sonuçları %95 alt ve üst güven sınırları ile özetlenmektedir.

Tablo 4.11. Güven sınırları dahil 2021 - 2022 öngörülen Hargeisa aylık su tüketimi

Dönem	Öngörü	%95 Sınırlar	
		Alt	Üst
Oca-21	209651	186112	233191
Şub-21	206153	182390	229916
Mar-21	209468	185703	233233
Nis-21	209824	186035	233612
May-21	206526	182550	230501
Haz-21	209340	185364	233316
Tem-21	209938	185941	233935
Ağu-21	206864	182713	231015
Eyl-21	209233	185081	233385
Eki-21	210022	185850	234193
Kas-21	207182	182886	231478
Ara-21	209153	184853	233453
Oca-22	210087	185770	234403
Şub-22	207483	183066	231901
Mar-22	209101	184675	233526
Nis-22	210138	185699	234577
May-22	207769	183249	232290
Haz-22	209074	184542	233606
Tem-22	210180	185637	234723
Ağu-22	208040	183431	232648
Eyl-22	209070	184447	233693
Eki-22	210215	185584	234846
Kas-22	208295	183611	232979
Ara-22	209087	184385	233788

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı, Hargeisa aylık su tüketimi öngörülerinin elde etmektir. Zaman serisi analizi için Box-Jenkins ARIMA metodolojisi ve Üstel Düzleştirme kullanılmıştır. Ayrıca veriyi özetlemek adına Hargeisa aylık su tüketiminin ortalaması, medyanı, varyansı, standart sapması, açıklığı, minimumu, maksimumu, çarpıklığı ve basıklığı dahil bazı betimsel istatistikler hesaplanmıştır.

Su tüketimi zaman serisi durağanlığının incelenmesi için üç teknik kullanılmıştır. Bunlar; zaman serisi grafiği, korelogramlar ve Artırılmış Dickey-Fuller testidir. Zaman serisi grafiği, verilerin eğilime ve mevsimsel örüntüye sahip olmadığını ancak varyansın zaman içerisinde sabit olduğunu göstermiş, dolayısıyla verilerin durağan olmadığı sonucuna varılmıştır. Korelogramlar; Otokorelasyon Fonksiyonu ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu grafiklerinin katlanarak azalmasından dolayı verilerin durağan olmadığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, ADF test istatistiğinin mutlak değeri %1'lik, %5'lik ve %10'luk ADF kritik değerlerinden daha az olduğundan, veri setinin durağan olmadığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla, fark alma işlemi kullanılarak zaman serisi durağan hale getirilmiştir.

Birinci fark alma işleminden sonra Box-Jenkins ARIMA yöntemi uygulanmıştır. AR(q) ve MA(p) değerlerinin her ikisinin derecelerinin belirlenmesinde ACF ve PACF grafikleri kullanılmıştır. ACF grafiği; gecikme 1, gecikme 3, gecikme 6, gecikme 9, gecikme 10 ve gecikme 12'de, PACF grafiği ise; gecikme 1, gecikme 2 ve gecikme 5 istatistiki olarak anlamlı gecikmeler olmuş ve aynı zamanda sivri uçlara sahiptir. Anlamlı gecikmeler olmalarına rağmen, “Sıklık İlkesi” (the Principle of Parsimony) gereği gecikme 9, gecikme 10 ve gecikme 12 göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla, aday modeller, ACF ve PACF grafiklerindeki anlamlı gecikmelerin birleşimi baz alınarak seçilmiştir. Akaike ve Bayes bilgi kriterlerinin en düşük değerine sahip olduğundan, aday modeller arasından ARIMA (5, 1, 3) seçilmiştir.

Öncelikle seçilen modelin parametreleri, MINITAB program kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonrasında seçilen model tanılayıcı kontrol ile değerlendirilmiştir. Histogram, normalliği gösteren simetrik çan şekilli bir grafik ortaya çıkarmıştır. Benzer şekilde, Jarque–Bera testinin p değeri %5 alfa değerinden daha büyük olduğu için artıkların normal dağıldığı sonucuna varılabilmektedir.

Seçilen modelin artıklarının ACF ve PACF grafikleri düzgün olduğundan, artıkların tamamen rastgele olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Ayrıca, Ljung-Box Q testiyle, gecikmelerin p değeri %5 alfa değerinden büyük olduğu anlaşıldığından artıklar arasında otokorelasyon olmadığı teyit edilmiştir. Son olarak, Ocak 2020 ile Aralık 2020 zaman aralığındaki Hargeisa aylık su tüketimi ARIMA (5,1,3) modeli kullanılarak öngörülmüştür.

Hargeisa aylık su tüketiminin zaman serisi grafiği, herhangi bir eğilimin ve mevsimsel örüntünün olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, üstel düzleştirme tekniklerinden olan Tekli Üstel Düzgünleştirme (TÜD) yöntemi kullanılmıştır. TÜD yöntemi, 0 ile 1 arası bir değere sahip tekli düzgünleştirme parametresi α ihtiyacı duymaktadır. Minitab programı alfa değerini optimal seçeneği kullanılarak 0.175611 olarak bulmaktadır. Ocak 2020-Aralık 2020 zaman aralığındaki Hargeisa su tüketimi için öngörüler TÜD yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. ARIMA ve Tekli Üstel Düzleştirme yöntemlerinin 2020 yılı öngörülerini gerçek değerler ile grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca performans ölçütleri RMSE, MAE ve MAPE dikkate alınarak ARIMA yöntemi ve TÜD yönteminden elde edilen öngörüler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre ARIMA (5,1,3) modelinin daha iyi öngörülere sahip olduğu teyit edilmiştir.

Son olarak, belirlenen ARIMA (5,1,3) modeli için, Hargeisa aylık su tüketiminin Ocak 2021- Aralık 2022 zaman dilimine ait öngörü değerleri ve %95'lik güven aralıkları tahmin edilmiştir.

Bu tez çalışmasının bulgularından yola çıkarak, Hargeisa Su Ajansına, Somaliland Hükümetine ve Hargeisa'nın su meselesine ilgi duyan tüm mercilere aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

1. Hargeisa'nın gelecekteki su tüketimine ilişkin daha önce bir çalışma yapılmadığından, araştırmanın bulguları, Hargeisa'nın halihazırda devam eden Yeni Su Temini Projesi için bir bilgi kaynağı, değerlendirme ve rehber niteliğinde olabilir.
2. 2021 ve 2022 yıllarına ait elde edilen öngörüler, gözlenen su tüketiminin genel ortalaması civarında seyretmektedir. HSA'nın neredeyse her yıl benzer oranlarda su dağıtımını yapması gerektiğine işaret etmektedir.

3. ARIMA (5, 1, 3) modeli kullanılarak öngörülen Hargeisa aylık su tüketimi değerleri, Hargeisa Su Ajansına gelecekteki operasyonel faaliyetlerinde büyük ölçüde yardımcı olabilir.
4. Somaliland Hükümeti ve Hargeisa Su Ajansı birlikte çalışarak, nüfus sürekli olarak artan Hargeisa Büyükşehir Belediyesi için etkili ve verimli su üretim ve dağıtım stratejileri oluşturmaktadır
5. Somaliland hükümeti ve yerel merciler, daha fazla su tasarruf edilmesi için uygun su kullanımı ve gelecekteki su krizlerinin önlenmesi hususlarında toplumsal farkındalığı arttırmaktadır.
6. Son olarak, su tüketimini etkileyen su fiyatları, iklim değişikliği ve sosyo-demografik etmenler (örneğin; gelir, eğitim düzeyi, mesleki durum ve hane büyüklüğü) gibi diğer değişkenler üzerine de araştırma çalışmaları yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adedia, D., Nanga, S., Appiah, S. K., Lotsi, A. and Abaye, D. A. 2018. Box-Jenkins' Methodology in Predicting Maternal Mortality Records from a Public Health Facility in Ghana. *Open Journal of Applied Sciences*, 8:06, 189.
- Adhikari, R. and Agrawal, R. K. 2013. An introductory study on time series modeling and forecasting. *arXiv preprint arXiv:1302.6613*.
- Ahmed, H. (2016). Water and the City of Hargeisa. Retrieved from <https://afrikansarvi.fi/issue3/34-reportaasi/90-water-and-the-city-of-hargeisa>
- Ajadi, B. 2010. Portable Water Availability and Consumption Pattern in Ilorin Metropolis, Nigeria. *Global Journal of Human Social Science*, 10:6, 44-50.
- Al-Karaghoul, A. and Kazmerski, L. L. (2012). Comparisons of technical and economic performance of the main desalination processes with and without renewable energy coupling. WORLD RENEWABLE ENERGY FORUM, ASES, [SI], 13-17.
- Alley, R. B., Clark, P. U., Huybrechts, P. and Joughin, I. 2005. Ice-sheet and sea-level changes. *science*, 310:5747, 456-460.
- Arrale, M. (2018). Somaliland: Hargeisa Water Agency Needs a Total Overhaul. Retrieved from <https://www.somalilandsun.com/somaliland-hargeisa-water-agency-needs-a-total-overhaul/>
- Assembly, U. G. 2010a. Resolution 64/292: The human right to water and sanitation. 64th Session. Available at: <http://www.un.org/es/comun/docs>.
- Assembly, U. N. G. 2010b. Resolution 64/292 (A/RES/64/292) adopted by the General Assembly on 28 July 2010. *The human right to water and sanitation. United Nations Publication, Geneva*, 3.
- Aubin, D. 2008. Asserted rights; rule activation strategies in water user rivalries in Belgium and Switzerland. *Journal of Public Policy*, 28:2, 207-227.
- Bennett, M. M. and Glasser, N. F. 2011. *Glacial geology: ice sheets and landforms*. John Wiley & Sons,
- Berga, L. 2016. The role of hydropower in climate change mitigation and adaptation: a review. *Engineering*, 2:3, 313-318.
- Bethke, C. M. and Johnson, T. M. 2008. Groundwater age and groundwater age dating. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36, 121-152.
- Billings, R. B. and Jones, C. V. 2011. *Forecasting urban water demand*. American Water Works Association,
- Box, G. E., Jenkins, G. M. and Reinsel, G. 1970. Time series analysis: forecasting and control Holden-day San Francisco. *BoxTime Series Analysis: Forecasting and Control Holden Day1970*.
- Bralower, T. and Bice, D. (2014). Distribution of Water on the Earth's Surface. *Earth in the future*. Retrieved from <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/701>
- Brockwell, P. J., Davis, R. A. and Calder, M. V. 2002. *Introduction to time series and forecasting*. Springer,
- Brownlee, J. 2017. *Introduction to time series forecasting with python: how to prepare data and develop models to predict the future*. Machine Learning Mastery,
- Brownlee., J. (2018). A Gentle Introduction to Exponential Smoothing for Time Series Forecasting in Python. Retrieved from <https://machinelearningmastery.com/exponential-smoothing-for-time-series-forecasting-in-python/>

- Broze, L. and Melard, G. 1990. Exponential smoothing: estimation by maximum likelihood. *Journal of Forecasting*, 9:5, 445-455.
- Buuni, H., Yusuf, A., Kiiru, G. and Karemu, G. 2015. Strategic plan implementation and organizational performance: A case of Hargeisa water agency in Somaliland. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 17, 60-66.
- Chatfield, C. and Xing, H. 2019. *The analysis of time series: an introduction with R*. CRC press,
- Chen, Y., Dong, G., Mack, J. H., Butt, R. H., Chen, J.-Y. and Dibble, R. W. 2016. Cyclic variations and prior-cycle effects of ion current sensing in an HCCI engine: A time-series analysis. *Applied Energy*, 168, 628-635.
- Corbella, H. M. and i Pujol, D. S. 2009. What lies behind domestic water use?: a review essay on the drivers of domestic water consumption. *BAGE: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*:50, 297-314.
- Das, S., Gupta, R. K. and Varma, H. K. 2007. Flood and drought management through water resources development in India. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 56:3, 179-188.
- Deka, A. and Resatoglu, N. G. 2019. Forecasting Foreign Exchange Rate and Consumer Price Index with Arima Model: the Case of Turkey. *International Journal of Scientific Research and Management*, 7:08.
- DESA, U. 2016. International Decade for Action 'Water for Life'2005-2015: Retrieved.
- Deutsch, L., Falkenmark, M., Gordon, L., Rockström, J., Folke, C., Steinfeld, H., Mooney, H., Schneider, F. and Neville, L. 2010. Water-mediated ecological consequences of intensification and expansion of livestock production. *Livestock in a Changing Landscape: Drivers, Consequences and Responses*, H. Steinfeld, H. Mooney, F. Schneider, L. Neville, Eds. (Island Press, 2010), 1, 97-111.
- Dev, S., AlSkaif, T., Hossari, M., Godina, R., Louwen, A. and van Sark, W. (2018). Solar irradiance forecasting using triple exponential smoothing. 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), IEEE, 1-6.
- Dickey, D. A. and Fuller, W. A. 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74:366a, 427-431.
- Döll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Portmann, F. T., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G. and Scanlon, B. R. 2012. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 59, 143-156.
- Downs, R. M. and Day, F. A. 2005. *National Geographic almanac of geography*,
- Dubey, S. and Pandey, S. 2014. Fresh Water Availability and Global Challenge. *Watershed Management for Sustainable Development*.
- Ebrahimi, A., Najafpour, G. D. and Kebria, D. Y. 2018. Performance of microbial desalination cell for salt removal and energy generation using different catholyte solutions. *Desalination*, 432, 1-9.
- Ehrlich, R. and Geller, H. A. 2017. *Renewable energy: a first course*. CRC Press,
- Ercin, A. E. and Hoekstra, A. Y. 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment international*, 64, 71-82.
- Ercin, E. and Hoekstra, A. Y. 2012. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis and case study for Europe. *Value of Water Research Report*:59.

- FAO (2015). A global information system on water and agriculture. Retrieved from <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- Farah, K. M. and Yonis, I. S. 2015. Challenges of sustaining urban water supply for rapidly growing post war city: case study of Hargeisa City.
- Förster, J. 2014. Cooling for electricity production dominates water use in industry. *Statistics in focus*, 2014:14, 12.
- Gerland, P., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B. K., Chunn, J. and Lalic, N. 2014. World population stabilization unlikely this century. *science*, 346:6206, 234-237.
- Gleick, P. H. 1996. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water international*, 21:2, 83-92.
- Goggin, D. E. 2007. Method and apparatus for time series graph display: Google Patents.
- Gregory, J. M., Huybrechts, P. and Raper, S. C. 2004. Threatened loss of the Greenland ice-sheet. *Nature*, 428:6983, 616-616.
- Gujarati, D. 2011. Econometrics by Example/Damodar Gujarati. *Number*, 330, 299-300.
- Gujarati, D. N. and Porter, D. C. 2003. Basic econometrics (ed.). *Singapore: McGraw Hill Book Co.*
- Guppy, L., Anderson, K., Mehta, P. and Nagabhatla, N. 2017. Global water crisis: the facts. *Hamilton, UNU-INWEH.*
- Haas, A. R. 2017. An overview of municipal finance in Hargeisa, Somaliland.
- Habitat, U. (2016). Hargeisa Water Supply Upgrading Project (HUWSUP). Retrieved from <https://utc-mannheim.de/de/senior-civil-engineer-office-managerhargeisa-somalilanddeadline20-january-2016/>
- Hamududu, B. and Killingtveit, A. 2012. Assessing climate change impacts on global hydropower. *Energies*, 5:2, 305-322.
- Hanasaki, N., Inuzuka, T., Kanae, S. and Oki, T. 2010. An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model. *Journal of Hydrology*, 384:3-4, 232-244.
- Haziq, M. A. and Panezai, S. 2017. An Empirical Analysis of Domestic Water Sources, Consumption and Associated Factors in Kandahar City, Afghanistan. *Resources and Environment*, 7:2, 49-61.
- Hipel, K. W. and McLeod, A. I. 1994. *Time series modelling of water resources and environmental systems*. Elsevier,
- HWA (2018). HARGEISA WATER AGENCY COMMERCIAL FINANCE PRE-FEASIBILITY REPORT. Retrieved from <https://ppiaf.org/documents/5733/download>
- HWA (2019a). Hargeisa Urban Water Supply Upgrading Project. Retrieved from <http://www.hargeisawateragency.org/projects/huwsup/#:~:text=The%20Hargeisa%20Urban%20Water%20Supply,and%20implemented%20by%20UN%2DHabitat.&text=The%20upgraded%20system%20will%20be,HUWSUP's%20partner%2C%20Hargeisa%20Water%20Agency.>
- HWA (2019b). Hargeisa Water Agency: Our History Retrieved from <http://www.hargeisawateragency.org/our-history/>
- Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. 2018. *Forecasting: principles and practice*. OTexts,
- Hyndman, R. J. and Koehler, A. B. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22:4, 679-688.

- Igor, S. 1993. World fresh water resources. *Water in crisis: a guide to the world's. Oxford University Press, Inc, Oxford.*
- Jia, S., Yang, H., Zhang, S., Wang, L. and Xia, J. 2006. Industrial water use Kuznets curve: evidence from industrialized countries and implications for developing countries. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132:3, 183-191.
- Jiang, Y., Chen, Y., Younos, T., Huang, H. and He, J. 2010. Urban water resources quota management: The core strategy for water demand management in China. *Ambio*, 39:7, 467-475.
- Khokhar, T. 2017. Chart: Globally, 70% of freshwater is used for agriculture. *World Bank Data Blog.*
- Ki-moon, B. and General, U. S. 2015. The Human Right to Water and Sanitation. *United Nations*, 1-8.
- Kohli, A., Frenken, K. and Spottorno, C. 2010. Disambiguation of water use statistics. *The AQUASTAT Programme of FAO, Rome, Italy.*
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P. and Shin, Y. 1992. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of econometrics*, 54:1-3, 159-178.
- Lane, R. C. 2004. *Estimated domestic, irrigation, and industrial water use in Washington, 2000.* US Department of the Interior, US Geological Survey,
- Larsen, T. A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B. and Maurer, M. 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *science*, 352:6288, 928-933.
- latlong.net (2020). Hargeisa, Somalia Geographic Information. Retrieved from <https://www.latlong.net/place/hargeisa-somalia-25342.html>
- LaViola, J. J. (2003). Double exponential smoothing: an alternative to Kalman filter-based predictive tracking. Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003, 199-206.
- Lin, R., King-lp, A. and Shim, H. S. S. K. (1995). Fast similarity search in the presence of noise, scaling, and translation in time-series databases. Proceeding of the 21th International Conference on Very Large Data Bases, Citeseer, 490-501.
- Mabhaudhi, T., Chibarabada, T. and Modi, A. 2016. Water-food-nutrition-health nexus: Linking water to improving food, nutrition and health in Sub-Saharan Africa. *International journal of environmental research and public health*, 13:1, 107.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C. and Hyndman, R. J. 2008. *Forecasting methods and applications.* John wiley & sons,
- Miyake, K., Miyake, N., Kondo, S., Tabe, Y., Ohsaka, A. and Miida, T. 2009. Seasonal variation in liver function tests: a time-series analysis of outpatient data. *Annals of clinical biochemistry*, 46:5, 377-384.
- Mo, K. C., Paegle, J. N. and Higgins, R. W. 1997. Atmospheric processes associated with summer floods and droughts in the central United States. *Journal of Climate*, 10:12, 3028-3046.
- Mogelgaard, K. 2012. Why population matters to water resources. *Population Action International, Washington DC, USA.*
- MoNPD (2019). *Somaliland in figures.* Retrieved from
- Mullen, K. 2012. Information on Earth's water. *NGWA www.ngwa.org.*
- Nations, U. 2010. Goal 7: Ensure environmental sustainability. *The Millenium Development Goals report.*

- Nations, U. 2015. The millennium development goals report. *New York: United Nations*.
- Nations, U. 2016. The world's cities in 2016. *New York, United*.
- Nau, R. 2018. Stationarity and differencing of time series data. *Duke University, [Online]*. Available: <https://people.duke.edu/~rnau/411diff.htm>. [Accessed 23 May 2018].
- Network, B. P. 2010. The facts about the global drinking water crisis'. *Blue Planet Network*.
- Ojo, O. M. 2014. Availability and use of domestic water in osiele area of ogun state, nigeria. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 3:2, 104-107.
- Okello, C., Tomasello, B., Greggio, N., Wambiji, N. and Antonellini, M. 2015. Impact of population growth and climate change on the freshwater resources of Lamu Island, Kenya. *Water*, 7:3, 1264-1290.
- Opio, C., Gerber, P. and Steinfeld, H. 2012. Livestock and the environment: addressing the consequences of livestock sector growth. *Advances in Animal Biosciences*, 2:3, 601-607.
- Ostertagova, E. and Ostertag, O. 2012. Forecasting using simple exponential smoothing method. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 12:3, 62.
- Otieno, Z. A. (2008). *Agricultural growth, rural poverty and hunger in Africa*. Retrieved from
- Palachy, S. 2019. Stationarity in time series analysis. *Towards Data Science. Saataavissa:* <https://towardsdatascience.com/stationarity-in-time-seriesanalysis-90c94f27322>. Hakupäivä, 31, 2019.
- Paul, J. C., Hoque, M. S. and Rahman, M. M. 2013. Selection of Best ARIMA Model for Forecasting Average Daily Share Price Index of Pharmaceutical Companies in Bangladesh: A Case Study on Square Pharmaceutical Ltd. *Global Journal of Management and Business Research*.
- Perlman, H. 2005. Earth's water: Ground water, United States Geological Survey, United States Department of the Interior.
- Plosser, C. I. 1978. *Seasonal analysis of economic time series*. NBER, 365-408.
- Radwan, H., Elattar, S. and Khmes, R. (2011). Global water resources. *Forum Umwelttechnik und Wasserbau*: vol. 10, 7.
- Rangaswamy, S., Shobha, G., Sheriff, S., Neelakant, S. and Vaishakh, B. 2013. Time Series Data Mining Tool.
- Ravinder, H. V. 2013. Determining The Optimal Values Of Exponential Smoothing Constants Does Solver Really Work? *American Journal of Business Education (AJBE)*, 6:3, 347-360.
- Reig, P., Shiao, T. and Gassert, F. (2013). *Aqueduct water risk framework*. Retrieved from
- Ritchie, H. and Roser, M. 2017. Water Use and Stress. *Our World in Data*.
- Rosegrant, M. W., Ringler, C. and Zhu, T. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual review of Environment and resources*, 34, 205-222.
- Shan, Y., Yang, L., Perren, K. and Zhang, Y. 2015. Household water consumption: insight from a survey in Greece and Poland. *Procedia Engineering*, 119, 1409-1418.
- Sharma, S. K. and Vairavamoorthy, K. 2009. Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries. *Water and Environment Journal*, 23:3, 210-218.

- Shongwe, M. E., van Oldenborgh, G. J., van den Hurk, B. and van Aalst, M. 2011. Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part II: East Africa. *Journal of climate*, 24:14, 3718-3733.
- SINGH, A. (2018). A Multivariate Time Series Guide to Forecasting and Modeling (with Python codes). Retrieved from <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/09/multivariate-time-series-guide-forecasting-modeling-python-codes/>
- Tebbs, J. M. 2011. Forecasting and Time Series. *University of South Carolina, USA*.
- Tebbs, J. M. 2013. *STAT 520 Forecasting and Time Series.*, 80-306, University of South Carolina. Department of Statistics.
- Thomas, J. J. and Wallis, K. F. 1971. Seasonal variation in regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 134:1, 57-72.
- Tóth, J. 2009. *Gravitational systems of groundwater flow: theory, evaluation, utilization*. Cambridge University Press,
- Trust, T. H. (2019). HALO BRINGS WATER TO SOMALILAND CAPITAL. Retrieved from <https://www.halotruster.org/latest/halo-updates/stories/world-water-day-somaliland/>
- UN-Habitat (2015). Work begins on new water supply pipeline for Hargeisa. Retrieved from <https://unhabitat.org/work-begins-on-new-water-supply-pipeline-for-hargeisa>
- UN, R. 2002. 64/292. United Nations General Assembly, July 2010. General Comment No. 15. The right to water. UN Committee on Economic. *Social and Cultural Rights*.
- UNICEF (2019). Water, Sanitation & Hygiene (Wash) Profile. Retrieved from <https://www.unicef.org/somalia/media/1251/file/Somalia-wash-profile-February-2020.pdf>
- UNICEF, W., Organization, W. H. and UNICEF 2012. Progress on drinking water and sanitation: 2012 update. *United States: WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*.
- Veale, L. (2015). Seawater desalination: A solution or an environmental disaster? Retrieved from <https://web.archive.org/web/20170202015426/http://technologyreview.me/en/energy/seawater-desalination-a-solution-or-an-environmental-disaster/>
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G. and Culvenor, D. 2010. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote sensing of Environment*, 114:1, 106-115.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R. B. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289:5477, 284-288.
- Wada, Y., Van Beek, L. P., Wanders, N. and Bierkens, M. F. 2013. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environmental Research Letters*, 8:3, 034036.
- Wagah, G. G., Onyango, G. M. and Kibwage, J. K. 2010. Accessibility of water services in Kisumu municipality, Kenya. *Journal of Geography and Regional planning*, 2:5, 114-125.
- Wallace, J. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, ecosystems & environment*, 82:1-3, 105-119.
- Wang, S. and Chaovalitwongse, W. A. 2010. Evaluating and Comparing Forecasting Models. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.

- Water, U. 2017. Water and urbanization. *Accessed January, 21, 2018.*
- Watkins, K. 2006. Human Development Report 2006-Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. *UNDP Human Development Reports (2006).*
- WHO 2003. Domestic water quantity, service level and health. *World Health Organisation, Geneva, Switzerland, WHO/SDE/WSH/03.02, 39.*
- WHO 2019. *National systems to support drinking-water: sanitation and hygiene: global status report 2019: UN-Water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water: GLAAS 2019 report.*
- WHO April 2012. Facts about water scarcity. *World Health Organization.*
- WHO and UNICEF 2010. *Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update, 60-60.*
- WHO and UNICEF 2019. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities.* World Health Organization,
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R. and Mousavinejad, A. 2013. End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production, 60, 107-115.*
- Willmott, C. J. and Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research, 30:1, 79-82.*
- WWAP 2019. The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind: UNESCO World Water Assessment Programme Paris.
- Yasue, S., Yokota, Y., Munakata, K., Ueno, H. and Mori, S. (1993). Power spectral and fractal analysis of the irregular time series from the underground muon telescopes. *International Cosmic Ray Conference, 617.*
- Young, M. and Esau, C. 2015. *Investing in Water for a Green Economy.* Routledge, 67-79.
- Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L. and Tockner, K. 2015. A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences, 77:1, 161-170.*

ÖZ GEÇMİŞ

Abdishakur Ismail ADAM, Somaliland’ın Hargeisa şehrin’de doğdu. Sallaxley Lisesi’ni bitirdikten sonra Hargeisa Üniversitesi Matematik ve İstatistik Fakültesi’nden 2016 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ Lisans Eğitim Enstitü İstatistik Yüksek Lisans programını girdi. İyi/orta derecede İngilizce, Arapça ve Türkçe bilmektedir.

Temel ilgi alanları, Zaman seriler ve Uygulamalı istatistik (21/03/2021).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5265-9144>

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Time Series Analysis of Rice Price using Box-Jenkins ARIMA Methodology in Hargeisa, Somaliland.

Abdishakur Ismail ADAM ve Prof. Dr. Vedide Rezan USLU, (18.10.2019),

Yayın Yeri: 5Th International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress, kuşadası, Aydın, Turkey.