



**T.C.**

**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFYA ANABİLİM DALI**

**BURSA KENTİNDE SU KİTLİĞİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE  
NÜFUS SENARYOLARI AÇISINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİ  
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Semanur COŞKUN**

**701940007**

**BURSA 2022**





**T.C.**

**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFYA ANABİLİM DALI**

**BURSA KENTİNDE SU KİTLİĞİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE  
NÜFUS SENARYOLARI AÇISINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİ  
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Semanur COŞKUN**

**Danışman:**

**Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ**

**BURSA 2022**

## ÖZET

Semanur Coşkun

Bursa Uludağ Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Coğrafya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ

X+70

### **BURSA KENTİNDE SU KİTLİĞİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE NÜFUS SENARYOLARI AÇISINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Küresel iklim değişikliği ile birlikte iklimsel sistemlerin ve onların alt sistemlerindeki birçok parametrenin hem alansal hem de zamansal açıdan ortalama ve uç koşullarında değişiklik beklenmektedir. Araştırmalar iklimin küresel ölçekte değişmekte olduğunu gösterir, ancak Akdeniz havzası iklim değişikliği açısından sıcak-bölge (*İng.* hotspot) olmakla birlikte Türkiye’de iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden biridir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’de iklim değişikliği ile birlikte su varlığında ve su kıtlığında bir problem oluşacağı beklenmektedir. Bu kapsamda, iklim değişikliğinin oluşturacağı su kıtlığı ve kuraklıkları anlamak için Marmara Bölgesinde yer alan Bursa İlinin kentsel su ihtiyacını sağlayan barajdaki hacim miktarları ve değerleri belirlenmiştir. Şehir merkezinin su ihtiyacı Doğancı Barajından karşılanmaktadır ve bu bakımdan gelecekteki baraj hacmi için çeşitli projeksiyonlar üretilmiştir. Bunun için ilk olarak dinamik bir şekilde 10 km’ye kadar düşürülmüş RegCM4.4 bölgesel iklim modeli kullanılmıştır. RegCM çıktılarından yola çıkılarak Penman-Monteith metoduna göre çalışma alanının buharlaşma değerleri elde edilmiştir. Daha sonra SCS-CN yağış-akış modeli kullanılarak Doğancı Barajı havzalarına gelen akarsuların akım değerleri gelecek için hesaplanmıştır. Bu değerler elde edildikten sonra makine öğrenmesinde sıklıkla kullanılan Destek Vektör Makinesi (SVM) yöntemiyle referans dönemi için gözlem verisi kullanılarak yağış, buharlaşma ve akım değerleri ile baraj hacmi arasında istatistik model kurulmuştur. Daha sonra baraj hacminin geleceğe ait değerlerini elde etmek için RegCM verileri kullanılarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo temelinde SVM

vasıtasıyla baraj hacimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksine (SRSI) dönüştürülerek Doğancı Barajı'nın geleceğe ait kurak ve nemli dönemleri ortaya konulmuştur. Doğancı Barajı havzasının kuraklık değerleri belirlendikten sonra su kıtlığının anlaşılması için öncelikle nüfus projeksiyonlarından Aritmetik Büyüme Modeli (*İng.* Arithmetic Growth Model) ve Üstel Büyüme Modeli (*İng.* Exponential Growth Model) kullanılarak Bursa kent merkezi nüfusu 2100 yılına kadar tahmin edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda referans dönemi ile karşılaştırıldığında kuraklıkların arttığı ve kuraklıkların ekstrem koşullarının arttığı belirlenmiştir. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda kurak döneme gidiş tespit edilmiştir. RCP 4.5 uzak gelecek ve RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda kurak ve nemli dönemler birbirini izlemiştir. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda kuraklığa gidişat gösterirken sonrasında nemli döneme doğru gidişat göstermiştir. Baraj açısından su kıtlığının belirlenmesi amacı doğrultusunda nüfusa göre suyun oranı belirlenmiştir. Elde edilen hacmin nüfusa oranlanmasıyla kullanılabilir su miktarı ve kişi başına düşen su miktarları hesaplanmıştır. Referans dönemi ile RCP 4.5, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları karşılaştırılmıştır. Referans döneminde kişi başına düşen su miktarı aylık olarak 11479 litre iken RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda bu değer 5319 litre olurken RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda 3830 litre'dir. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda kişi başına düşen su miktarı 5514 litre iken RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda 3770 litre olarak belirlenmiştir. Kişi başına düşen su miktarı referans dönemine göre azalmış olup frekanslarının azaldığı tespit edilmiştir. Referans dönemine göre barajdaki hacim miktarlarında azalmalar görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** İklim değişikliği, Makine Öğrenmesi, Su kıtlığı, Bursa, Kent nüfusu.

## **ABSTRACT**

Semanur Coşkun

Bursa Uludag University

Social Science Institution

Geography Department

Master's Thesis

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ

X+70

### **INVESTIGATION OF WATER SCARCITY IN TERMS OF CLIMATE CHANGE AND POPULATION SCENARIOS VIA MACHINE LEARNING IN THE CITY OF BURSA**

With global climate change, changes are expected in the mean and extreme conditions of climatic systems and many parameters in their subsystems, both spatially and temporally. Studies show that the climate is changing on a global scale, but the Mediterranean basin is one of the regions that will be most affected by climate change in Turkey, although it is a hot-spot in terms of climate change. From this point of view, it is expected that there will be a problem in the presence of water and water scarcity with climate change in Turkey. In this context, in order to understand the water scarcity and droughts that will be caused by climate change, the volume amounts and values of the dam that provides the urban water need of Bursa Province in the Marmara Region have been determined. The water needs of the city center are met by the Doğancı Dam, and in this respect, various projections have been produced for the future dam volume. For this, firstly, the RegCM4.4 regional climate model, which is dynamically reduced to 10 km, is used. Evaporation values of the study area were obtained according to the Penman-Monteith method based on the RegCM outputs. Then, the flow values of the streams coming to the Doğancı Dam basins were calculated for the future by using the SCS-CN precipitation-flow model. After these values were obtained, a statistical model was established between precipitation, evaporation and flow values and dam volume by using the observation data for the reference period with the Support Vector Machine (SVM) method, which is frequently used in machine learning. Then, dam volumes were calculated by SVM on the basis of RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios using RegCM data to obtain future

values of dam volume. The results obtained were converted into the Standardized Reservoir Index (SRSI) and the future dry and humid periods of the Doğancı Dam were revealed. After determining the drought values of the Doğancı Dam basin, the population of Bursa city center was estimated until 2100 by using the Arithmetic Growth Model and the Exponential Growth Model, which are among the population projections, in order to understand the water scarcity.

As a result of this study, it was determined that droughts increased and extreme conditions of droughts increased when compared with the reference period. In the RCP 4.5 near future scenario, going to the dry period has been determined. In the RCP 4.5 distant future and RCP 8.5 near future scenario, dry and humid periods followed each other. While RCP 8.5 showed a trend towards drought in the far future scenario, it then trended towards a humid period. In line with the aim of determining the water scarcity in terms of the dam, the ratio of water to the population was determined. By dividing the volume obtained by the population, the amount of usable water and the amount of water per person were calculated. The reference period and RCP 4.5, RCP 8.5 near and far future scenarios were compared. While the amount of water per capita was 11479 liters per month in the reference period, this value is 5319 liters in the RCP 4.5 near future scenario, while it is 3830 liters in the RCP 4.5 far future scenario. While the amount of water per capita is 5514 liters in the RCP 8.5 near future scenario, it is determined as 3770 liters in the RCP 8.5 far future scenario. The amount of water per capita decreased compared to the reference period, and it was determined that their frequency decreased. Compared to the reference period, decreases were observed in the volume amounts in the dam.

**Keywords:** Climate change, Machine Learning, Water scarcity, Bursa, Urban population

## ÖNSÖZ

Küresel iklim değişikliğinin hem dünyada hem de ülkemizde etkilerinin büyük olacağı bilinmektedir. Son zamanlarda iklim de meydana gelecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İklim değişikliğinin oluşturacağı etkileri belirlemek, alınacak önlemler açısından önemlidir. Bu amaç doğrultusunda Doğancı Barajından kaynaklı yaşanacak su kıtlığı ve kuraklık havza bazında açıklanmıştır. Bursa kent nüfusuna göre suyun oranı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar gelecekte su problemi yaşamamak için Bursa kentinde su yönetimi planlama dâhilinde ve kuraklık afet yönetiminde kullanılabilir.

Yüksek lisans tezimin bugünlere gelmesinde çok önemli katkılar sunan ve her zaman beni destekleyen, bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ' a saygı ve en içten şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli katkıları ve desteğinden dolayı Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR hocama teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tezime olan önemli yorumlarından ötürü jüri üyelerimden Prof. Dr. Hasan TATLI hocama teşekkür ederim.

Veri toplama esnasında yardımcı olan Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Uygulama ve Araştırma Merkezi (İklimBU), BUSKİ Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak varlıkları ile hayatımı anlamlandıran, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli annem ve babam ile değerli kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

**Semanur COŞKUN**

**2022**



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	III
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	X
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	12
GENEL BİLGİLER.....	12
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	12
1.2. Problemin Tanımlanması.....	12
1.3. Çalışma Alanı ve Genel Fiziki Özellikleri.....	13
1.3.1. Çalışma Alanının İklim Özellikleri.....	14
1.3.1.1. Yağış.....	16
1.3.1.2. Buharlaştırma.....	18
1.3.2. Doğancı Barajının Özellikleri.....	19
İKİNCİ BÖLÜM.....	23
VERİ VE YÖNTEM.....	23
2.1. Verilerin Toplanması.....	23
2.2. Metodoloji.....	25
2.2.1. Penman Montheit Yöntemi.....	25
2.2.2. SCS CN (Curve Number) Yöntemi.....	26
2.2.3. Support-Vector Machine (SVM).....	27
2.2.4. Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi (SRSI).....	30

2.2.5. Mann–Whitney U Test.....	32
2.2.6. Nüfus Projeksiyonları .....	33
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	35
<b>BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	35
3.1. Yağış-Akış Ve Makine Öğrenmesi Modeli Sonuçları .....	35
3.2. Doğancı Barajında Kuraklığın Zamansal Değişimi.....	38
3.3. Su Kıtlığının Anlaşılması .....	49
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	58
<b>KAYNAKÇA</b> .....	61

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Kuraklık yönetiminde rezervuar işletimi .....	9
Şekil 2. Çalışma alanının lokasyon haritası .....	14
Şekil 3. Çalışma alanının yıllık toplamların uzun dönem ortalaması yağış haritası .....	17
Şekil 4. Çalışma alanında a) yağış miktarının aylara göre dağılışı b) ortalama yağışın mevsimlere göre dağılışı .....	17
Şekil 5. Çalışma alanının yıllık toplamların uzun dönem ortalaması buharlaşma haritası .....	19
Şekil 6. Doğancı Barajının a) kış mevsimi b) yaz mevsimine ait Google Earth görüntüsü ve c) BUSKİ Genel Müdürlüğünden temin edilen görüntüsü .....	21
Şekil 7. Nilüfer Barajının a) kış mevsimi b) yaz mevsimine ait Google Earth görüntüsü ile barajın BUSKİ Genel Müdürlüğünden temin edilen görüntüsü. ....	22
Şekil 8. Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi Havadan Çekilmiş Görüntüsü .....	23
Şekil 9. BUSKİ Scada Merkezi .....	24
Şekil 10. Destek vektör makineleri marj sınırları gösterimi .....	29
Şekil 11. a) Doğrusal olarak ayrılan veriler b) Doğrusal olarak ayrılamayan veriler ....	29
Şekil 12. Aritmetik Büyüme Modeli ve Üstel Büyüme Modeli kullanılarak 2100 yılına kadar tahmin edilen Bursa kent merkezi nüfusu gösterim grafiği .....	34
Şekil 13. Selahattin Saygı Baraj Girişi ve Sultaniye istasyonları lokasyon haritası .....	35
Şekil 14. a) Selahattin Saygı Baraj Giriş istasyonu b) Sultaniye istasyonu CN II ve NSE değerleri gösterim grafiği .....	36
Şekil 15. a) Selahattin Saygı Baraj Giriş istasyonu b) Sultaniye istasyonu gözlemlenen ve modellenen verilerin gösterim grafiği .....	36
Şekil 16. İstatistiksel model kalibrasyon sonuçları .....	37
Şekil 17. RegCM4.4 bölgesel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo çıktıları .....	39
Şekil 18. Standartlaştırılmış rezervuar indisi, 1,3,6,9,12. ayların referans dönemine göre zaman serisi grafikleri .....	40
Şekil 19. Doğancı Barajı SRSI 1 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği .....	41
Şekil 20. Doğancı Barajı SRSI 3 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği .....	43
Şekil 21. Doğancı Barajı SRSI 6 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği .....	45
Şekil 22. Doğancı Barajı SRSI 9 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği .....	46
Şekil 23. Doğancı Barajı SRSI 12 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği .....	48

<b>Şekil 24.</b> Yıllara göre Bursa ili kent merkezinde su tüketim miktarı ve kent merkezi nüfus grafiği .....	49
<b>Şekil 25.</b> Doğrudan ya da dolaylı olarak su talebi üzerinde etkili olan faktörler.....	50
<b>Şekil 26.</b> Yıllara göre Bursa ili su kayıp-kaçak oranları.....	51
<b>Şekil 27.</b> Arıtma tesisi, Pınar ve Yeraltı kaynakları yıllara göre toplam su üretim miktarları .....	52
<b>Şekil 28.</b> Barajdaki hacim miktarının RCP 4.5 senaryosu temelinde zamansal değişim grafiği .....	53
<b>Şekil 29.</b> Barajdaki hacim miktarının RCP 8.5 senaryosu temelinde zamansal değişim grafiği .....	54
<b>Şekil 30.</b> a) RCP 4.5, b) RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarının hacim miktarları histogram grafiği .....	54
<b>Şekil 31.</b> Kişi başına düşen su miktarlarının RCP 4.5 senaryoları temelinde zamansal değişim grafiği .....	55
<b>Şekil 32.</b> Kişi başına düşen su miktarlarının RCP 8.5 senaryoları temelinde zamansal değişim grafiği .....	56
<b>Şekil 33.</b> a) RCP 4.5, b)RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarının kişi başına düşen su miktarları histogram grafiği.....	57

## KISALTMALAR

**UNEP** : Environment Programme

**IPCC**: Intergovernmental Panel on Climate Change

**WMO**: World Meteorological Organization

**RCP**: Representative Concentration Pathways

**CRED**: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

**UNDRR** : United Nations Office for Disaster Risk Reduction

**TÜİK** Türkiye İstatistik Kurumu

**DSİ** : Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

**BUSKİ**: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi

**SCADA**: Supervisory Control and Data Acquisition-Veri tabanlı kontrol ve gözetleme sistemi.

**RegCM4.4**: Regional Model

**NCAR**: National Center for Atmospheric Research

**GHSL**: Global Human Settlement Layer

**SCS-CN** : Curve Number

**NSE**: Nash–Sutcliffe Model Efficiency

**SVM**: Support-Vector Machine

**SRSI**: Standardized Reservoir Supply Index

**WCD**: World Commission on Dams

**DSS**: Decision Support System

## GİRİŞ

İklim, büyük bölgelerde uzun zaman içinde yaşanan ortalama hava koşullarıdır. İklim ekstrem hava olaylarını kapsarken; o bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de etkiler (Türkeş, 2010; Akçakaya vd., 2015: 4). İklim değişikliği ise “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde uzun süre içinde gerçekleşen değişiklikler” şeklinde tanımlanmaktadır (Türkeş, 2010; Akçakaya vd., 2015: 5).

Sanayi devrimiyle beraber iklimde ciddi değişiklikler meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise sanayi devrimiyle beraber kullanılmaya başlanan fosil yakıtların yaygınlık kazanması, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve bununla birlikte arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler, ormanların tahrip edilmesi gösterilebilir. Tüm bunlar atmosferik pencerenin geri besleme düzeneklerini değiştirebilecek olan sera gazlarının artmasına ve küresel anlamda bir ısınmaya neden olmaktadır (Gürkan vd., 2016: 78). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)’nin 5. Değerlendirme Raporu’na göre iklim değişikliği üzerindeki insan etkisi ve sera gazı salınımlarının giderek devam etmesi sonucu atmosferin geçmişe oranla daha fazla ısınması beklenilmektedir. Bu sebeple iklim değişikliğinin engellenmesi veya sera gazlarının düzenli ve planlı bir şekilde azaltılması gerekmektedir (Türkeş vd., 2013: 15). Sera gazlarının atmosferde birikmesi ile sıcaklık, yağış, nem, rüzgâr gibi değişkenlerde bölgesel ve küresel değişikliklere sebep olması beklenmektedir (Türkeş, 2008: 26).

İklim değişimi bölgesel farklılık göstermekle birlikte genel olarak etkisi küresel ölçektir. Yeryuvarının küresel sıcaklıklardaki artışıyla beraber, kara ve deniz buzullarının erimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi iklim değişikliğinin en önemli göstergeleri olarak görülmektedir (Şen vd., 2017: 1). Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak değişen diğer göstergelere bakıldığında hidrolojik döngünün değişmesi, sıcak hava dalgalarının şiddet ve sıklığının artması, bazı yerlerde ekstrem yüksek yağışların ve taşkınların meydana gelmesi, bazı bölgelerde ise kuraklıkların daha şiddetli ve sık oluşması gibi, sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik düzeni ve insan hayatını etkileyecek değişikliklerin gerçekleşebilecek olması bunlara örnek gösterilebilir (Türkeş, 2008: 26).

Yapılan bilimsel çalışmalar, dünyanın her geçen gün ısındığını kanıtlar niteliktedir. (Walter vd., 2002: 389). Küresel olarak, 1990'lar en sıcak on yıl olarak kayıtlara

geçmiştir. 1990'dan sonra sıcaklıklar her yıl artarak devam etmiştir. 20. yüzyıldan günümüze kadar yüzey sıcaklığı 0.7 °C düzeyinde artmıştır. (WMO, 1999: 4)

İklim değişikliği faaliyetlerine en büyük katkıyı yapan iki örgüt Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1988 yılında oluşturulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Kuruluş tarafından çalışma grupları oluşturulmuş ve IPCC ilk değerlendirme raporunu 1990 yılında tamamlamıştır. Bu raporda IPCC bilimsel ve etki değerlendirmesi, müdahale stratejileri yer almıştır (IPCC, 1992: 7). IPCC'nin amacı, insandan kaynaklanan iklim değişikliği, etkileri ve alınması gereken önlemler için yapılmış bilimsel, teknik, sosyo-ekonomik bilgileri kullanmaktır (İğci, 2015: 32). IPCC şu ana kadar 5 tane değerlendirme raporu oluşturmuştur. Bunlardan en sonuncusu ve yeni senaryolar oluşturmuş olanı beşinci değerlendirme raporudur (AR5). AR5'e göre iklimde ısınma kaçınılmazdır ve 1950'li yıllardan günümüze kadar uzun yıllardır görülmemiş iklimsel değişiklikler görülmüştür. Son otuz yılda dünya üzerinde art arda sıcaklıklar artmıştır. Kuzey Yarım Küre'de 1983 – 2012 yılları arası ortalamanın son 1400 yılın en sıcak 30 yıllık dönemi olduğu vurgulanmıştır (IPCC, 2013: 4).

İklimin insan yaşamı için önemi, sosyal ve ekonomik hayatı olumlu veya olumsuz yönleri ile nasıl etkilediği ile ilintilidir (Demir vd., 2013: 1). İnsanların iklimin iyi şartları altında hayatlarının sürdürebilmeleri için ulusal ve uluslararası birçok kurum ve kuruluş, iklimde meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerinin doğru tespit edilebilmesi için farklı bilimsel şekillerde çaba göstermektedirler. Bu çabalardan en önemli olanı modelleme çalışmalarıdır (Akbaş vd., 2020; Turp vd., 2014). Hesaplamalı bilimlerin ve teknolojinin gelişmesi ile beraber atmosferik ve hidrolojik ortam koşullarını temsil yahut simüle eden değişkenlerin ayrıntılı bir şekilde ele alındığı modelleme çalışmaları bunlardan biridir. İlk modellerde atmosfer ve atmosferde gözlenen parametrelere göre çalışmalar yapılmıştır. Teknolojinin gelişmesi ve doğaya ait süreçlerin anlaşılmasıyla beraber kara yüzeyi, okyanuslar, deniz buzları, sülfat, aerosoller, karbon çevrimi, dinamik bitki örtüsü ve atmosferin kimyası gibi faktörler modellere parametreler oluşturmuştur (Demircan vd., 2017: 1).

Çok sayıda döngü, süreç ve etkileşimi bir arada bulunduran iklim sistemi, modelleme açısından zor bir problemdir. Bu problemin zorluğunu arttıran başka bir durum da beşeri ve ekonomik etkinliklerinin güncel yapısından ve gelecekteki

durumunun kaotik bir yapı içermesinden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı iklim değişikliği alanında yapılan çalışmalar insan etkinliklerinin farklı davranış biçimlerini içeren değişik senaryolar dikkate alarak yapılmaktadır (Turp vd.,2014: 3).

IPCC'nin 25. oturumunda 2007 yılında yeni senaryolar ile ilgili kararlar alınmış ve senaryoların ana hatları yeniden belirlenmiştir. Yeni yaklaşımla geliştirilen yeni konsantrasyon senaryoları Temsili Konsantrasyon Rotaları (*İng.* RCP: Representative Concentration Pathways) olarak isimlendirilmiştir. Aynı toplantıda belirlenen kriterler açısından, ışımsal zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 adet RCP tipi belirlenmiştir (Tablo 1). RCP, ışımsal zorlama değerleri sırası ile RCP3-PD (RCP 2.6), RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5'dir (Gürkan vd., 2016: 79).

**Tablo 1.** Temsili Konsantrasyon Rotaları (Demir vd.,(2013)'ten elde edilmiştir).

RCPs	Radyatif Zorlama	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	Karbondiyoksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)	Emisyonlar (KYOTO Protokolü sera gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m <sup>2</sup>	2100'de	Yükselme	~1370 ppm 2100'de	2100' e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m <sup>2</sup>	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~850 ppm 2100'de	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m <sup>2</sup>	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~650 ppm 2100' de	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP-PD*	~3.0 W/m <sup>2</sup>	2100 öncesi	3.0 W/m <sup>2</sup> 'de zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş 2100	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

IPCC 5. Raporunda küresel iklim projeksiyonlarından RCP 2.6 ile 32, RCP 4.5 ile 42, RCP 6.0 ile 25, RCP 8.5 senaryosu ile 39 farklı küresel model çalıştırılmış ve bu senaryolardan en çok tercih edilenler RCP 4.5 ve RCP 8.5'dir (IPCC, 2013: 87). RCP 8.5 olası en fazla radyasyonlu zorlama ve konsantrasyon rotasıdır. RCP'lerin üst sınırını belirten RCP 8.5 diğerlerine göre yüksek sera gazı emisyonlarına sahiptir (IPCC, 2008: 34; Van Vuuren vd., 2011:7; Turp vd., 2014; Akbaş vd., 2020).

IPCC 21. yüzyıl için yapılan iklim değişikliği projeksiyonlarında Akdeniz bölgesi sıcak alan (*İng.* hot spot) olarak tanımlanmıştır. Öyleki küresel ısınmaya gerek sıcaklık gerekse yağış açısından en duyarlı bölgelerden biri olarak değerlendirilmiştir (Giorgi,



2006: 2). İklim değışikliği ile Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz bölgesinde kuraklığın şiddetinin artacağı yönünde çok fazla çalışma vardır. Türkiye'nin kuraklıktan en çok etkilenecek bölgeleri ise Batı Anadolu ve Akdeniz olacağını tahmin edilmektedir (Kurnaz vd., 2014: 19; Türkeş, 2012: 8). Küresel Dolaşım Modeli (*İng.* Global Circulation Model-GCM) çıktılarına bakıldığında Akdeniz havzası genelinde yağışların azalacağı öngörülmektedir (Giorgi ve Lionello, 2008: 201). Yapılan analizlere göre Akdeniz bölgesinin 21. yüzyılın sonunda ciddi bir artış ve kuraklık rejim alanlarının kuzey yönünde genişlemesi tahmin ediliyor (Samaniego vd., 2018). Bu nedenlerden dolayı Akdeniz bölgesinde küresel ısınmayı azaltacak önlemlerin yokluğunda küresel iklim değışikliğine karşı kırılgan bir bölge olarak görülmektedir (Gao ve Giorgi, 2008: 208). Akdeniz havzasının en doğusunda yer alan ülkemiz Akdeniz ikliminin karakteristik özelliklerini taşır (Erinç, 1996; Türkeş, 2010). Akdeniz havzası iklim değışikliğinden en fazla etkilenecek bölgeler arasında görülmektedir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 4. Değerlendirme raporunda yıllık sıcaklıkların günümüze göre 3.1-5.2 °C arasında artacağı tahmin edilmektedir. Bu artıştan etkilenecek bölgelerden biride Marmara bölgesidir (Şen, 2013: 2). Marmara bölgesinde yer alan Bursa ili için yapılan iklim değışikliği çalışmalarında sıcaklık parametrelerinde değişim olduğu belirtilmiştir (Moradi ve Tamer, 2017: 27).

Su talebi belirli bir zaman içinde kentte yaşıyan insanların ihtiyaç duyduğu yani talep ettiği su miktarını ifade eder. Bu anlamıyla su üretimiyle eşdeğerdir ve olası su kayıpları miktarını da kapsamaktadır (Akdağ, 2015: 70). Su kıtlığından etkilenen ülkelerin azalan su kaynaklarıyla beraber sulama ve su kaynakları yönetimi gelecek yıllarda uğraşması gereken sorunlardan biri olacaktır. İyi bir su yönetimi olmadan su kaynaklarının uzun süre kullanılması imkânsız hale gelir (Chenini, 2009: 161). Buna ek olarak su sınırlı bölgelerde ekosistemlerin devamı için çıkış yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilir olması hayati önem taşımaktadır (Bucak vd., 2016: 413). Sürdürülebilir kentsel su yönetiminin oluşturulması, suya gereken önemin verilmesi, su kaynaklarında sürdürülebilirliği kolaylaştıracaktır (Solak vd., 2019: 122).

Günümüzde ülkeler için sorun haline gelen su kıtlığı, su kaynaklarında, tüketilirken önlem alınmasında dikkatli olmayı ve özenle yönetilmeyi hak eder. Bu yüzden yönetimde başarı sağlamak için su politikaları ve alışkanlıklarını gözden geçirmek gerekir (Wu ve Zhou, 2010:172).

Su kıtlığına sebep olan etmenler kuraklık, iklim değişikliği, çölleşme ve ormansızlaştırma, çevre tahribatı ve nüfus artışı olarak sıralanabilir (Kadioğlu, 2008: 13). Günümüzde su kaynaklarının kirletilip yenilenmemesi, dünya nüfusundaki artış, kentleşme, suyun israfı ve verimli kullanılmaması gibi sebeplerden dolayı su krizi ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu kriz karşısında özellikle kentlerde suya olan talep artmaktadır (Akdağ, 2015: 70). Buna ek olarak iklim değişikliği, Akdeniz havzalarındaki su kıtlığı sorunlarını artıracaktır. Akdeniz bölgesi için iklim değişikliği projeksiyonlarına bakıldığında artan hava sıcaklıkları ve azalan yağış beklenmektedir (Bucak vd., 2016: 413). Türkiye’de yağışlar alansal ve zamansal dağılışı açısından düzensiz bir karakter gösterir (Kadioğlu, 2008: 13; Karaca vd., 2000; Tatlı vd., 2004; Türkeş vd., 2007; Türkeş vd., 2009; Sariş vd., 2010). Yağış değişkenliği açısından Türkiye’de ortalama yağış anomalilerinin rejim alanlarına göre değişme eğiliminde olduğu belirtilmiştir (Türkeş, 1996: 1058). Doğu Akdeniz ve Türkiye için yapılan araştırmalar sonucunda 1970’lerden sonra kuvvetlenerek yağışların azaldığı ve bu bölgelerde kuraklıkların arttığı belirlenmiştir. Uzun dönemli yağışlarda azalmasının yanı sıra ekstremlerli dönemlerinde frekansında artış görülmüştür (Türkeş vd., 2007: 60). Diğer yandan çalışma alanını da kapsayan Marmara Denizi havzasındaki yağış, akış, akış katsayısı, buharlaşma ve su dengesi arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmada yağışın alansal dağılışın da en yüksek yağış değerlerinin Uludağ çevresindeki havzalarda olduğu belirtilmiştir (Akbaş ve Özdemir, 2018: 125), ancak iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceği ve nüfusun artışı ile birlikte su kıtlığının belirgin olabileceği vurgulanmıştır (Akbaş vd., 2020). İklim değişikliğinin etkisinin yoğun bir şekilde hissedildiği dönemde su tüketiminin tahmin edilmesi, modellenmesi, suyun temini oldukça önem taşımaktadır (Fırat vd., 2008: 449). Akdeniz bölgesi şu an da artan su temini taleplerini karşılamak için yeterli su kaynağı konusunda sıkıntı yaşamaktadır. Bölgedeki bu su kıtlığı sorunu giderek artmaktadır. Su kaynakları azalırken, su talebi nüfus artışıyla beraber artmaktadır.

Su talebi ihtiyacı gün, hafta içi, ay ve yıl boyunca değişiklik göstermektedir. Su talebi ihtiyacı ekonomik seviye, nüfusun özellikleri, insanların ihtiyaçları, evlerin büyüklüğü, ticari ve endüstriyel istekler gibi sosyo-ekonomik faktörlere göre değişkenlik gösterir. Su talebindeki değişkenliğin yanı sıra suyun kendisi sınırlı bir kaynaktır ve yeni kaynaklar için giderek daha pahalı ve sınırlı hale gelmeye başlamıştır. Bu açıdan su kaybını en aza indirmek ve su planlaması gerekli hale gelmiştir (Odan ve Reis, 2010:

1287). Bu durum iyi bir planlama, mevcut suyun daha iyi verimli kullanılması ve yönetilmesini gerektirmiştir. Daha iyi planlama, yönetim ve işletimin temel yönü su taleplerinin doğru tahminidir (Jain vd., 2001: 299). Su talebi tahminleri genellikle kısa, orta, uzun dönem olarak planlanır (Billings ve Jones, 2008: 7) (Tablo 2). Uzun vadeli tahmin, planlama ve tasarım kısmında yararlı olmakla birlikte mevcut su sistemi için de planlar oluşturur. Kısa vadeli tahminler ise mevcut su sisteminin etkin işletimi ve yönetimini sağlar (Jain vd., 2001: 299). Su hizmeti veren kurum gelecekteki su ihtiyacını belirlemek için uzun vadeli tahmin modellerini kullanmaktadır. Su temin sistemleri, nüfus artışı, endüstrileşme ve sosyo-ekonomik faktörlerden dolayı baskı altında olduğu için su kuruluşları mevcut sistemlerin işletimi ve yönetimini iyileştirmek zorundadır (Jain ve Ormsbee, 2002: 64).

**Tablo 2.** Su Talep Tahminleri ve Başlıca Uygulama Alanları (Billings ve Jones, (2008)'ten elde edilmiştir ).

<b>Tahmin Tipi</b>	<b>Tahmin Dönemi</b>	<b>Uygulamalar</b>
Uzun Dönem	On yıl ve üstü, 10-30 yıl	Sistem kapasite büyüklüğünü belirleme, su temini
Orta Dönem	On yıla kadar, 3-10 yıl	Suyun işlenmesi ve dağıtım sistemi büyüklüğünü, yatırımlar, su ücretlerini düzenleme
Kısa Dönem	Yıllık, 1-2 yıl	Program izleme ve değerlendirme, gelir tahmini
Çok Kısa Dönem	Saatlik,günlük, haftalık, 2 haftaya kadar	Optimize etme, sistem yönetme, pompalama

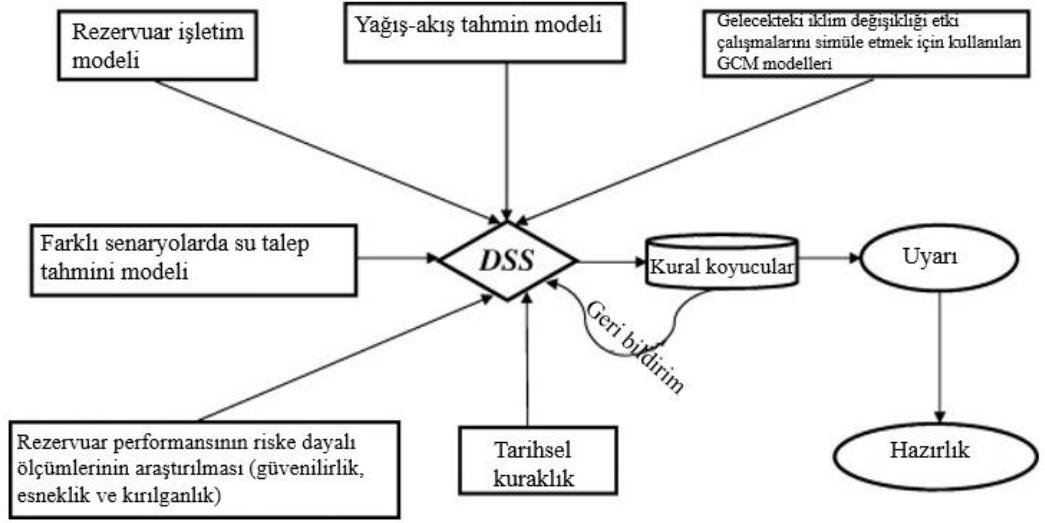
Su üzerindeki çatışmalar her zaman coğrafi bölgeler arasında rekabeti içermiştir ve su birçok alanda rekabeti karşılayamadığı için tartışmaların kaynağı haline gelmiştir. (Arbués vd., 2003: 81). Azalan tatlı su kaynakları, su kalitesi sorunları, altyapı ve yeni kapasiteye duyulan ihtiyaçlar, çözümler için çözülmemiş sorunları gündeme getirir (Beaude ve Roberts, 2000:10). Öte yandan atmosferik ve hidrolojik döngü bileşenlerinden herhangi birinde sinoptik ölçekteki oluşabilecek bir değişiklik döngünün pozitif ve negatif anomalisini etkileyerek kuraklık, sel/taşkın şeklinde afetlerle insan hayatını doğrudan etkileyebilir (Özfinader, vd., 2018: 58). Hava ve iklimde meydana

gelen değişiklikler yeryüzünde önemli etkiler ve afetler bırakır. Bu afetlerin başında gerek tarım-hayvancılık gerekse sosyo-ekonomik sektörleri etkileyen kuraklık gelir. Kuraklık en karmaşık doğal fenomen olarak adlandırılır. Kuraklığın tanımı, süresine ve şiddetine bağlı olarak değişir (Trinh vd., 2017). Kuraklık, etkili olduğu yerlerde hava, su ve toprak üzerinde ciddi etkiler bırakan, yavaş yavaş gerçekleşen bir doğal afettir (Akbaş, 2014; Mengü, 2011; Türkeş, 2010; Tatlı, 2015). Başka bir deyişle kuraklık büyük alanlarda belirli bir zaman diliminde su kullanımının ciddi derecede azalmasını karakterize eden doğal olaydır (Özfidaner vd., 2018). Kuraklık afeti kendi içerisinde birkaç ana başlığa ayrılır. Bunlardan birincisi meteorolojik kuraklıktır. Bütün kuraklıklar ilk başta meteorolojik yani yağış eksikliği ile başlar. İkinci olarak, toprak nemi ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun azalmasıyla tarımsal kuraklık oluşur. Bu durumun ardından akarsu ve barajlardaki suların azalmasıyla hidrolojik kuraklık meydana gelir ve son olarak sosyo-ekonomik kuraklık baş gösterir (Akbaş, 2014: 102). Sosyo-ekonomik kuraklık, hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal kuraklığın birleşimiyle oluşur ve çeşitli sektörler için gerekli olan suyun noksanlığı ile son bulur (Trinh vd., 2017: 2).

Havzalardaki döngüler ile iklimsel süreçlerin karşılıklı etkileşimin ortaya çıkardığı hidrolojik kuraklık, belirli alanda akarsu, baraj gibi su kaynaklarında uzun yıllar ortalamadan sapma sonucunda su mevcudiyetindeki eksiklik olarak karakterize edilen doğal tehlikedir (Tate ve Gustard, 2000: 23). Hidrolojik kuraklık, meteorolojik kuraklıktan sonra oluşan ve meteorolojik kuraklığın bileşenlerine bağlı aktif bir süreci vardır. Hidrolojik kuraklığın oluşması, suya duyarlı tüm ekosistemleri çeşitli düzeylerde etkilemekte ve canlı yaşamını tehdit etmektedir. Hidrolojik kuraklık, küresel iklim değişikliği ile yakından ilişkilidir. Ortalama sıcaklıklarda kaydedilecek pozitif yönlü anomali ile beraber yağış fazlalığında kaydedilecek negatif yönlü anomalinin süresi, büyüklüğü hidrolojik kuraklık üzerinde etkileyici bir rolü vardır (Kale, 2021: 161). Küresel iklim değişikliğinden etkilenen alanlarda hidrolik olayların sıklığı artmıştır. Bunlardan ikisi olan kuraklık ve taşkın afetlerinin sıklığı ve yoğunluğu önemli derecede artmıştır (Li vd., 2018: 1).

Kuraklığın özelliklerinin belirlenmesi, gelecekte oluşacak kuraklıkların olumsuz etkilerini önlemek ve azaltmak için su kaynaklarının planlanması gerekmektedir (Vogel ve Asce, 1987: 577). Kuraklık su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde önemli bir tetikleyici bir faktördür. Farklı kuraklık özelliklerini araştırmak için iklimsel ve hidrolojik

modellerin kullanılması bu konuda yardımcı olabilir (Mishra ve Singh, 2010: 203). Kuraklığa hazırlık ve etkisinin azaltılmasında da kuraklık tahmini ve risk yönetimi önemli bir bileşendir. Kuraklığın süresi ve şiddetinin belirlenip tahmin edilmesi, kuraklığın modellenmesi için çalışmalar yapılır (Mishra ve Singh, 2011: 157). Dünya’da ve Türkiye’de geçmişten günümüze kadar farklı amaçlar doğrultusunda kuraklık araştırmaları yapılmıştır. Kuraklık araştırmalarında kuraklığın uzunluğu, büyüklüğü, yinelenme aralığını bilmek de bu açıdan önemlidir. Bu sebeple kuraklığın süresi, şiddeti, büyüklüğü ve yayıldığı alan gibi kuraklık özelliklerini saptamak gerekir (Sırdaş ve Şen, 2003: 2). Öte yandan kuraklığın tanımı, süresi ve birçok özelliği için geliştirilmiş farklı kuraklık indisleri bulunmaktadır (Zeybekoğlu ve Aktürk, 2021: 2; McKee vd., 1993: 2; Allen vd., 1998: 13). Bu indisler gerek yağış gerek sıcaklık olmak üzere birçok parametreyi göz önüne alarak uzun yıllar oluşturulan bir ortalamadan sapmayı belirleyerek kuraklık açısından oldukça faydalı bilgiler sağlar (Alley, 1984). Bu konuda, Birleşmiş Milletler Meteoroloji Örgütü (WMO) farklı amaçlar için, birçok farklı veriye ve farklı yöntemlere dayalı bir ek kitapçığı yayınlayarak indislerin özelliklerini açıklamıştır (Svoboda ve Fuchs, 2016). Bu Hidrolojik açıdan ve sosyo-ekonomik yansıması en önemli kuraklıklardan biri olan hidrolojik kuraklığın anlaşılması için geliştirilen ve barajlardaki kuraklık düzeylerini belirleyerek, rezervuar su girişlerini ve mevcut su depolaması için Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi geliştirilmiştir (Gusyev vd., 2015: 1587). Ayrıca burada yer almıştır. Şiddetli kuraklık barajlardaki su seviyesini aşağıya çeker ve memba eğiminde barajda çatlama sebepleri olur bu çatlaklar sızıntı önleyici tabakaya hasar verebilir ve baraj da iç erozyona sebep olabilir (Li vd., 2018: 1). Diğer yandan yaşanacak kuraklıklar sonucunda barajlardaki su miktarı gerek sektörlerin talebini gerekse evsel su ihtiyacını karşılayamaması sonucunda var olan sosyo-ekonomik kuraklığı daha da şiddetlendirir. Bu konuda Di Baldassarre vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada, arz-talep ilişkisine bağlı olarak sektörlerin barajlara oldukça bağımlı olmasından dolayı yaşanabilecek bir kuraklığın etkisinin çok büyük olacağını vurgulamıştır. Araştırmacılar Atina, Las Vegas ve Melbourne üzerinden yaptıkları bir araştırma ile bunu ortaya çıkarmış ve dolayısıyla da barajların oluşturduğu arzın toplumları daha kırılgan bir hale getirdiğini belirtmişlerdir (Di Baldassarre vd., 2018). Bu gibi durumların yaşanmaması için kuraklık yönetiminde rezervuar işletimi önem taşımaktadır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Kuraklık yönetimde rezervuar işletimi (Mishra ve Singh, (2011)’ten değiştirilerek yeniden çizilmiştir).

Şekil 1’de görüldüğü üzere, karar destek sistemi (*Ing.* decision support system) farklı senaryolara dayalı rezervuar kapasitesine dayanır. Tarihsel kuraklıkların bilinmesi taleplerin yanı sıra gelecekteki kuraklık senaryolarına dayalı olanların karşılaştırılması, çeşitli kuraklık parametreleri dikkate alınarak çok değişkenli kuraklık karakterizasyonu, çeşitli kuraklık senaryolarında güvenilirlik, dayanıklılık, kırılabilirlik temelinde rezervuar performansının riske dayalı ölçümlerinin belirlenmesidir. Karar destek sisteminden elde edilen çıktılar gerçek zamanla eşleşip eşleşmediğini ve performans değerlendirilmesi için geri bildirimleri politika yapıcıya gönderilir. Nihayetinde politika yapıcı, hazırlık eylem planları ve uyarı yayınlar yapar (Mishra ve Singh, 2011: 170)

Genellikle su ihtiyacını karşılamak için yapılan barajlar, suların farklı amaçlar doğrultusunda rezervuarlarda stoklandığı, su kaynakları planlaması ve yönetiminde önemli hidrolik kaynak olarak kabul edilir (Bilali vd., 2022: 1). Barajların kuraklıkla mücadelede kullanılması dışında, fazla suyu tutmak, taşkınları engellemek gibi bir görevi daha vardır (Li vd., 2013: 2043) Dolayısıyla da barajlar iklimsel anomalinin sadece negatif (kuraklık) yönü de değil aynı zamanda pozitif yönü (taşkın) açısından da inşa edilirler. Taşkın ise ekstrem akımların olduğu dönemde bir akarsuyun yatağından taşıdığı alanların sularla dolması olarak tanımlanabilir (Davie ve Quinn, 2021: 146). Taşkın sadece doğal kaynaklı olarak oluşmaz insan eylemleri ile şiddetlenen meteorolojik ve hidrolojik faktörler sonucu olarak meydana gelir (APFM, 2012: 3). İklim

değişikliğinden kaynaklı hidrolojik afetler arttığı için baraj güvenliklerini de etkilemiştir (Membele vd., 2022: 1). İklim değişikliği, dünyada sık gerçekleşen afetlere yol açmaktadır. Bu durum yanında ekonomik kayıplar ve ölümleri de getirmektedir (Sun vd., 2022: 1). 1995-2015 yıllarında meydana gelen afetlerin %47'sini tek başına taşkın oluşturmaktadır. Meydana gelen taşkınlar 2,3 milyar insanı etkilemiştir. Ayrıca bu insanların %95'i Asya kıtasında yaşamaktadır (Cred ve Unisdr, 2015: 5). CRED (Afetlerin Epidemiyolojisine İlişkin Araştırma Merkezi) ve UNISDR (Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi) raporları taşkınları son 20 yılda en fazla ekonomik hasara neden olan üçüncü afet olarak belirtmiştir (Cred ve Unisdr, 2015: 23). Bu nedenle taşkınlar en yaygın doğal afet türüdür (Patel ve Srivastava, 2013: 2354; Wan vd., 2014:86)

Yaklaşık 5000 yıldır barajlar, yağışın fazla olduğu mevsimlerde suyu depolayıp, kurak mevsimlerde bırakarak düzenli su temini için kaynak oluştururlar. Dolayısıyla barajlar, selleri önlemiş veya hafifletmiş, mevsimlere göre değişen su kaynaklarının verimli işletilmesini sağlamıştır. Barajların yapılmasının pek çok amacı vardır (Salman, 2010: 63). Dünya Barajlar Komisyonunun (WCD) araştırmalarına göre bu amaçlardan ilki % 48 ile sulamadır. Elektrik üretimi %20 ile ikinci sıradadır. Evsel ve endüstriyel kullanım için yapılan barajlar % 15 ile üçüncü sırayı oluştururken, taşkın kontrolü için yapılan barajlar da %8 ile dördüncü sıradadır (Dünya Barajlar Komisyonu Rapuru, 2000). Bu amaçlar doğrultusunda barajlar yapılmıyorsa dünya da kuraklık, seller ve açlık olması muhtemeldir (Dünya Bankası, 1996: 17). DSİ Genel Müdürlüğü taşkın önleme ve zararlarının azaltılmasına yönelik proje faaliyetleri, taşkın koruma ve kontrol ihtiyacı projeleri oluşturur (Salman, 2010: 64). Değişken ve karmaşık bir yapıya sahip olan baraj, yüksek hız, şiddetli yıkım, hızlı genişleme, ani oluşacak taşkın felaketleri ile karakterizedir (Li vd., 2013: 2043). Barajlar özellikle akış aşağısında bulunan şehirler için insan yaşamını ve çevreyi tehdit eden taşkın felaketlerine sebep olabilir (Bilali vd., 2021: 336). Barajın gövdesinin arkasında toplanmış su hacminin yüksek olduğu bölgelerde barajın ani yıkımıyla normal taşkınlardan çok daha büyük derece de taşkınlar meydana getirebilir (Özdemir vd., 2011: 661).

Hidrolojik tehlikeler binlerce insanın ölümüne neden olmuştur (Ritchie ve Roser, 2014: 1). 2008 yılında Çin'deki Wenchuan depreminin sebep olduğu Tangjiashan heyelan barajının potansiyelini ihlal etmesi sonucu 1,2 milyon insanın yaşamını tehdit ederken

275.000 kişinin bölgeyi tahliye etmesine sebep olmuştur (Liu vd., 2010: 914). Çin'in Henan eyaletinde Zhengzhou şehri bir günde 624 mm yağış yağması sonucu 12 milyon insanın yaşadığı şehri sular esir almıştır. Taşkın suları altyapıya ciddi anlamda zarar vermiştir. Artan su seviyesi ile birçok baraj tehlike seviyesine ulaşmıştır. Rezervuar seti kısmen aşınmış ancak çökme yaşanmamasına rağmen bölgeden 100.000 kişinin tahliye edilmiştir (Ryan ve Qiu, 2021: 3). Saddle barajının 2018 yılında çökmesi sonucu Xe-Pian nehrinde şiddetli bir taşkına neden olarak birçok kişi kaybolmuş, can kayıpları meydana gelmiş ve 6600 kişi tahliye edilmiştir (Cheng, 2019: 2605). 2021 yaz aylarında Avrupa'da meydana gelen sel felaketleri ve Çin'deki barajların yıkılması, içinde bulunduğumuz yüzyılın en büyük, en tehlikeli sel felaketleri arasında yer alabilir (Bilali vd., 2022: 1).

Doğaya yapılan her insan yapımı müdahale bir risk kaynağına sebep olur. Su kaynaklarına erişim gerekli olsa da su kaynakları projelerinin getireceği riskleri dikkate alınmazsa gelecekte felaketlere sebep olabilecek hatalar yapılabilir. Barajların inşası, işletilmesi, oluşabilecek risklerle başa çıkmak için çeşitli projeler geliştirilmektedir (Hosseinzadeh ve Tabrizi, 2022: 1). Barajların yıkılmasıyla oluşan sel felaketi, risklerinin farklı belirsizlikler altında değerlendirilmesi, yalnızca karar vericiler için değil risk altındaki nüfus ve yetkililer arasında etkileşimleri anlamak içinde önemlidir (Abebe vd., 2019: 483). Afet yönetiminde için araçlar sağlayabilecek ve uygun mühendislik riski azaltma planlarının yapılması ve barajların olası taşkın ihtimallerinin önceden tahmin edilmesi önemlidir (Wang vd., 2022: 1).

Yer gözlem ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, taşkın felaketini azaltmak için afetle ilgili verilerin yönetimini, analizini, modellenmesini ve görselleştirilmek için olanak sağlar (Qiu vd., 2017: 112). Taşkınlar maddi ve insani kayıplara neden olduğu için modelleme ve bu sorunları aşmanın yolları araştırmacılar tarafından yapılması zorunlu bir şeydir. Meydana gelen taşkınlar hidrolik ve sayısal modeller ile tahmin edilebilir (Hosseinzadeh ve Tabrizi, 2022: 1).

Dolayısıyla iklimdeki gelececek kurak ve nemli dönemdeki bütün anomaliler baraj su seviyeleri ile barajın sağladığı su arzından dolayı tüm sektörleri etkiler (Bucak vd., 2016). Bu durum gerek evsel gerekse sanayi ve tarım bazlı tüm sektörleri etkilediği gibi büyük kayıplara neden olabilir (Di Baldassarre vd., 2018).



## BİRİNCİ BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

#### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, iklim değişikliği ile beraber Doğancı Barajı havzasındaki seviye değişimlerini a) çeşitli senaryolara dayalı iklim modeli sonuçlarından elde edilen kuraklık indisi kullanarak geleceğe ait pozitif ve negatif baraj anomalileri ve b) nüfus ile baraj hacmi arasındaki ilişkiye bağlı olarak Marmara Bölgesinde yer alan Bursa ili için kentsel su ihtiyacı ve gelecekteki durumu hakkında projeksiyonlar üretmektir. Çalışmada Doğancı Barajında gerçekleşecek su kıtlığını ve kuraklığı havza bazında açıklamak hedeflenmiştir. Aynı zamanda kentsel açıdan barajda meydana gelebilecek kuraklıklar ile nemli dönemler ve bu kuraklıklarla beraber ortaya çıkabilecek su kıtlığı ve bunun frekansı belirlenmiş olacaktır.

İklim değişikliği ve artan nüfus dolayısıyla su ihtiyacına olan talep artmaktadır. Bu bakımdan arz talep ilişkisine bağlı olarak barajlardaki su miktarı nasıl bir değişime uğrayacak, su gelecek yıllarda yetecek midir? sorularına cevap aranması hedeflenmiştir. Geçmiş yıllara ait baraj verilerinden referans dönemi alıp, nüfus ve iklim özellikleri bakımından değerlendirip bu nüfusun kişi başına düşen su miktarını ortaya çıkarmak ve gelecek yıllardaki su değişimini 30'ar yıllık periyodlarla, iklim modelleriyle tahmin edilip, inceleme yapılacaktır. Gözlem verileri ile bir model oluşturup, iklim senaryoları ve nüfus projeksiyonları kullanılıp uzun yıllık dönemler içerisindeki değişime bakılacaktır. Su kıtlığına ait bir durumun oluşup oluşmadığına dair araştırma için Bursa kentinde su yönetimi planlama kapsamı içinde değerlendirilmiştir.

#### 1.2. Problemin Tanımlanması

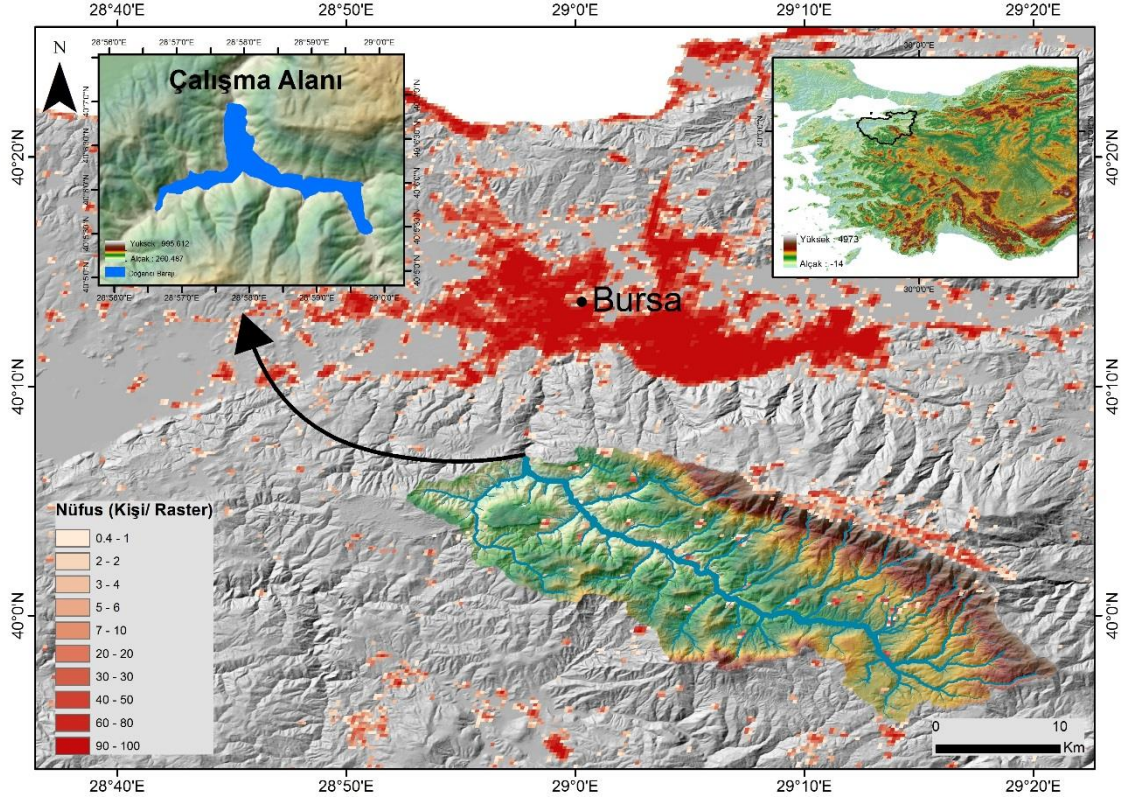
Küresel iklim değişikliği, hava sıcaklığındaki artış ile yer yüzündeki yaşam için tehdit oluşturmaktadır (Sağlam vd., 2008: 89). Araştırmalar, iklimin ortalama sıcaklıklarının artması nedeniyle küresel ölçekte değişmekte olduğunu gösterir (Şen vd., 2013:29). Akdeniz havzasında yer alan Türkiye iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden biridir (Demircan vd., 2014: 11). İklim değişikliği su kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır. İklim değişikliği ile beraber Türkiye, Marmara ve dolayısıyla Bursa kentinin su kıtlığı yaşayacağı öngörülmektedir (Akbaş vd., 2020; Körbalta, 2019: 56). Eğer gerekli önlemler alınmazsa Bursa ilinde ciddi su kıtlığı

görülebilmektedir. Bursa İli için kentsel (evsel, sanayi vb.) nüfus temelli arz-talep ilişkisini belirleyerek su yönetim planlarının yapılması ve bu problemlerin çözülmesi gerekmektedir. Bu durum şuan için sorun teşkil etmese de gelecek için bir sorun oluşturabilir. Bu açıdan bakıldığında yapılan bu çalışma Bursa kentinde gelecek için projeksiyon üretmek açısından önem arz etmektedir. Birleşmiş Milletler ve Unesco raporlarına göre günümüzde su kaynaklarının giderek azaldığı, büyük kentlerde su sıkıntısının yaşandığı, su talebinin anlaşılması ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması zorunlu hale gelmeye başlamıştır (Akdağ, 2015: 78). Kentsel su ihtiyacı açısından baktığımızda Bursa ilinin nüfusu her geçen gün artmaktadır bu durum suya olan talebi arttırmaktadır. Bu çalışmada iklim değişikliği ile beraber su miktarı azalırken diğer yandan ülkemizin en büyük kentlerinden biri olan Bursa ilinde nüfus miktarı sürekli olarak artmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında literatürde ülkemizde bu alana ait çalışmaların geleceğe ait projeksiyonlar üretmek açısından yeterli olmadığı görülmektedir. İklim değişikliği ile beraber nemli ve kurak anomalilerin belirlenip su kıtlığının gelecekteki durumu hakkında bilgi sahibi olmak ve literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi hedeflenmiştir.

### **1.3. Çalışma Alanı ve Genel Fiziki Özellikleri**

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda ve Bursa ili sınırları içinde yer alan Doğancı Barajıdır. Bursa kent merkezi su ihtiyacı bu barajdan sağlandığı için Doğancı Barajı ele alınmıştır. Doğancı Barajı coğrafi konumu 40° 6' 44" Kuzey enlemleri ile 28° 57' 48" Doğu boylamları arasında, 446 km<sup>2</sup>'lik alana sahiptir (Şekil 2). Doğancı Barajının hemen arkasında bulunan Nilüfer Barajı ise 194 km<sup>2</sup>'lik alana sahiptir.

Nilüfer Barajının, Doğancı Barajının kaynaklarından biri olduğu ve yedek baraj olarak kullanıldığı, barajın su tutmadığı sadece taşkın koruma amaçlı yapıldığı bilgilerine ulaşılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda Nilüfer Barajı ayrıca modellenmemiştir (BUSKİ, 2021).



**Şekil 2.** Çalışma alanının lokasyon haritası (Nüfus verisi GHSL (URL 4) verisinden elde edilmiştir).

Marmara bölgesinde bulunan iller göç baskısı altında hızla büyümektedir. Hızla büyüyen şehirlerden biri de Bursa'dır (Keskin vd., 2015: 25). 2020 yılı TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Bursa ili 3.101.833 kişi ile Türkiye'nin dördüncü büyük şehridir. Bu bağlamda merkez ilçelerden en fazla nüfusa sahip ilçeler sırasıyla Osmangazi, Yıldırım, Nilüfer, Gürsu, Kestel'dir. Bursa ilinde yaşayan 3.101.833 kişiden, 2.147.196 kişi yukarıda belirtilen 5 merkez ilçede yaşamaktadır. Doğancı barajının su sağladığı alan olduğu için Bursa ilinin kent merkezi çalışmada ele alınmıştır (Şekil 2).

### 1.3.1. Çalışma Alanının İklim Özellikleri

İklim değişikliğinin her geçen gün etkisini artırması, küresel boyutta çalışmaların başlamasına neden olmuş ve her ülkeye belli sorumluluklar yüklemiştir (Özcan, 2018: 245). Gelecekte oluşabilecek iklim değişikliği, sera gazı birikimindeki artış ve çevre tahribi nedeniyle sıcaklıklarda artış meydana gelecektir. İklim değişikliği tarımsal faaliyetlerde, canlı yaşam alanlarında değişikliklere neden olacak ve su kaynakları bakımından sorunlar oluşturacaktır (Öztürk, 2002: 48). Günümüzde iklim değişikliği ve

küresel ısınma çevresel bir risk olmaktan çıkmış su kaynakları, kıyı alanları ve diğer doğal alanlar olmak üzere birçok alanda etkisini göstererek tüm canlılar için ciddi kayıpların ana sebebi olmuştur (Turp vd., 2014: 2). Bu etkilerin görülmeye başlandığı en önemli kaynak “su”dur (Tuğaç, 2014: 1). Onuncu Kalkınma Planı’nda; ülkemizin var olan su miktarının artan talep, kuraklık ve su toplama havzalarının kirlenmesi nedeniyle, artan talebi karşılayamaz hale geldiği belirtilmektedir (Ulusal Su Planı, 2019-2023: 17). Su kaynakları üzerinde doğrudan etkili olduğu için çalışma alanının iklim özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

Bir bölgenin ikliminde değişmelere sebep olan faktörler; yükselti, dağların uzanış yönü, bakı ve denize uzaklıktır. Bu faktörlerin çoğu Bursa ikliminin oluşmasında etkilidir. Yükselti özellikleri ile Bursa Türkiye’nin bir anlamda özetidir. Bursa ovasında yükselti 100 m’ de iken, Uludağ da 2543 metreye kadar çıkar. Bursa’da yükseltinin kısa mesafede değişmesi ile yağış ve sıcaklık koşulları da buna paralel olarak değişiklik gösterir. Örneğin Uludağ’a düşen yağış miktarının yarısı Bursa merkezine düşmektedir (Abi, 2010: 26). Bursa iklimin oluşmasında etkili olan diğer bir faktör ise dağların uzanış yönü ve bakıdır (Öztürk, 2010). Dağların güneye bakan yamaçları, kuzeye bakan yamaçlara göre daha fazla ısınmaktadır. Kuzeye bakan yamaçlarda nemli şartlar hâkimdir. Denize uzaklık ise Bursa iklimini etkilediği görülmektedir. Marmara denizinin etkisi ile Bursa ili ılımanlık kazanmıştır (Abi, 2010:27).

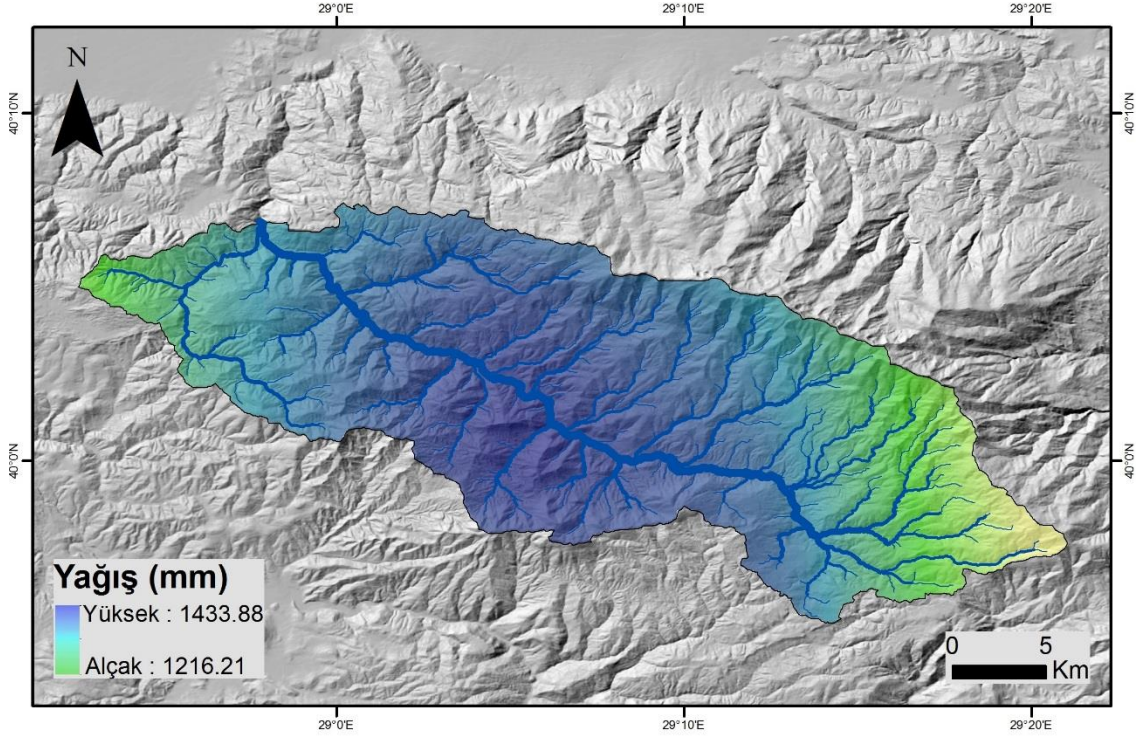
Çalışma alanının içinde bulunduğu Bursa ili, Akdeniz ve Karadeniz ikliminin karakteristik özelliklerini taşır (Abi, 2010: 32; Erinç, 1996; Öztürk vd., 2017; Yılmaz-Çiçek, 2018; Türkeş, 2010). Bursa ovası ile Uludağ arasında kısa mesafede yükselti açısından belirgin farklılıklar oluşur bu da iklimin çeşitlenmesi neden olur (Öztürk, 2010: 14). Bursa ovasında Akdeniz iklimi etkisiyle yarı nemli bir iklim hâkimdir ve yaz mevsiminde kuraklık meydana gelir. Uludağ kütlesi ise nemli iklim içerisinde bulunur ve sert, nemli dağ iklimi hâkimdir (Öztürk, 2010: 23). Bursa ili kuzeyde yumuşak ve ılık bir iklime sahip olmasına rağmen güneyde ise Uludağ’ın sert iklimi hâkimdir (Bacanlı ve Kargı, 2019: 167). Dağ iklim tipi Marmara bölgesinde sadece Uludağ civarında tespit edilmiştir (Darkot ve Tuncel, 1981:32). Çalışma alanı için yağış, sıcaklık, buharlaşma miktarı, bunların coğrafi dağılışı, yıllara göre gösterdiği değişimlerin incelenmesi, çalışma alanının iklim karakterini anlamamıza yardımcı olur (Çolak, 2019: 13). Bu nedenle iklim elemanları incelenmiştir.

### 1.3.1.1. Yağış

Bursa ve Uludağ'da ikliminin oluşmasında önemli bir etkende hava kütleleridir. Yaz ve kış mevsiminde etkili olan bu hava kütleleri yağış üzerinde oldukça etkilidir. Marmara ve çalışma alanında NAO'nun genelde pozitif fazına geldiği yaz döneminde Azor yüksek basıncı, Muson alçak basıncı ve bazen de bunların birleşik anomalileri hâkimdir. Bu basınç sistemlerine bağlı olarak yaz mevsimlerinde Denizel Tropikal (mT) hava kütlesi ile Karasal Tropikal hava kütleleri (cT) egemen olur (Türkeş, 1996, 2010; Karaca vd; 2002). Kış döneminde ise Sibiryaya yüksek basıncı ile İzlanda alçak basıncı polar jetin güneye inmesiyle etkili olur. Öte yandan, bu basınç sistemlerinden kaynaklı Akdeniz üzerine gelen hava kütleleri bazen yeni bir karakteristik kazanır ve Akdeniz alçak basıncını oluşturur. Bu dönemde çalışma alanına İzlanda kaynaklı Maritim Polar gibi (mP) birçok hava kütlesi gelerek cephesel yağışları oluşturur. Maritim Polar (mP) ve Kontinental Polar (cP) hava kütleleri güneye doğru hava hareketleri sebebiyle ısınma ve kararsızlaşma eğilimindedirler. Uludağın yükseltisi hava kütlelerini yükseltiye zorlaması sonucunda özellikle kuzey yamaçlarda yağışlara sebep olur (Öztürk, 2010:15).

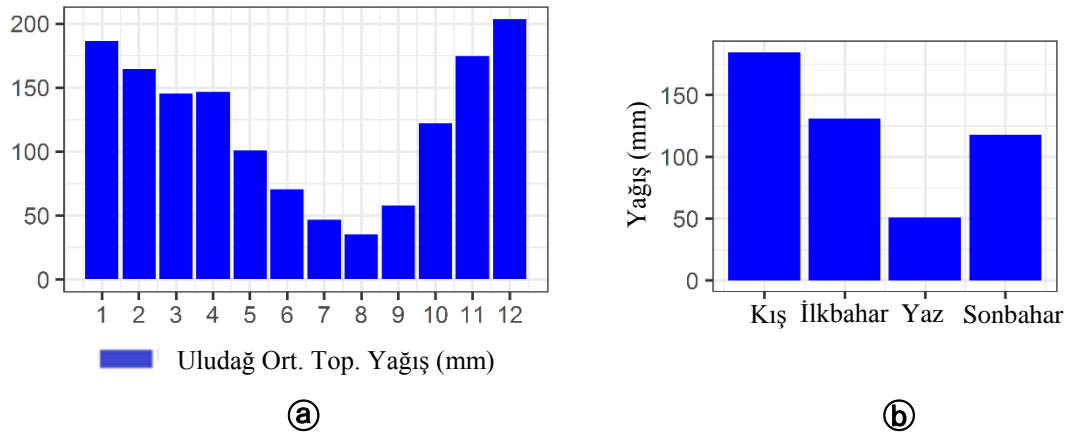
Yağış, diğer iklim elemanları gibi bir alanın su dengesi (yahut su bütçesi) üzerinde neredeyse en önemli yere sahip bir parametredir (Çolak, 2019: 50). Çalışma alanında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilen Bursa ve Uludağ iklim bültenleri verilerine göre yağışın dağılımında yükselti faktörünün etkileri görülmüştür. Bursa merkezinde gözlenen ortalama kar yağışı 15,4 gün iken Uludağ kütlesinde 81,2 gündür. Bursa da karla örtülü gün sayısı 10,8 olurken Uludağ'da 180,3 gündür. Uludağ'da 10 ay boyunca kar örtüsüne rastlamak mümkündür. Doğancı Barajına kaynak sağladığı için Uludağ kütlesi kar yağışları önemlidir (Öztürk, 2010: 20).

Yağış özelliklerini mekânsal olarak daha iyi yansıtmak ve açıklamak amacıyla 30 yıllık (1971-2000) bir dönem içerisindeki Doğancı Barajı havzasındaki gridli RegCM model verisi kullanılarak havzanın yağış bilgisi elde edilmiştir (Şekil 3). Yıllık yağış toplamlarının uzun dönem ortalaması minimum 1216 mm ile maksimum 1433 mm değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Bu yağışın ortalama değeri ise 1369 mm'dir. Şekil 3 incelendiğinde, Doğancı Barajı havzasında yağış miktarının havzanın ortasında daha yüksek olduğu görülür. Diğer yandan, havza gerisine doğru en düşük yağış miktarlarına ulaşılır.



**Şekil 3.** Çalışma alanının yıllık toplamların uzun dönem ortalaması yağış haritası

Uludağ'ın kuzey yamaçları yıllık yağış miktarı, yükselti artışı nedeniyle güney yamaca göre daha fazla yağış alır (Öztürk, 2010: 19). Yağışın aylara göre dağılışı incelendiğinde, yağış en fazla aralık ayında, en az ağustos ayında düşmektedir (Şekil 4. a). Yağışın mevsimlere göre dağılışı incelendiğinde en yağışlı mevsim kış olurken en az yağışlı mevsimin yaz olduğu görülür (Şekil 4. b). Yaz yağışlarının da olması yağış rejimi açısından Akdeniz iklimin hâkim olduğunu gösterir (Abi, 2010: 32).



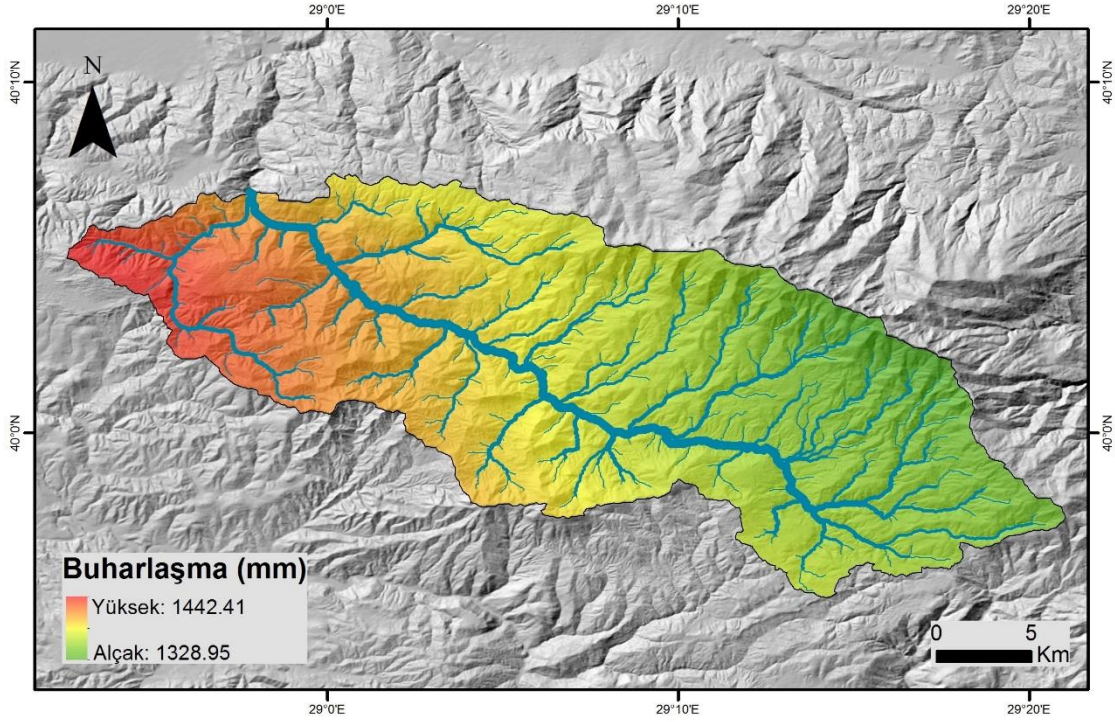
**Şekil 4.** Çalışma alanında a) yağış miktarının aylara göre dağılışı b) ortalama yağışın mevsimlere göre dağılışı

### 1.3.1.2. Buharlaşma

Yeryüzündeki suyun atmosfere doğru geçişine buharlaşma denir (Türkeş, 2021: 241). Denizler, kara ve göl yüzeyleri, kar ve buz yüzeylerinden su buharlaşarak atmosfere karışır (Erol, 2004: 208). Buharlaşmayı etkileyen etmenler oldukça çeşitlidir. Sıcaklık etmeni incelendiğinde ise, clausius-clapeyron eşitliğine bağlı olarak sıcaklık artışı ile birlikte havanın nem kapasitesini etkileyecek ve buharlaşma üzerinde doğrudan etkisi olacaktır (Türkeş, 2010). Sıcaklığın günlük ve yıllık değişimleri ile buharlaşmanın günlük ve yıllık değişimleri birbirini etkiler (Türkeş, 2010). Bursa merkezinde ortalama sıcaklık (100m) 14,5 °C iken Uludağ' da (1878 m) 4,5°C civarındadır. Uludağ'da kış mevsiminde aylık ortalama değerlerde sıcaklık sıfır derecenin altına inerken, Bursa merkezinde sıcaklığın sıfır derecenin altına düştüğü görülmemiştir. Yaz mevsiminde ise Bursa'da ortalama sıcaklık 24,5 °C iken, Uludağ 13,9 °C'dir. Buharlaşmayı arttırıcı etkilerinden dolayı sıcakların 30 °C üzeri değerleri önemlidir. Bursa merkezinde 59,9 günün yıllık ortalama sıcaklığı 30 °C üzerindedir. 30 °C üzeri sıcaklıklar Uludağ'da yok denecek kadar azdır. Sadece temmuz ayında 0,1 gün 30 °C üzeri sıcaklıklar görülür (Öztürk, 2010: 17). Dolayısıyla, Uludağ kütlesi üzerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak buharlaşma da yükseklikle beraber değişir. Öte yandan, hava hareketlerinin hızına bağlı olarak da buharlaşma değişir. Dikey hava hareketleri ne kadar hızlıysa buharlaşma o kadar fazla olur. Uludağ kütlesi bu bariyer etkisi ile beraber dikey hava hareketi yaptığı için buharlaşma miktarı fazladır. Buharlaşmayı etkileyen diğer etmen de hava basıncıdır. Basınç arttıkça yeryüzünde buharlaşma artar. Buharlaşmayı karşılayabilecek suyun bulunup bulunmaması, yüzeyin genişliği, toprak özellikleri ve bitkilerin terlemesi buharlaşmayı etkileyen diğer unsurlardandır (Erol, 2004: 209).

Bu bilgiler doğrultusunda çalışma alanının buharlaşma özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanının buharlaşma değerleri yağışa benzer şekilde 30 yıllık (1971-2000) gridli RegCM verisinden sıcaklığın Penman yöntemiyle dönüştürülmesi sonucu elde edilmiştir. Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre yıllık ortalama buharlaşma miktarı minimum 1328 mm ile maksimum 1442 mm değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Buharlaşmanın ortalama değeri ise 1379 mm'dir (Şekil 5). Şekil 5 incelendiğinde, buharlaşma üzerinde yüksekliğin dolayısıyla da yükseklikle beraber sıcaklığın etkili olduğu görülür. Uludağ kütlesinde yukarı yamaçlarına doğru kademeli bir şekilde buharlaşma miktarı azalırken, tersine kütleinin aşağısına yani ovaya doğru ise

buharlaşma miktarının arttığı görülür. Bu durum özellikle Doğançı Barajı havzasında, barajın lokasyonundan dolayı su bütçesini negatif bir şekilde yani su kaybı şeklinde etkilemektedir. Bu bakımdan, havza içerisinde yaz kuraklığı belirgin olduğu zamanlarda buharlaşmada maksimum düzeye gelebilir.



**Şekil 5.** Çalışma alanının yıllık toplam uzun dönem ortalaması buharlaşma haritası

### 1.3.2. Doğançı Barajının Özellikleri

Su, önemli doğal kaynaklardan biri olduğu için, zenginliğin ve refahın anahtarı olarak görülmüştür (Arbues vd., 2003: 81). Su, insan hayatının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Bu nedenle uzun yıllardır suyun varlığı, temini, kullanımı önem arz etmektedir (Yalılı ve Akal Solmaz, 2004: 171).

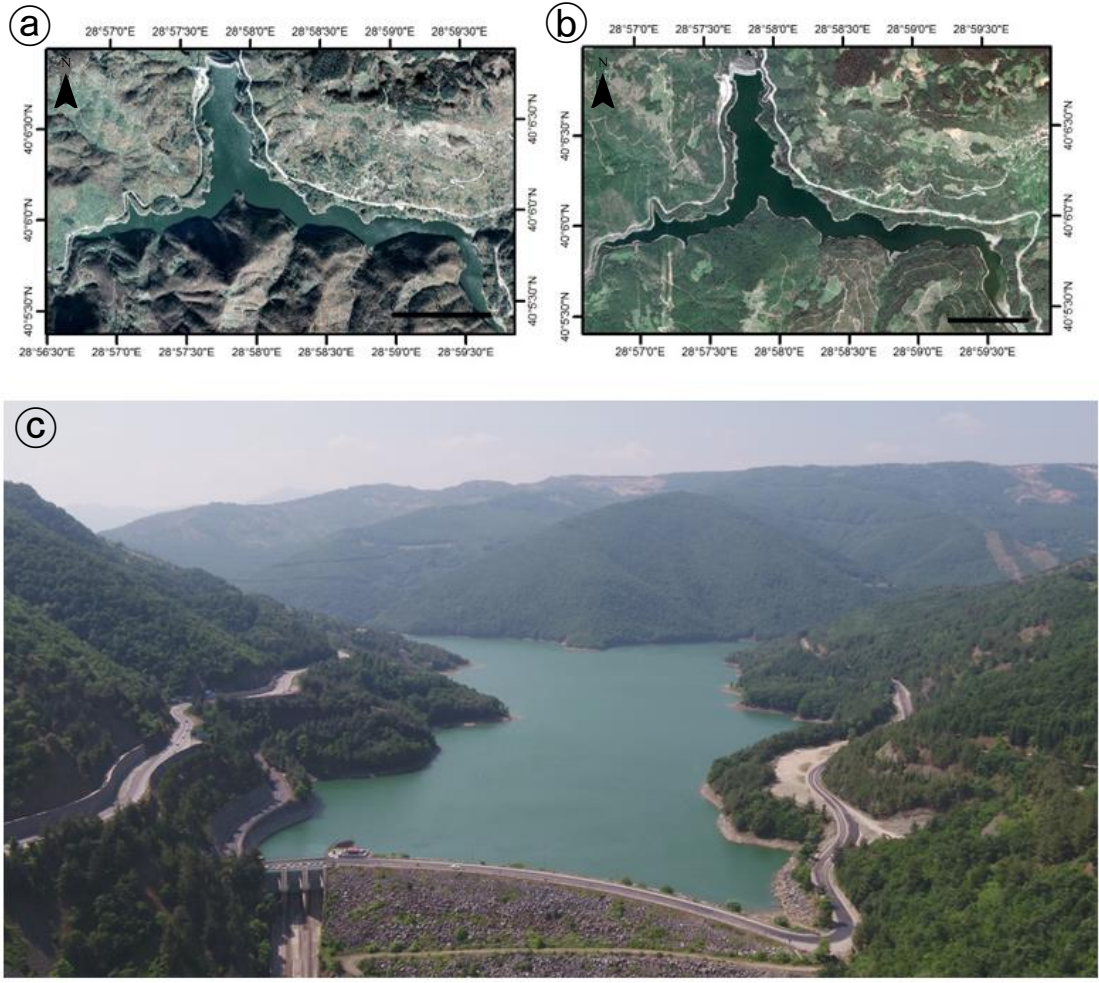
Çalışma alanı, su kaynakları açısından ender şehirlerden biridir. Nilüfer Çayı ve kolları şehrin ana su kaynağını oluşturmaktadır (Yalılı ve Akal Solmaz, 2004: 172). Uludağ'ın güney yamaçlarından yeryüzüne çıkan Nilüfer Çayı toplamda 680 km<sup>2</sup> su toplama havzasına sahiptir (Solak vd., 2019: 113).

Bursa şehrinin su ihtiyacı sırasıyla yüzeysel su kaynakları, yeraltı su kaynakları ve pınar kaynaklarından temin edilir (Yalılı vd., 2006: 3). Çalışma alanında su ihtiyacının yaklaşık % 85' i Doğançı Barajı havzasından sağlandığı için çalışma bu havza üzerinde yürütülmüştür (İzgi, 2021: 12).



Bursa'nın güneybatısında, 28 km uzaklıkta olan Doğancı Barajı, Doğancı Köyü'nün 2 km. güneyinde, Nilüfer Çayı üzerinde, Pınarlık Sırtı ve Küçük Arpalık Deresi arasında inşa edilmiştir (Genç, 1998: 4). Doğancı Barajı, Osmangazi ilçesinde 1975-1983 yılları arasında şehre içme kullanma suyu sağlamak amacıyla inşa edilmiştir. Toprak ve kaya gövde dolgu tipine sahip olan barajın gövde hacmi 2.520.000 m<sup>3</sup>, akarsu yatağından yüksekliği 65,00 m maksimum su seviyesinde göl hacmi 43,30 hm<sup>3</sup> olan baraj yılda 125 hm<sup>3</sup> içme kullanma suyu sağlanmaktadır (İzgi, 2021: 14). Doğancı Barajı maksimum su seviyesi 333,30 m olarak belirlenirken, minimum su seviyesi 305,00 m'dir. Barajın toplam hacim miktarı 41.267.105 m<sup>3</sup>, ölü hacim miktarı 8.656.104 m<sup>3</sup> iken kullanılabilir hacim 32.611.001 m<sup>3</sup>'dür (İzgi, 2021: 22).

Doğancı Barajında yağışların en fazla olduğu kış mevsimine ait uydu görüntüsü incelendiğinde barajdaki su miktarının yüksek olduğu görülürken, yağışların en az olduğu yaz mevsimine ait uydu görüntüsü incelendiğinde su miktarının azaldığı görülür (Şekil 6).

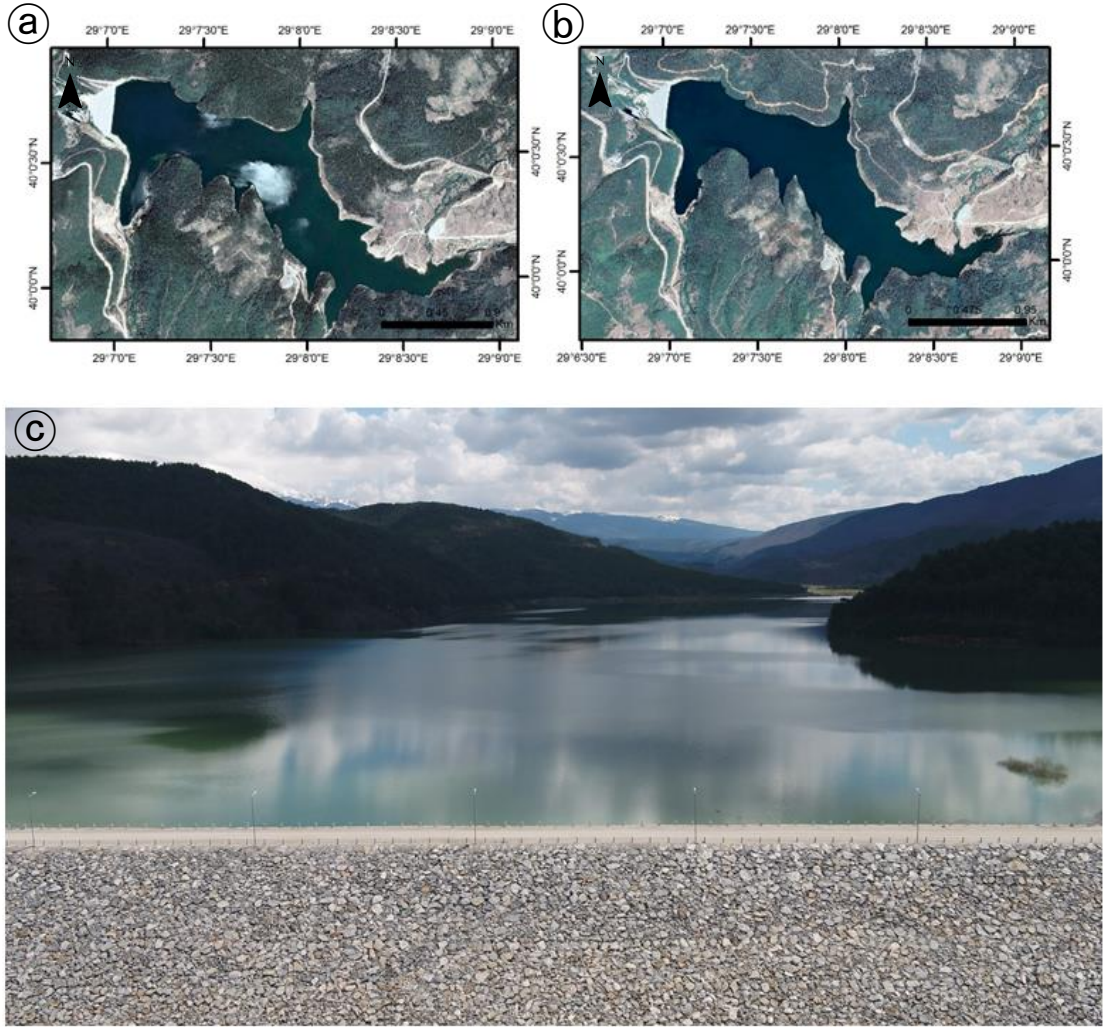


**Şekil 6.** Doğancı Barajının a) kış mevsimi b) yaz mevsimine ait Google Earth görüntüsü ve c) BUSKİ Genel Müdürlüğünden temin edilen görüntüsü.

DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) 1.Bölge Müdürlüğünden edinilen bilgiye göre Nilüfer nehrinin akımlarının iyi olmasına rağmen, Doğancı Barajının kapasitesinin küçük olması nedeniyle; yağışların ve beslenmenin yüksek olduğu aylarda fazla miktarda suyu savaklanmak zorunda kaldığı görülmüştür. Aynı zamanda isale hattı ve arıtma tesisi kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle ayda 15 milyon m<sup>3</sup>'den fazla su çekilememiştir. Uzmanlara göre uzun vadede düşünüldüğünde şehrin aldığı göç miktarı dikkate alınmış ve Doğancı Barajı'nın kapasitesinin artırılması gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle aynı havza üzerinde depolama amacıyla 1995-2007 yılları arasında Nilüfer Barajı inşa edilmiştir (Genç, 1998: 14). Nilüfer Barajı'ndan yıllık 60 hm<sup>3</sup>'lük içme suyu temin edilmektedir. Toprak ve kaya gövde dolgu tipine sahip olan barajın gövde hacmi 3.550.000 m<sup>3</sup> iken barajın akarsu yatağından yüksekliği 93,00 m'dir (İzgi, 2021: 15).

Nilüfer Barajının maksimum su seviyesi 762,40 m minimum su seviyesi ise 720,00 m'dir. Barajın toplam hacmi 36.378.000 m<sup>3</sup> ölü hacim miktarı 2.483.000 m<sup>3</sup> iken kullanılabilir su miktarı 33.895.000 m<sup>3</sup>'dür (İzgi, 2021: 22).

Nilüfer Barajında yağışların en fazla olduğu kış mevsimine ait uydu görüntüsü incelendiğinde su miktarının fazla olduğu görülürken, yaz mevsimine ait uydu görüntüsü incelendiğinde su miktarının azaldığı görülür (Şekil 7).



**Şekil 7.** Nilüfer Barajının a) kış mevsimi b) yaz mevsimine ait Google Earth görüntüsü ile barajın BUSKİ Genel Müdürlüğünden temin edilen görüntüsü.

## İKİNCİ BÖLÜM

### VERİ VE YÖNTEM

#### 2.1. Verilerin Toplanması

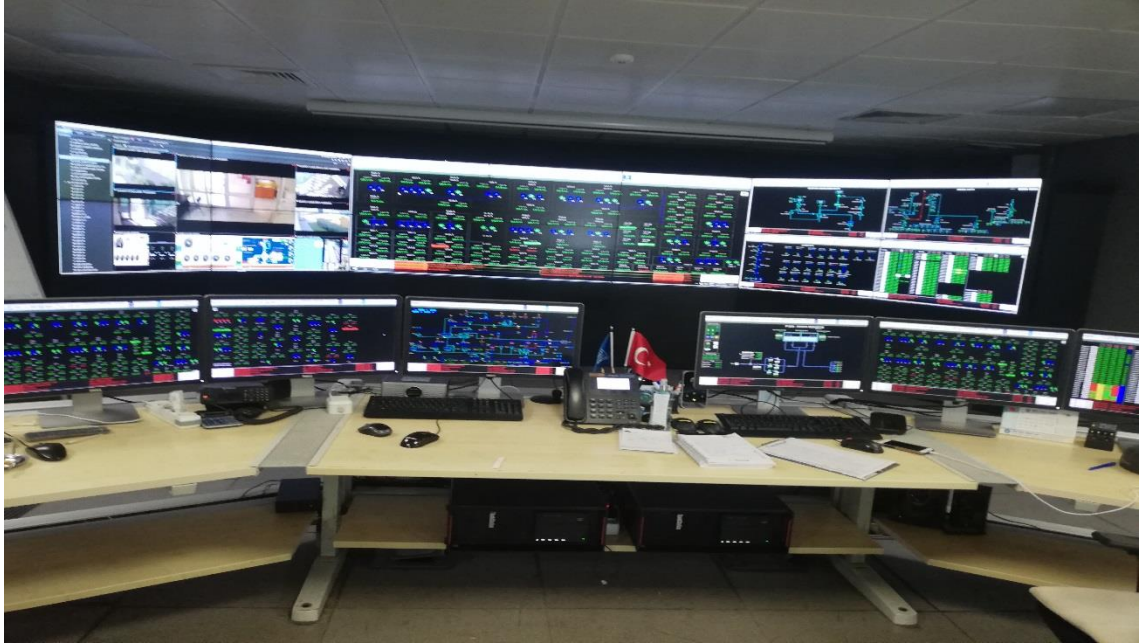
2004 yılında BUSKİ (Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi) Genel Müdürlüğünün görev ve sorumlulukları genişletilmiş, içme, kullanma, endüstriyel su ihtiyaçlarının sağlanması, yeraltı ve yer üstü kaynaklarının kullanılması, halka ihtiyaç duyduğu suyun ulaştırılması, su havzaların korunması görevleri ile yetkilendirilmiştir (BUSKİ, 2020: 25). Bu yetkilendirme ile Bursa şehrine su temin eden kurum BUSKİ olduğu için verilerin elde edilmesi hususunda bu kuruma başvurulmuştur. Öncelikli olarak baraj verilerine ulaşılması için bu verilerin kayıt altına alındığı kurum olan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi'ne gidilmiştir. Bu kurum 50 dönüm arazi üstüne inşa edilmiş, Doğancı Barajından gelen suyu arıtarak şehre içme kullanma suyu sağlamak amacıyla kurulmuştur (URL 2). Dobruca arıtma tesisi, su arıtma kapasitesi 500.000 m<sup>3</sup>/gün 'dür (İzgi, 2021: 23) (Şekil 8).



**Şekil 8.** Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi Havadan Çekilmiş Görüntüsü (Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir)

Doğancı ve Nilüfer Barajlarına ait günlük olarak tutulmuş verilerin hepsi BUSKİ aracılığıyla Dobruca Arıtma tesisinden temin edilmiştir. Günlük olarak elde edilen veriler aylığa dönüştürülmüş ve su yönetimi açısından anlamlı bir sonuç çıkarmak açısından aylık ölçekte kullanılmıştır. Dobruca arıtma tesisinde arıtılan su, depolara

gönderilip şehre dağıtımı yapılmaktadır. Tüm işlemlerin kontrolü BUSKİ Scada (Supervisory Control and Data Acquisition-Veri tabanlı kontrol ve gözetleme sistemidir) sistemleri merkezinde yapılmaktadır. Scada coğrafik olarak geniş alanlarda su dağıtım sistemlerini izleme ve kontrol işlemlerini yerine getiren sahada meydana gelen olaylara anında müdahale eden veri tabanlı bilgisayar sistemidir (Akıllı ve Özaslan, 2017: 1603). Bu bilgiler doğrultusunda Scada sistemi ile tüm tesis ve işletmelerin kontrolünün yapıldığı aynı zamanda tüm birimlerin otomatik kontrolü ve gözlemlerinin sağlandığı görülmüştür (URL 3). Scada sistemi ile 685 adet tesis anlık olarak izlenilip, yönetilmektedir. İçme suyu hattı üzerindeki bilgilere gerçek zamanlı olarak erişim sağlanmaktadır (İzgi, 2021: 28) (Şekil 9). Bu bilgiler sonucunda Bursa şehrinin su sistemi hakkında ayrıntılı bilgiler edinilmiştir.



**Şekil 9.** BUSKİ Scada Merkezi

Çalışmada geleceğe yönelik projeksiyonlar üretebilmek için istatistik modeller kullanılmıştır. Bu modellere altlık veri sağlamak için yağış-akış ilişkileri ortaya konmuştur. Bu amaç doğrultusunda yağış verisi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) günlük olarak ölçülen Uludağ yağış istasyonunun (İstasyon No: 17676 ) verileri temin edilmiştir. Ayrıca, hem istatistik model hem yağış-akış ilişkilerinde kullanmak amacıyla günlük olarak ölçülmüş akım verilerini elde etmek için Devlet Su İşleri'den (DSİ) D03A044 (Nilüfer Ç. Selahattin Saygı Brj. Girişi) ve D03A056 (Sultaniye D. Sultaniye) istasyonları kullanılmıştır.

Çalışma alanı kapsamında hidrostatik bir model olan RegCM4.4 (Bölgesel iklim modeli), Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) verileri İklimBu laboratuvarında üretilen ve daha sonra Akbaş vd., 2020 kullanılan veri tabanından elde edilmiştir. Kullanılan modelin özellikleri (Turp vd., 2014) tarafından oldukça geniş bir şekilde açıklanmıştır. Bölgesel iklim modelinin dinamik yapısı, Pennsylvania Devlet Üniversitesi'nin Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nin (National Center for Atmospheric Research (NCAR) of the Pennsylvania State University) MM5 olarak adlandırılan orta ölçekli modelin hidrostatik versiyonunu kapsamaktadır (Grell vd., 1994: 1). Kullanılan bölgesel iklim modeli verileri 10 km çözünürlüktedir. Bölgesel iklim modeli verilerinden günlük toplam yağış (mm) verisi kullanılmıştır. Çalışma alanında kullanılacak buharlaşma verilerini elde etmek için bölgesel iklim modeli verilerinden günlük maksimum ve minimum sıcaklık (C°) verisi kullanılmıştır. Veriler 3 döneme ayrılarak kullanılmıştır. Bunlar referans dönemi (1971-2000), RCP 4.5 ve RCP 8.5 (2020-2049 ve 2070-2099)'dir.

TÜİK'ten Bursa merkez ilçelerininin 2007-2020 yıllarına ait nüfus verileri temin edilmiş ve verilerde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra kullanılmıştır. TÜİK'ten elde edilen veriler sonucunda geçmişteki kent nüfusuna bakılmış nüfus artış hızı belirlenmiş ve gelecek için tahminler elde etmek üzere gözlem verisi olarak kullanılmıştır.

## **2.2. Metodoloji**

### **2.2.1. Penman Monteith Yöntemi**

Dünyadaki yaşam için önemli bir unsur olan su, yeryüzündeki her canlının suya olan bağımlılığı nedeniyle hayati değer taşımaktadır. Su, değişik roller ve performanslarda canlıların döngüsünde yer alırken aynı zamanda evapotranspirasyon sürecinde de hala büyük bir paya sahiptir (Davie ve Quinn, 2019; Anurogo vd., 2019: 1). Açık su yüzeylerindeki iklim verilerini kullanarak Penman 1948'de buharlaşma formülünü geliştirmiştir. 1976'da Monteith tarafından yüzey direnci eklenerek daha da geliştirilmiştir. 1990 yılında FAO Penman-Monteith yöntemi adı ortaya çıkmıştır (Bayramoğlu, 2013: 302). Standart yöntem olarak FAO Penman-Monteith Metodu önerilir (Allen vd., 1998: 13). Penman-Monteith yöntemi birçok araştırmacı tarafından tavsiye edilir (Buttafuoco vd., 2010: 2319). Bu bilgiler doğrultusunda buharlaşmayı

hesaplamak için Penman Monteih Methodu kullanılmıştır. Bölgesel iklim modeli günlük maksimum ve minimum sıcaklık (C°) verileri kullanılarak Penman Montheit Method (Allen vd., 1998) ile çalışma alanının buharlaşma miktarı belirlenmiştir. Model şu şekilde açıklanabilir (Penman, 1948);

$$E_0 = \frac{\Delta Q^* + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad \text{Eşitlik 1}$$

Ampirik ilişki:

$$E_a = 2.6\delta_e \left(1 + \frac{u}{1.862}\right) \quad \text{Eşitlik 2}$$

olduğunu gösterir. Formül incelendiğinde burada:

$Q^*$ = net radraston(mm/gün)

$\Delta$ = doymuş buhar açığının sıcaklıkla beraber artış hızı (kPa/ °C)

$\delta_e$ = havanın buhar basıncı açığı (kPa)

$\gamma$ = psikrometrik sabit ( $\approx 0.063 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$ )

$u$ = 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

### 2.2.2. SCS CN (Curve Number) Yöntemi

Akarsulara ait akım verileri, akarsu gözlem istasyonlarından temin edilmektedir. Bu veriler akarsuda oluşan akım değişimlerini sayısal olarak ifade edip değişimleri daha kolay anlamamıza yardımcı olur. Akarsularda akım verilerinin olmadığı durumlar da ise bir takım modeller kullanılarak bu değerler elde edilir (Özdemir, 2007: 2). Yağış-akış modellemesi hidrolojideki en önemli kavramlardan birini oluşturur (Ajmal, 2020: 5). SCS Curve Number (SCS CN) bu modellerden biridir (SCS, 1956,1964,1972,1985,1993: 7). SCS-CN, yağış sonrası sızma nedeniyle kayba uğrayan su fazlalığının hesaplanması olarak isimlendirilir aynı zamanda havzalarda meydana gelen akarsu akım miktarını tahmin etmek için kullanılır (Yu, 1998: 306). SCS- CN yağış-akış modeli genel olarak ifade edilmek istenirse (SCS, 1964, 1972: 16);

$$Q = \frac{(P - la)^2}{\{(P - la) + S\}} \quad \text{Eşitlik 3}$$

Burada, Q= Akış (mm), P= Yağış (mm), S= Toprak tarafından tutulan su'yun (mm) miktarını ifade eder.

Yönteme ait diğer özellikler Özdemir (2007) tarafından geniş bir şekilde açıklanmıştır. Popüler yüzey akış tahmini olan Curve Number yöntemi basit, kullanışlı ve uygulama da kolay bir yöntem olduğu için daha çok tercih edilir (Shi, 2020:21). Bu nedenlerden dolayı çalışma alanının akış değerlerini elde etmek için bu yöntem tercih edilmiştir. Çalışma alanına düşen yağışın önceki nem koşullarını dikkate alarak, yağın yağışın ne kadarının sızmaya uğradığı, ne kadar kısmının yüzeysel akışa geçtiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu model kullanılarak çalışma alanı havzasının akım değerleri yağış-akış ilişkisi kurularak elde edilmiştir. Yağış miktarı akışa dönüştürülüp hesaplanmıştır. RegCM4.4 modelinin senaryo ve dönemlerine ait yağış verileri kullanılarak, Curve Number metodu ile geleceğe ait akım değerleri de elde edilmiştir.

Yağış-akış modellemesi ile elde edilen verinin kalibrasyonu ve değerlendirilmesi açısından birçok performans değerlendirme testi vardır (Akbaş, 2018: 78). Bu çalışmada literatürde de çok sık kullanılan Nash–Sutcliffe model efficiency (NSE) katsayısı ile model kalibre edilmiştir (Krause vd.,2005: 90; Nash ve Sutcliffe, 1970: 288). NSE formülü aşağıdaki gibidir:

$$NSE = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - P_i)^2}{(Q_i - \bar{Q})^2} \quad \text{Eşitlik 4}$$

Bu formülde,

$Q_i$  gözlemlenen  $i$ 'inci akım değerini,

$P_i$  modellenen  $i$ 'inci akım değerini,

$\bar{Q}$  gözlemlenen ortalama akım değeri belirtir.

NSE değerleri  $-\infty + 1$  arasında değişmektedir.  $NSE = 1$ , gözlemlenen ile modellenen veri arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu,  $NSE = 0$ , tahmin edilen verilerin, gözlem verilerinin ortalaması kadar gerçek olduğu  $-\infty < NSE < 0$ , gözlem verilerinin ortalamasının, modellenen verilere göre daha iyi olduğu anlaşılır. Bu açıdan bakıldığında 0 ve üzeri değerlerin kullanılabilir olduğu görülmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970: 288).

### 2.2.3. Support-Vector Machine (SVM)

Makine öğrenmesi, verilerden karmaşık bir örüntünün belirlenmesi ve akılcı karar almak için istatistik ve bilgisayar gücünden yararlanır (Kaya ve Yıldız, 2014: 91). Bir

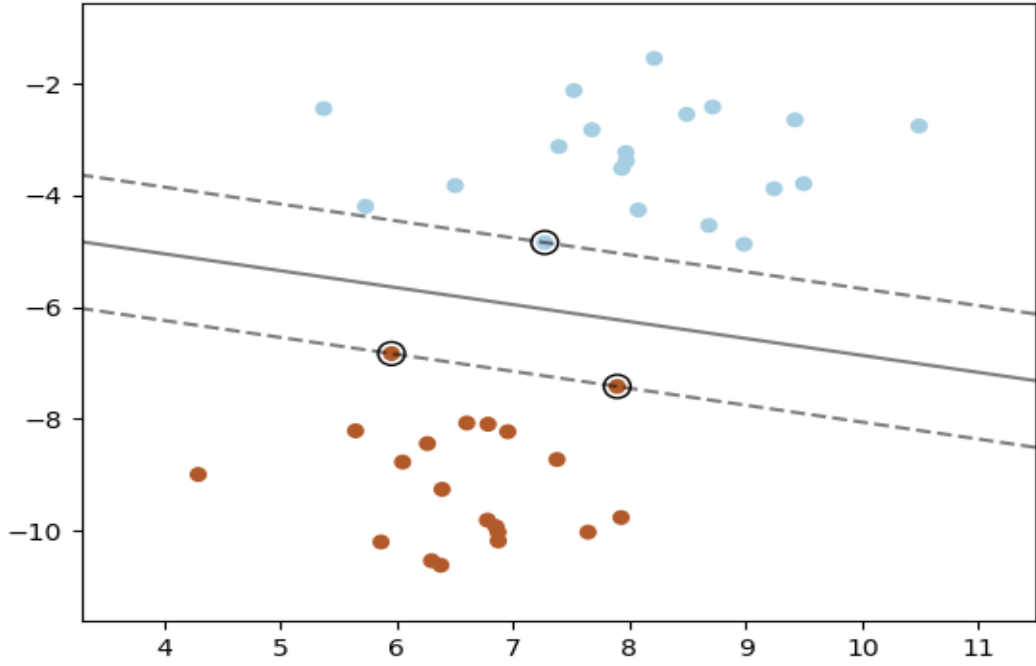


sorunu o soruna ait veriyle modelleyen bilgisayar algoritmalarının genel ifadesine makine öğrenmesi denir (Atalay ve Çelik, 2017: 161).

Makine öğrenmesi tarihsel olarak verilerdeki yararlı kalıpları arayan ve tanımlayan veri madenciliği ve bilgi keşfi için kullanılan başarılı teknikleri kapsar (Nguyen ve Armitage, 2008: 59). Makine öğrenmesi, el yazısı tanıma, yük tahmini, arama motorları, robotik ve bilgisayar oyunları, makine ara yüzü vb. geniş bir uygulama alanına sahiptir. Veri işleme, hava ve iklim tahminleri, hidrolojik tahminler makine öğrenmesinde sıkça kullanılmaktadır (Peng, 2013: 6).

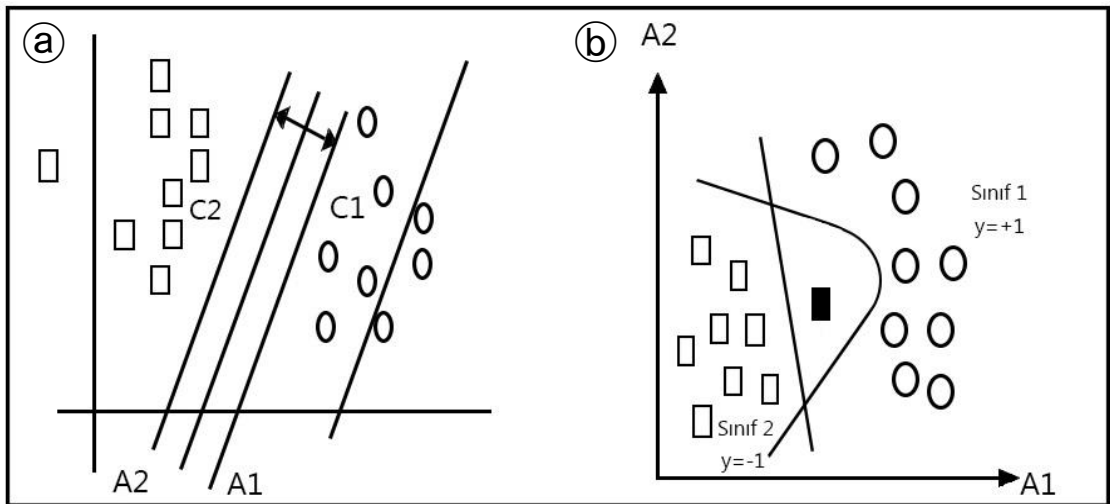
Çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri vardır ve bunlardan Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine (SVM'ler)), Vapnik ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş istatistiksel öğrenme metodudur (Cortes ve Vapnik, 1995: 284). Destek Vektör Makinesi sınıflandırma, regresyon ve aykırı değerleri tespit etmek için kullanılan denetimli öğrenme yöntemidir (URL 1). Destek Vektör Makine Öğrenmesi ile ilgili ilk çalışmalar sınıflandırma alanı ile ilgilidir (Bilişik, 2011: 788). Destek Vektör Makine Öğrenmesi sınıflandırma ve regresyon problemlerinde ayrıca kullanılabilir (Çomak, 2008: 37). SVM, kolay bir yapısı olması, pratik uygulamalarda iyi performans sergilemesi açısından oldukça kullanışlıdır (Karakoyun ve Hacıbeyoğlu, 2014: 6). SVM'nin tahmin işlemlerinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür (Çomak, 2008: 35). Bu nedenlerden dolayı, bu çalışma içerisinde Doğancı Baraj gölünün hacim değişimleri ve miktarlarının tahmini için SVM yöntemi tercih edilmiştir.

Destek Vektör Makinelerinin aynı zamanda çok fazla genelleme yapabilme yeteneği vardır ve SVM'ler çok farklı alanlarda kullanılır (Schölkopf vd., 1998: 308). Destek Vektör Makinelerinin özelliği veri seti üzerinde istatistiksel öğrenme teorisindeki yapısal risk minimizasyonu üzerinde çalışmasıdır (Yakut, 2014: 143). Destek Vektör Makinesi, sınıflandırma, regresyon veya diğer çalışmalar için kullanılan yüksek veya sonsuz boyutlu bir uzayda hiperdüzlem seti oluşturur (Şekil 10). Bir sınıfın en yakın eğitim veri noktalarına en büyük mesafeye sahip olan hiperdüzlem tarafından ayırım elde edilir. Nedeni ise genel olarak marj (kenarlar) ne kadar büyük olursa, genelleme hatası o kadar düşük olur (URL 1). Destek Vektör Makineleri verileri iki kategoriye ayıran n-boyutlu bir hiperdüzlem meydana getirir (Yakut vd., 2014: 143).



**Şekil 10.** Destek vektör makineleri marj sınırları gösterimi (URL 1)

Destek vektör makinelerinde karşılaşılabilecek durumlardan biri verilerin doğrusal olarak ayrılması, ikincisi ise doğrusal olarak ayrılmaması durumudur. Doğrusal olarak ayrılabilme, iki verininde aşırı düzlem ile ayrılmasıdır. SVM'lerin amacı, bu düzlemin iki farklı sınıfta bulunan gruba aynı uzaklıkta olmasıdır (Şekil 11. a) . Verilerin iki sınıfa doğrusal olarak ayrılmadığı durumlarda olabilir. Bu duruma doğrusal olarak ayrılamama durumu denir (Yakut vd., 2014: 143) (Şekil 11.b).



**Şekil 11.** a) Doğrusal olarak ayrılan veriler (Yakut vd., (2014)'ten değiştirilerek yeniden çizilmiştir) b) Doğrusal olarak ayrılamayan veriler (Özkan, (2008)'ten değiştirilerek yeniden çizilmiştir.

İklim değişikliği ile beraber barajdaki su miktarının nasıl deęiőeceęi konusundaki sorunun giderilmesi için istatistiksel bir model olarak SVM yöntemi kullanılmıştır. İklim ve akarsu verilerinin kontrolüyle Doğancı Baraj havzası modellenmiştir. Destek Vektör Makine Öğrenmesi kullanılarak referans dönemi için gözlem verisine dayalı olarak yağış, buharlaşma ve akım değerleri ile baraj hacmi arasında istatistik model kurulmuştur. Daha sonra baraj hacminin geleceğe ait değerlerini elde etmek için RegCM4.4 verileri kullanılarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları temelinde gelecek için SVM vasıtasıyla baraj hacimleri hesaplanmıştır. Senaryolar temelinde elde edilen gelecek hacim miktarını kullanarak, barajdaki mevcut kullanılabilir su hesaplanmıştır.

#### **2.2.4. Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi (SRSI)**

Kuraklık, referans dönemine göre (genellikle uzun süreli ortalamalar şeklindedir) bir değişken üzerinde görülen eksiklik olarak tanımlanmaktadır (Pamuk vd, 2004: 99). Kuraklığın kümülatif olarak artması, başlangıç ve bitiş zamanının belli olmaması ve birden çok kaynağa etkisi, kuraklığı diğer doğal afetlerden farklı kılan en önemli özellikleridir (Turgu vd., :1). Kuraklık uzun zamanda ve yavaş gerçekteştiği için diğer doğal afetlerden farklıdır. Kuraklığın kesin olarak ne zaman ve nerede gerçekteşeceğini belirlemek mümkün olmamakla birlikte tahminler yapılabilir (Dinç vd., 2016: 280).

Bu tahminlerin yapılabilmesi için çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Bunlardan çalışma alanında kullanılan Standartlaştırılmış Reservoir İndeksi (Standardized Reservoir Supply Index) Gusyev ve arkadaşları (2015) tarafından kuraklık rezervuar verileri için geliştirilmiştir. SRSI, rezervuar su girişlerini ve mevcut su depolamasını içerir (Gusyev vd., 2015: 1587). Gusyev vd (2015) tarafından önerilen yöntemde Standart Yağış İndisi (McKee vd., 1993) tarafından benzer şekilde bir prosedürle rezervuardaki kuraklık hesaplanır, ancak baraj hacmine ek olarak baraj öncesi akarsu akım verisi de baraja eklenir. Bu tez çalışmasında, var olan baraj hacmi bir nihai ürün olduğu için yağış, buharlaşma ve akım değerlerine ait veriler baraj hacmine eklenip çıkarılmadan sadece baraj hacmini kullanıp SPI'deki metodoloji doğrudan hacim verilerine uygulanıp kuraklıklar hesaplanmıştır. Öte yandan bu yöntemin bir diğer avantajı, baraj hacimlerine ait anomalilerin sadece negatif yani kurak döneme ait aynı zamanda pozitif olan diğer bir deyişle nemli koşullarını da yansıtmasıdır. Dolayısıyla, girişte geniş bir şekilde üzerinde durulan taşkın konusunda baraj hacmini aşması

muhtemel pozitif anomaliler de bu Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi vasıtasıyla tespit edilecektir.

SRSI indisi-Standart Yağış İndisi (SPI) ile birebir aynı olup, aylık ortalama hacim rezervuar verilerinin standart olasılık dağılımı ile yapılır. Yönteme ait eşitlikler Türkeş ve Tatlı (2010) temelinde açıklanmıştır. Hesaplama yöntemi SPI ile aynı olmasına rağmen, buharlaşmayı dikkate aldığı için önemlidir (Akramy, 2020: 35) SRSI formülü için öncelikle gama yoğunluk fonksiyonu hesaplanır (Thom, 1966):

$$f(y) = \frac{(y/\beta)^{a-1} \exp(-y/\beta)}{\beta \Gamma(a)}, y, a, \beta > 0 \quad \text{Eşitlik 5}$$

Gama Olasılık Yoğunluk Fonksiyonundaki (OYF) işaretçiler, sırasıyla  $a$  ve  $\beta$  şekil ve ölçek parametreleridir.

Gama fonksiyonu,  $\Gamma(a)$ ,

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt \quad \text{Eşitlik 6}$$

şeklinde belirtilebilir.

Gama OYF'nin şekil ve ölçek parametreleri,  $\bar{y}$  ve  $\bar{g}$  yağış verisinin aritmetik ve geometrik ortalamasını temsil etmek için yaklaşık olarak hesaplanır (Thom, 1966; Wilks, 1995):

$$D = \ln(\bar{y} / \bar{g}) \quad \text{Eşitlik 7}$$

$$\hat{a} = \frac{1 + (1 + 4D/3)^{1/2}}{4D}$$

$$\beta = \frac{\bar{y}}{\hat{a}} \quad \text{Eşitlik 8}$$

Gama olasılık yoğunluğu hesaplanan yağış verileri daha sonra ters standart normal dağılım fonksiyonu vasıtasıyla standardize edilir ve Tablo 3’te görülen kuraklık sınıfları elde edilir.

**Tablo 3.** Kuraklık Sınıflandırması (Gusyev vd., 2015).

SRSI Değerleri	Kuraklık Kategorisi
$2 \leq$	Aşırı Nemli
1.99 - 1.5	Çok Nemli
1.49 – 1.0	Orta Nemli
0.99 – (-0.99)	Normal Civarı
(-1.0) – (-1.49)	Orta Kurak
(-1.5) – (-1.99)	Çok Kurak
$-2 \geq$	Aşırı Kurak

Çalışma alanı için bu bilgiler doğrultusunda kullanılmış, Standartlaştırılmış rezervuar indisleri gözlemlemek için 1, 3, 6, 9, 12. aylar seçilmiştir. Böylelikle çalışma alanının kuraklıkları belirlenmiştir.

### 2.2.5. Mann–Whitney U Test

Rastgele seçilen iki örneklemin birbiriyle farkı olup olmadığının test edilmesi istatistik açısından temel problemlerden biridir (Buyse, 2010: 3245). Mann–Whitney U testi (Wilcoxon testi yahut Wilcoxon-Mann-Whitney testi), tek değişkenli durumlarda en popüler iki örneklemlerden biridir. Sadece gözlem sınırını kullanır ve bu sebeple gözlemlerin ekstrem değerlerine karşı duyarlıdır. Test rastgele seçilen iki örneklemin dağılımının aynı şekle sahip olduğunu varsayarak, konumlarında aynı olup olmadığını sınırlar (Liu vd., 2022: 1). Mann–Whitney U testi, alınan örneklemin normal dağılıma uyduğu varsayımında bulunmadan, “iki bağımsız değişkenin aynı gruptan geldiği” hipotezini test etmek için kullanılır (Miller ve Miller, 2006: 552). Sıfır hipotezinde karşılaştırılan örneklemelerin geldikleri grupların varyanslarının eşit olduğu varsayımına ve rank hesabına dayanır (Kasuya, 2001: 1247). Test hesaplanırken örneklem değerleri büyüklük deceresine göre sıralanır ve rank numarası verilir. İki örneklemin ortalamalarında bir fark varsa, küçük rankların birçoğunun bir örnekleme, büyük ranklarında diğer örnekleme gitmesi beklenir (Bindak, 2014: 7). Bu çalışmada, Doğancı Barajına ait kurak ve nemli dönemlere ait indis verilerinin referans dönemine göre yakın ve uzak gelecek verileri ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını anlamak için Mann–Whitney U testi kullanılmıştır.

### 2.2.6. Nüfus Projeksiyonları

Nüfus, genellikle sınırları belli olan bir bölgede, belli bir zaman diliminde yaşayan insan sayısı olarak tanımlanır (Sertkaya Doğan ve Bostan, 2019: 63). Nüfus, geçmişten bugüne ülkelerin üzerinde araştırmalar yaptığı ekonomik ve sosyal planlamalarda en önemli kriteri oluşturan dinamik bir olgudur (Sertkaya Doğan, 2018: 27). Var olan kaynakların sürdürülebilir kullanımı, kentsel ve kırsal alanları gelecekteki ihtiyaçlara yanıt verebilmeleri için gelecek yıllara ait nüfusun gerçeğe en yakın şekilde projeksiyonun yapılması gerekir (Ayhan, 2014: 100). Nüfus Projeksiyonu doğum, ölüm ve göç hareketlerinin ileride meydana gelecek değişimleri ile ilgili varsayımlara dayanarak gelecekte nüfusta oluşacak değişimler hakkında tahminlerde bulunulmasıdır (Kocaman, 2002: 2). Nüfusun projeksiyonu yapmak için kullanılan birçok yöntem vardır (URL 5). Nüfus projeksiyonlarında en çok matematiksel yöntemler kullanılır (Kocaman, 2002: 2).

Matematiksel yöntemler kullanılarak, nüfus büyüklüğü zamanın bir fonksiyonu olarak alınıp uygun olan formülü kullanarak iki sayım yılı arasındaki yıllık nüfus artış hızı ile sayım arasında tek yılların nüfus tahminleri yapılabilir (Kocaman, 2002: 3). Matematiksel yöntemlerin yapıldığı çeşitli formüller vardır. Bu formüllerden çalışma alanı için nüfus tahmininde Aritmetik Büyüme Modeli (*İng.* Arithmetic Growth Model) ve Üstel Büyüme Modeli (*İng.* Exponential Growth Model) kullanılmıştır (Aryal, 2020: 58).

Aritmetik Büyüme Modeli

$$P_t = P_0(1 + rt) \quad \text{Eşitlik 9}$$

Üstel Büyüme Modeli

$$P_t = P_0 e^{rt} \quad \text{Eşitlik 10}$$

$P_t$  = güncel yıl nüfusu

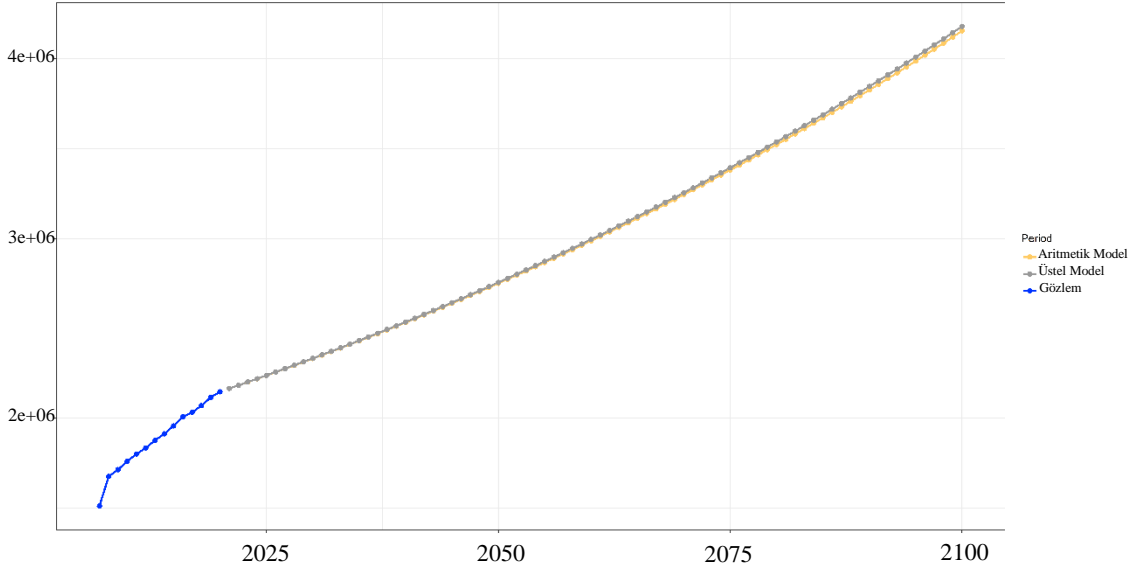
$P_0$  = temel yıl nüfusu

r = büyüme oranı

t = zaman aralığı (yıl olarak)

e = doğal logaritmaların tabanı

Bu formüller kullanılarak, kent merkezi gözlem nüfusu referans alınıp 2100 yılına kadar nüfus modellenmiştir (Şekil 12).



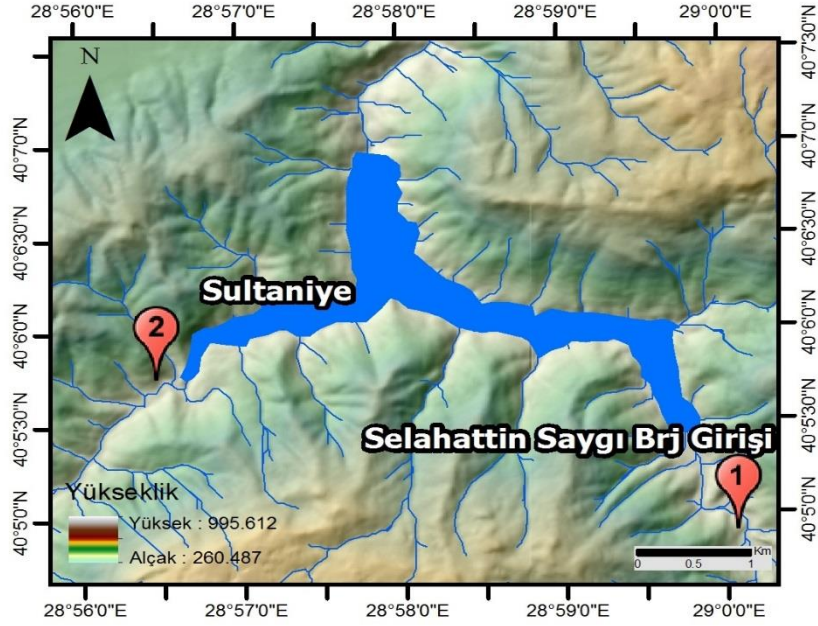
**Şekil 12.** Aritmetik Büyüme Modeli ve Üstel Büyüme Modeli kullanılarak 2100 yılına kadar tahmin edilen Bursa kent merkezi nüfusu gösterim grafiği

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Yağış-Akış Ve Makine Öğrenmesi Modeli Sonuçları

Çalışma alanının akış değerlerini elde etmek için SCS-CN yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanına düşen yağışın önceki nem koşullarını dikkate alarak, yağın yağışın ne kadarının sızmaya uğradığı, ne kadar kısmının yüzeysel akışa ve dolayısıyla da kanal akışına geçtiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu model kullanılarak çalışma alanı havzasının akım değerleri yağış-akış ilişkisi kurularak elde edilmiştir. Devlet Su İşleri'den (DSİ) D03A044 (Nilüfer Ç. Selahattin Saygı Brj. Girişi) ve D03A056 (Sultaniye D. Sultaniye) istasyonları kullanılmıştır. Selahattin Saygı baraj girişi istasyonu için 2004-2009, Sultaniye istasyonu için 2004-2007 yılları arasındaki akım gözlem yıllıkları kullanılmıştır (Şekil 13).

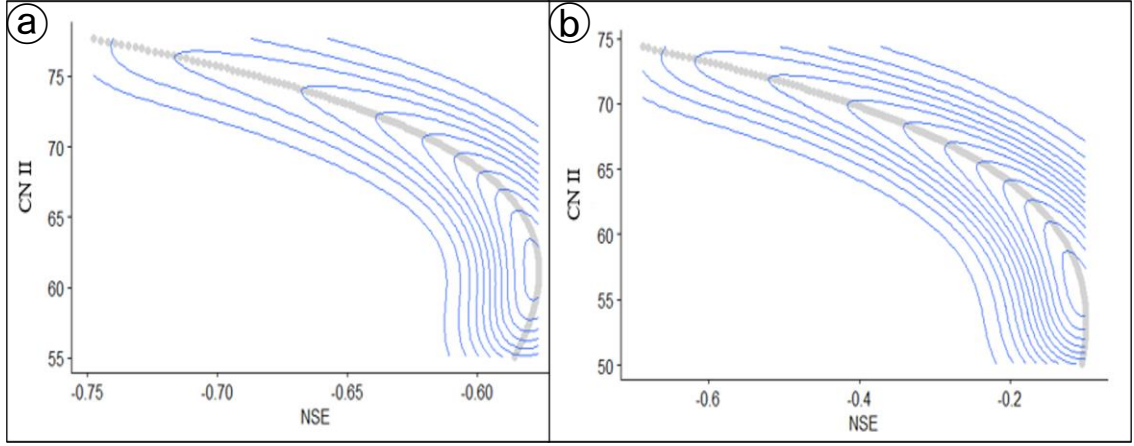


Şekil 13. Selahattin Saygı Baraj Girişi ve Sultaniye istasyonları lokasyon haritası

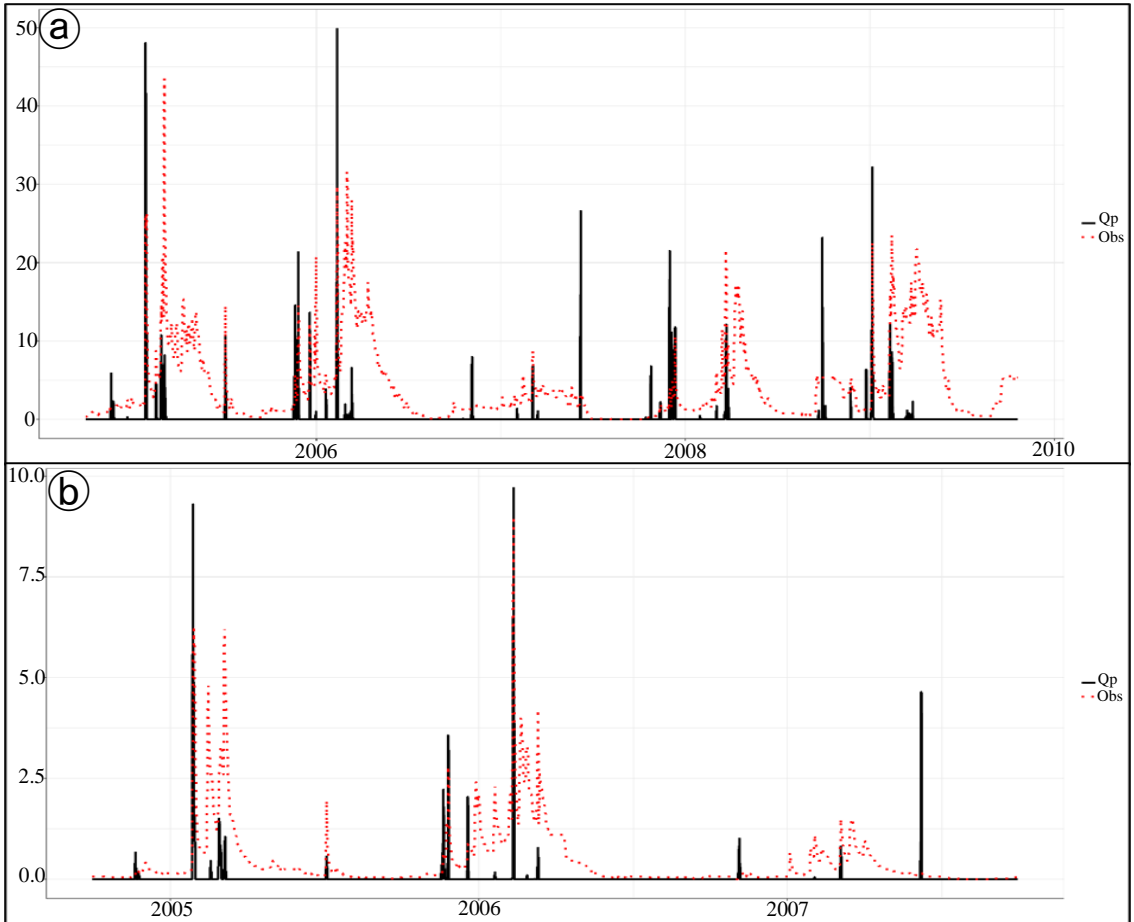
Gözlemlenen ve modellenen veri arasında manuel kalibrasyon yapılmıştır. Tek değişken olan CN II değerleriyle üzerinde değişiklik yaparak NSE değeri 1'e en yakın CN II değeri kullanılmıştır. Buna göre NSE eğrisinin CN II değeri değiştiğinde sabit kaldığı andan itibaren ilk değer alınmıştır ve bu değer Selahattin Saygı Baraj Girişi için 61.95 CN II, Sultaniye istasyonu için 53.96 CN II'dir. Bu değerlerin karşılık geldiği NSE



değerleri ise Selahattin Saygı Baraj Girişi -0.576, Sultaniye istasyonu -0.100'dür (Şekil 14 a, b).



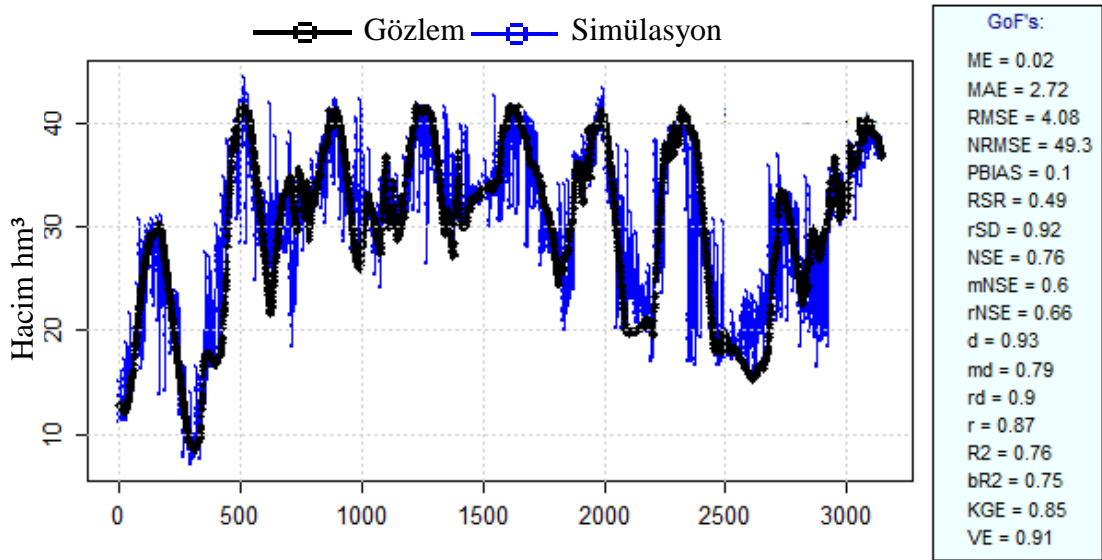
Şekil 14. a) Selahattin Saygı Baraj Giriş istasyonu b) Sultaniye istasyonu CN II ve NSE değerleri gösterim grafiği



Şekil 15. a) Selahattin Saygı Baraj Giriş istasyonu b) Sultaniye istasyonu gözlemlenen ve modellenen verilerin gösterim grafiği

Şekil 15'e bakıldığında Selahattin Saygı Baraj Girişi ve Sultaniye istasyonlarında gözlem ve modellenen akım arasında bir uyum olduğu gözlemlenir. Özellikle modellenen elde edilen günlük Q<sub>pik</sub>'lerin iniş ve çıkışları yada diğer bir deyişle trendi gözlem ile elde edilen sonuçlara büyük bir uyum sağlar. Öte yandan Selahattin Saygı Baraj Girişi istasyonunda 2005, 2006 yıllarında bazı pik akımların yakalanmadığı farklılıkların olduğu görülür özellikle belirgin farklılık 2007 yılında göze çarpar. Sultaniye istasyonunda ise 2006 yılında pik akımların yakalandığı görülürken 2007 yılında gözlem ve modellenen arasındaki akım değerlerinin farklılığı belirgindir.

Destek Vektör Makinesi (SVM) kullanılarak referans dönemi için gözlem verisine dayalı olarak yağış, buharlaşma ve akım değerleri kullanılarak baraj hacmi arasında istatistiksel model kurulmuştur. Bu işlem yapılırken caret paketi (Kuhn, 2008) ve e1071 paketleri (Dimitriadou vd., 2006) kullanılmıştır. Daha sonra istatistik model kalibre edilmiştir. Test ve eğitim verileri karşılaştırılmış ve tuning işlemi yapılmıştır. Kalibrasyon değeri NSE 0.76'dır. PBIAS değeri ise 0.1'dir. Buradaki tüm parametreler baraj hacminin oldukça iyi modellendiğini gösterir (Şekil 16).

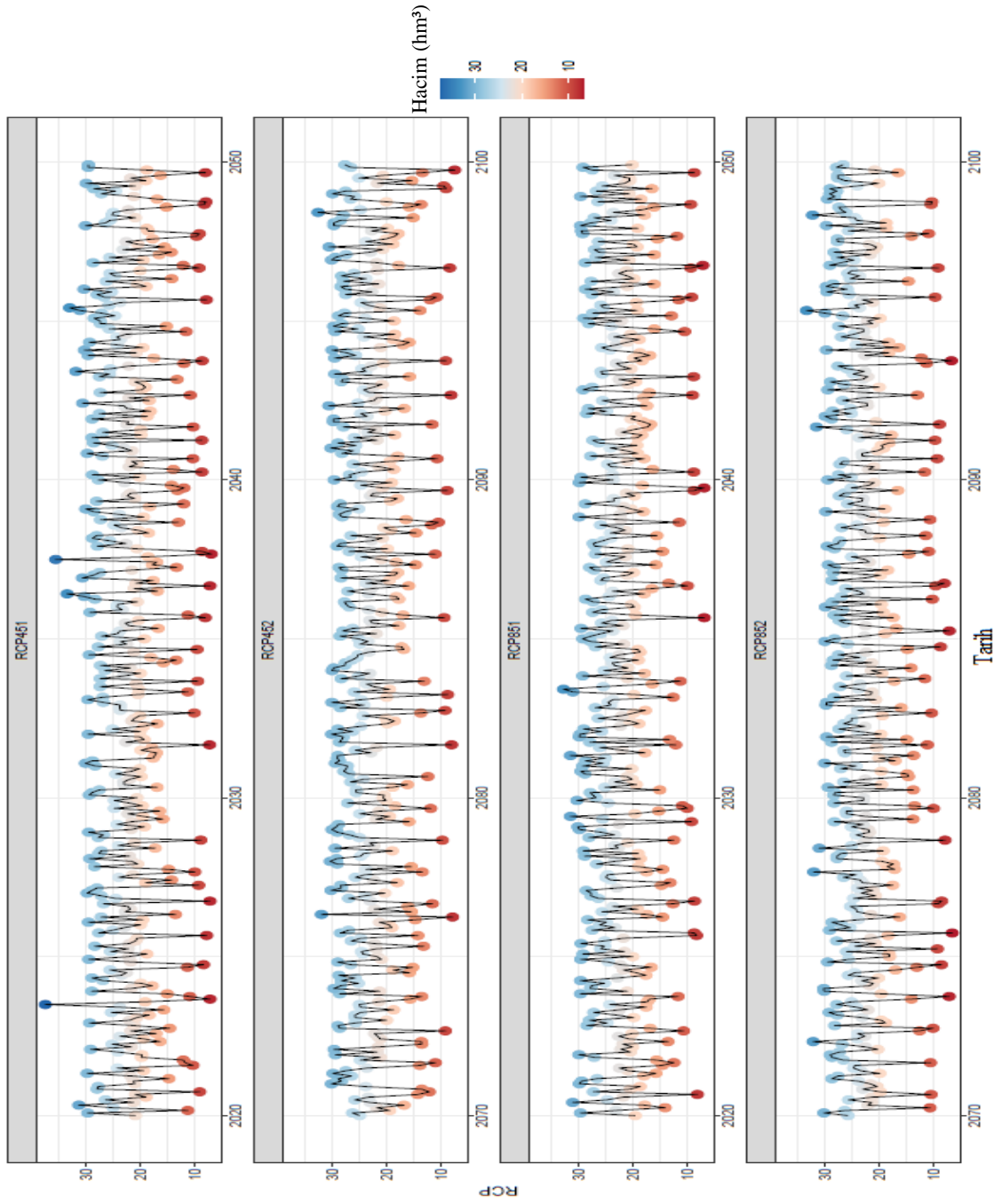


Şekil 16. İstatistiksel model kalibrasyon sonuçları

### **3.2. Doğancı Barajında Kuraklığın Zamansal Değişimi**

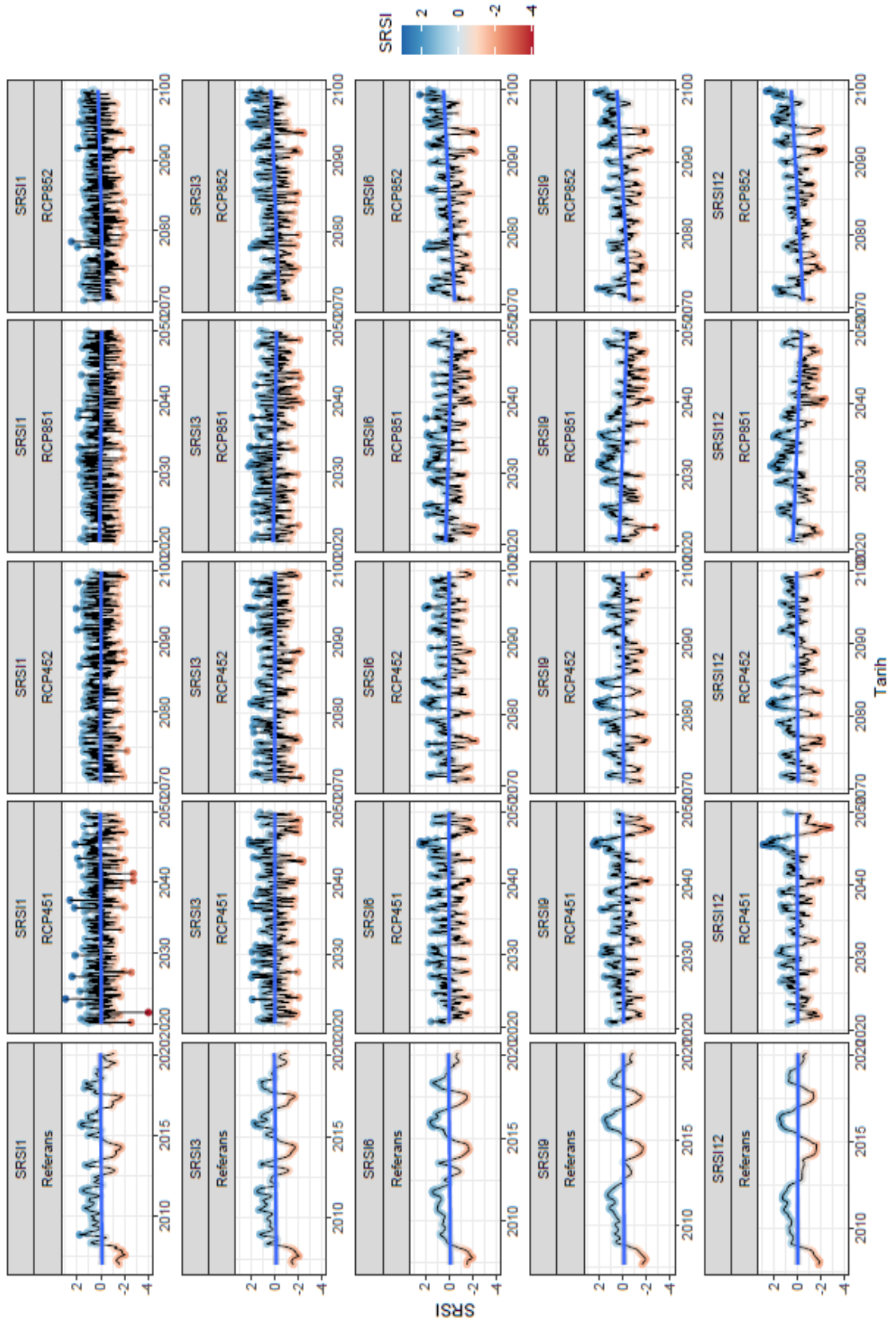
Baraj hacminin geleceğe ait değerlerini elde etmek için RegCM verileri kullanarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo temelinde gelecek için SVM vasıtasıyla baraj hacimleri hesaplanmıştır. Ayrıca, her senaryoda 2020-2049 ile 2070-2099 normalleri kullanılmıştır. Grafikler üzerinde birinci gelecek dönem RCP451/RCP851 ve ikinci dönem ise RCP452/RCP852 şeklinde olmak üzere gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksine (SRSI) dönüştürülerek geleceğe ait kurak ve nemli dönemler ortaya konulmuştur. Standartlaştırılmış Rezervuar indisleri gözlemlemek için 1, 3, 6, 9, 12. aylar seçilmiştir. Böylelikle çalışma alanının kuraklıkları belirlenmiştir.

Bölgesel iklim modeli çıktılarına bakıldığında Doğancı Baraj havzasında RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda artış trendi görölmüş olup, 2 tane baraj taşkını oluşturabilecek uç değer belirlenmiştir. Ancak bu durumdan gelecekte taşkın olacağından ziyade bu potansiyeli taşıdığı anlamı çıkarılmalıdır. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında genel olarak hacim miktarlarında azalma görölmüştür (şekil 17).



**Şekil 17.** RegCM4.4 bölgesel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo çıktıları

Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak, referans dönemine göre, 1,3,6,9,12. aylar seçilerek, RCP 4.5 ve RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları zaman serisi grafikleri kullanılarak incelenmiştir. Uzun yıllar arasındaki değişkenlik incelenmiştir (Şekil 18).

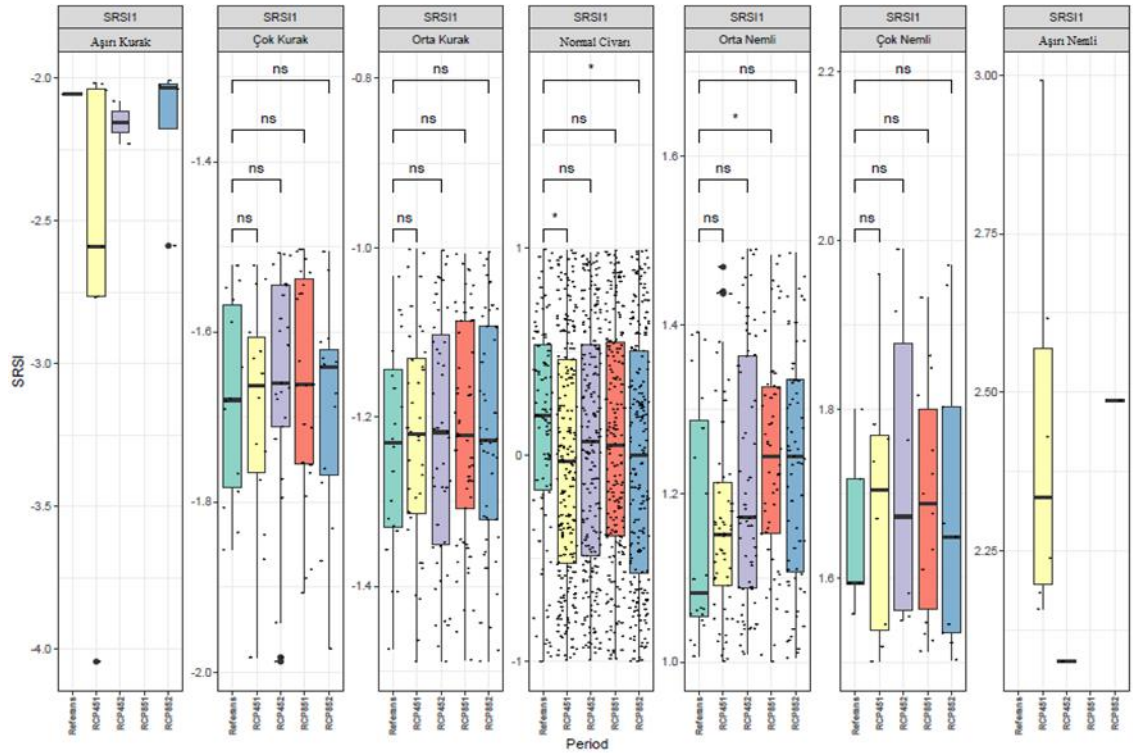


Şekil 18. Standartlaştırılmış rezervuar indisi, 1,3,6,9,12. ayların referans dönemine göre zaman serisi grafikleri

Bu çalışma sonucunda referans dönemi ile karşılaştırıldığında kuraklıkların arttığı aynı zamanda kuraklıkların ekstrem koşullarında değerlerin arttığı belirlenmiştir. SRSI 1, RCP 4.5 yakın gelecek ve RCP 8.5 uzak gelecek senaryolarında ekstrem kuraklık ve nemlilik değerleri görülmüştür. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda kurak döneme gidiş tespit edilmiştir. RCP 4.5 uzak gelecek ve RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda kurak ve nemli dönemler birbirini izlemiştir. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunun ilk döneminde önce kuraklığa gidişat gösterirken sonrasında ise ikinci dönemde nemli trende doğru gidişat göstermiştir.

Doğancı Barajı havzası için, Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak, 1,3,6,9,12. aylar için SRSI kuraklık ve nemlilik sınıflandırması yapılmıştır. Her kategori için box-plot grafiği yapılmış ve istatistiki olarak karşılaştırılmıştır. Referans dönemi ile yakın ve uzak gelecek senaryoları arasında anlamlı bir değişken olup olmadığını anlamak için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Doğancı Barajı havzasında, Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak 1 aylık değişimler incelenmiştir. Referans dönemi ile tüm senaryolar karşılaştırılmış ve istatistiki olarak aşağıda incelenmiştir (Şekil 19).

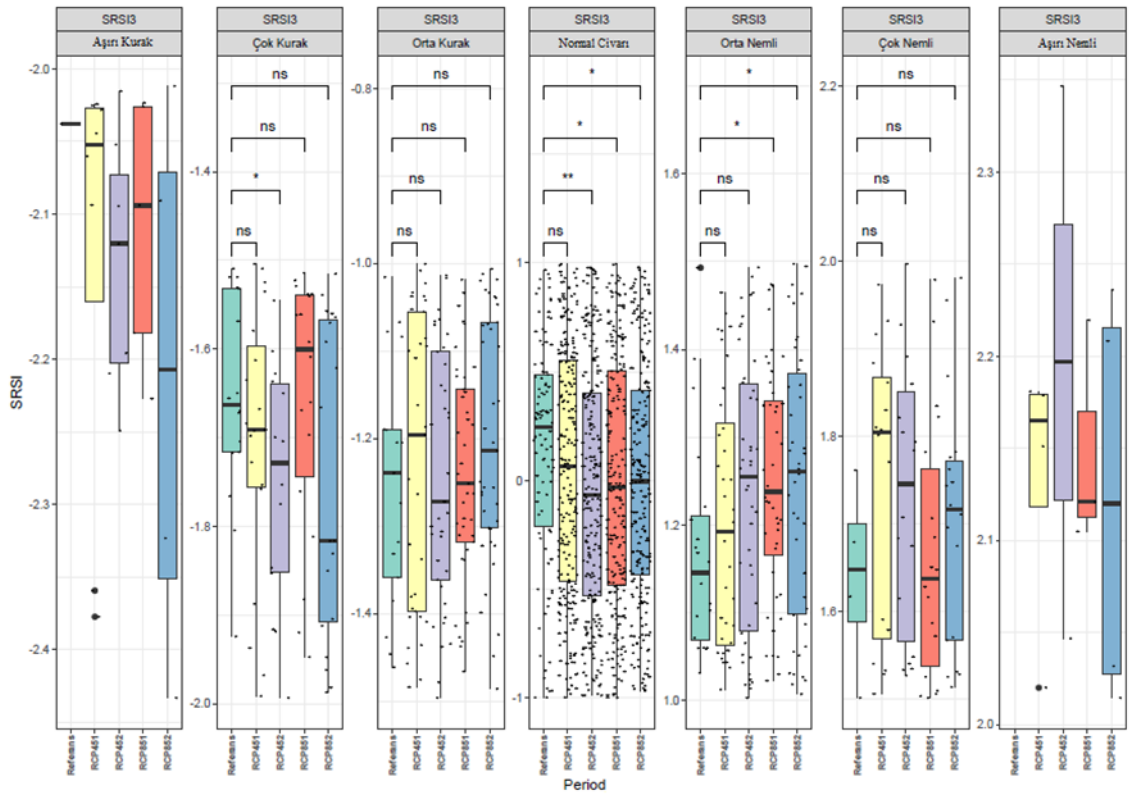


Şekil 19. Doğancı Barajı SRSI 1 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği

SRSI 1 grafiği incelendiğinde verilerin en fazla dağılış gösterdiği sınıf normal civarıdır. Bu sınıf incelendiğinde referans dönemine göre ortalama değerlerinde azalma yani kurak döneme doğru bir gidiş saptanmıştır. Ayrıca referans dönemine göre tüm senaryoların varyansında artış olduğu gözlenir. Normal sınıfta referans dönemine göre gelecekte kurak döneme gidildiği gözlenir. Kurak ve nemli sınıflar karşılaştırıldığında kuraklıklardaki veri sayısı nemli sınıflara göre daha fazla olduğu görölmüştür. Bu durum çalışma alanının kuraklığa gidişat gösterdiğinin kanıtıdır. İstatistiksel olarak anlamlı değişim nemli sınıflarda mevcuttur. Öte yandan SRSI 1 sınıflarındaki dönemlere bakıldığında, aşırı kurak sınıfta referans dönemi ile kıyaslandığında neredeyse referans döneminde bu kategori yok denecek kadar azdır. Ancak RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda hem varyansında artış gözlenirken hem de uç değerler göze çarpar. şiddetli kuraklık oluşturabilecek değerler mevcuttur. RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda referans dönemine göre varyansında ve kuraklığında artış gözlemlenir. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda bu sınıf gözükmezken, RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda referans dönemine göre hem kuraklıklarda artış gözlenir hem de uç değerler vardır. Çok kurak sınıflandırmasında referans dönemi ile kıyaslandığında tüm senaryoların medyan değerlerinin daha az kurak olmaya doğru gittiği görülür. Özellikle RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda bu durum görülür. RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları ile RCP 8.5 uzak gelecek senaryolarında ekstrem değerlerin varlığı söz konusudur. Orta kurak sınıf incelendiğinde referans dönemi ile karşılaştırıldığında ortalama değerlerin daha az kurak olmaya gittiği görülürken, tüm senaryolarda varyanslarında artış söz konusudur özellikle RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda bu durum göze çarpar. Normal civarı sınıfa bakıldığında referans dönemine göre ortalama değerlerde azalma göze çarpar. Ayrıca referans dönemine göre tüm senaryoların varyansında artış olduğu gözlenir. Orta nemli sınıf incelendiğinde referans döneminde orta nemli sınıfın ortalamasının çok az olduğu görülürken, tüm senaryoların ortalamasında artış görülür. Özellikle RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında verilerin nemlilik değerlerinde artış görülür. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ekstrem değerlerin varlığı söz konusudur. Çok nemli sınıfa bakıldığında referans döneminin varyansının azlığı göze çarparken ortalama değeri çok azdır. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda hem ortalama hem de varyans değerlerinde artış söz konusudur. Diğer senaryolarda da ortalama ve varyans değerlerinde referans dönemine göre

nemlilik artışı vardır. Ayrıca senaryolarda uç değerler göze çarpar. Aşırı nemli sınıf incelendiğinde referans döneminde bu değer hiç görülmemiştir. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosu nemlilik değerleri fazladır. Bu da gelecek açısından baraj taşkını oluşturabilecek düzeydedir. RCP 4.5, RCP 8.5 uzak gelecek senaryolarında bu kategori çok az düzeyde vardır. RCP 8.5 yakın gelecekte ise hiç görülmemiştir.

Doğancı Barajı havzasında, Standartlaştırılmış indisi kullanılarak 3 aylık değişimler incelenmiştir. Referans dönemi ile tüm senaryolar karşılaştırılmış ve istatistiki olarak aşağıda incelenmiştir (Şekil 20).



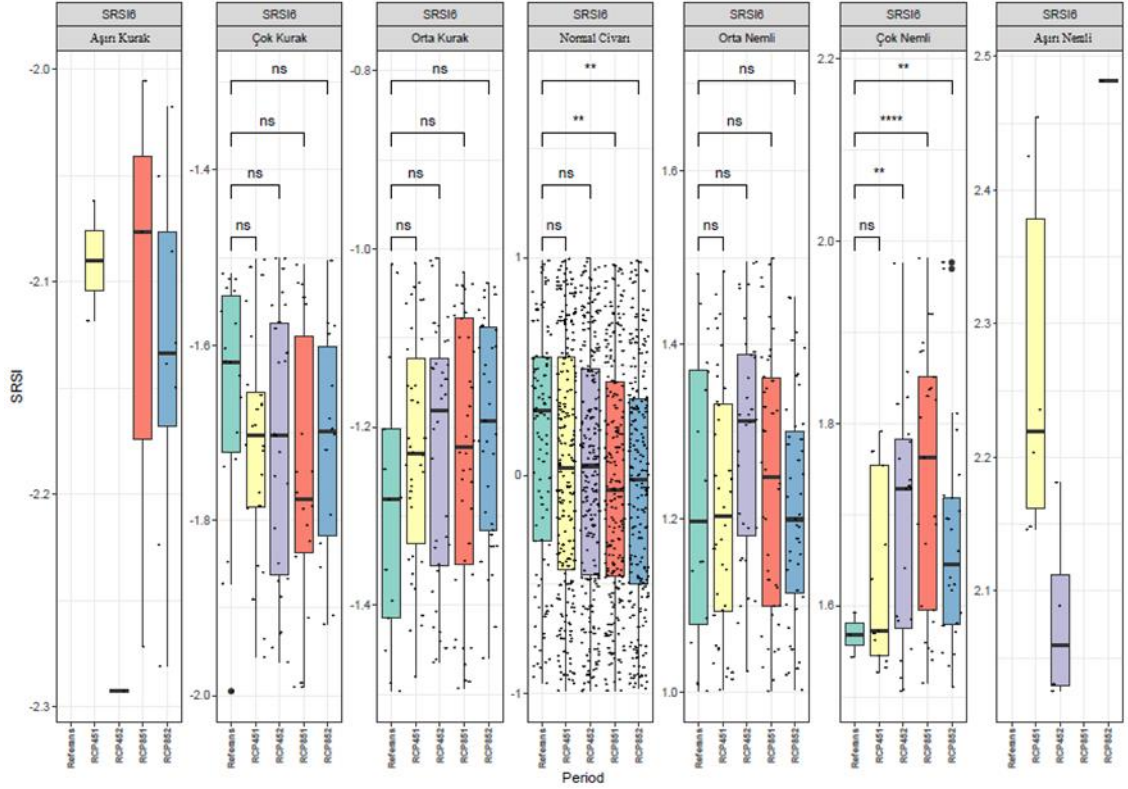
**Şekil 20.** Doğancı Barajı SRSI 3 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği

SRSI 3 grafiğinde normal civarı sınıf verilerin en fazla dağılışı gösterdiği sınıf olduğu için önem arz etmektedir. Normal sınıf incelendiğinde referans dönemine göre kuraklıkların ortalamalarının azaldığı görülür. Referans dönemi ile kıyaslandığında kuraklıkların arttığı gözlenmiştir. Öte yandan SRSI 3 sınıflardaki dönemlere bakıldığında aşırı kurak sınıfta referans dönemi neredeyse yok denecek kadar azdır. Ama senaryoların hepsinin varyansında artış vardır. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerinde artış vardır. Ayrıca RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda uç değerler göze çarpar. Çok kurak sınıfta referans dönemi ile



kıyaslandığında RCP 8.5 yakın gelecek haricinde ortalama değerlerde azalış görülür. Referans dönemine göre RCP 8.5 yakın gelecek senaryosu haricinde kuraklıkların arttığı görülür. Orta kurak sınıflandırmaya bakıldığında, referans dönemi varyansının az olduğu görülür. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda hem ortalama değerlerde hem de varyansında referans dönemine göre artış görülür. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın gelecekte senaryolarında ortalama değerlerinin referans dönemine göre azaldığı görülürken varyanslarının da arttığı görülür. Normal civarı sınıflandırmaya bakıldığında, referans dönemi ortalamasının yüksek olduğu görülür. Senaryolar incelendiğinde referans dönemine göre ortalama değerlerde azalma görülürken varyans değerlerinde artış vardır. Orta nemli sınıfa bakıldığında, referans dönemi ile karşılaştırıldığında ortalama değerlerde artış görülür. Tüm senaryolarda referans dönemi ile kıyaslandığında varyanslarında artış görülür. Çok nemli sınıflandırma da ise referans dönemi ortalamasının düşük olduğu görülür. Referans dönemi ile kıyaslandığında RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek ile RCP 8.5 uzak gelecek senaryolarında ortalama değerlerde artış vardır. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda referans dönemine göre ortalamasında azalma vardır. Aşıırı nemli sınıflandırmaya bakıldığında, referans döneminde bu kategori hiç görülmemiştir. RCP 4.5 uzak gelecek senaryosu en yüksek ortalamaya sahiptir. Aynı zamanda uç değerin varlığı söz konusudur.

Doğancı Barajı havzasında, Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak 6 aylık değişimler incelenmiştir. Referans dönemi ile tüm senaryolar karşılaştırılmış ve istatistiki olarak aşağıda incelenmiştir (şekil 21).

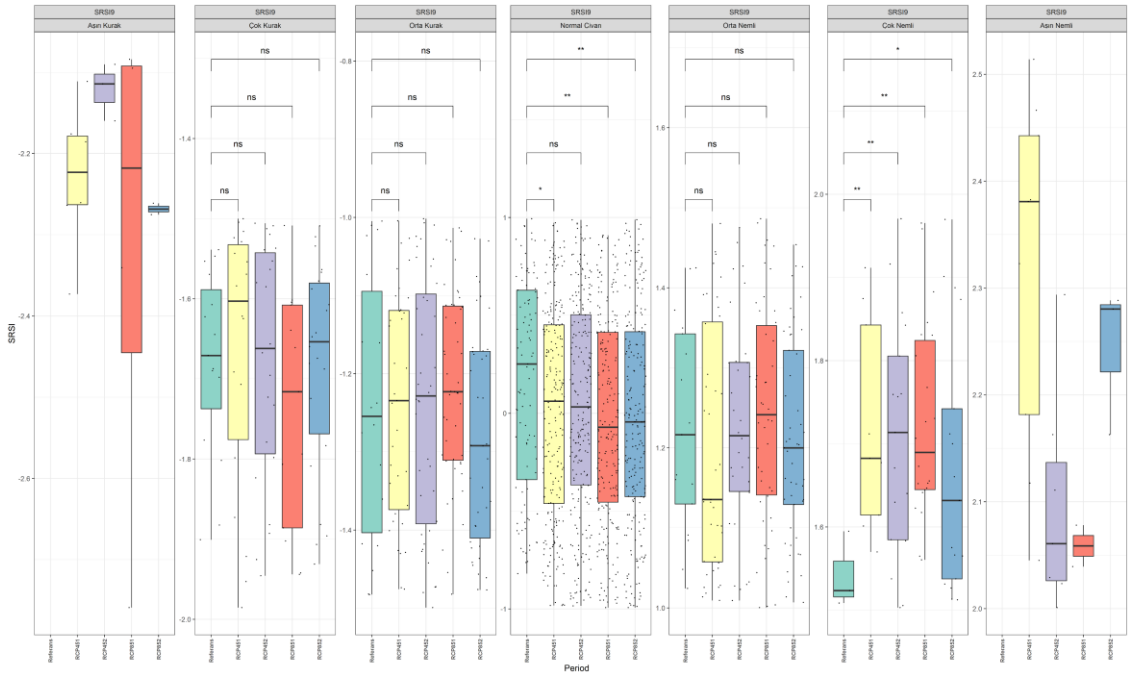


Şekil 21. Doğancı Barajı SRSI 6 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği

Grafik içerisinde verilerin dağılımının en fazla olduğu sınıf normal civarıdır. Bu sınıf incelendiğinde referans dönemine göre tüm senaryolarda kuraklıkların arttığı gözlenir. Kurak ve nemli sınıflar karşılaştırıldığında kurak sınıflarda verilerin daha fazla olduğu gözlenir. Nemli sınıflarda ise anlamlı değişim gözlenmiştir. SRSI 6 sınıflardaki dönemlere bakıldığında aşırı kurak sınıfta referans dönemine ait herhangi bir değer olmağı görülür. RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında varyanslarında artış vardır. Aynı zamanda uç değerler göze çarpar. RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda değerler yok denecek kadar azdır. Çok kurak sınıflandırmada ise referans dönemine göre senaryoların ortalamaların da azalma görülür. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarının varyanslarında artış vardır. Orta kurak sınıfta referans dönemine göre ortalama değerlerinde artış gözlenir. Referans dönemine göre senaryolar daha az kurak olma eğilimindedir. Normal civarı sınıflandırmaya bakıldığında referans ortalama değeri yüksektir. Senaryoların ortalama değeri referans dönemine göre düşüktür. Orta nemli sınıf referans dönemi ile kıyaslandığında RCP 4.5 uzak gelecek ile 8.5 yakın gelecek senaryolarında referans dönemine göre ortalama değerlerinde artış görülür. Çok nemli sınıflandırma incelendiğinde referans dönemi varyansının azlığı göze çarpar. Senaryolara bakıldığında referans dönemi ile kıyaslandığında varyansları

fazladır. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değeri referans dönemi ile neredeyse aynıdır. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında referans dönemine göre ortalama değerlerde artış gözlenir. RCP 4.5 uzak gelecek ve RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryoların da uç değerlerin varlığı söz konusudur. Aşırı nemli sınıfa bakıldığında referans dönemi ile ilgili herhangi bir değer yoktur. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerin ve varyansının fazla olduğu görülür. Ayrıca uç değerler mevcuttur. RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda ortalama değer azdır. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda herhangi bir değer olmazken, RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda ekstrem denilebilecek değer göze çarpar.

Doğancı Barajı havzasında, Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak 9 aylık değişimler incelenmiştir. Referans dönemi ile tüm senaryolar karşılaştırılmış ve istatistiki olarak aşağıda incelenmiştir (Şekil 22).

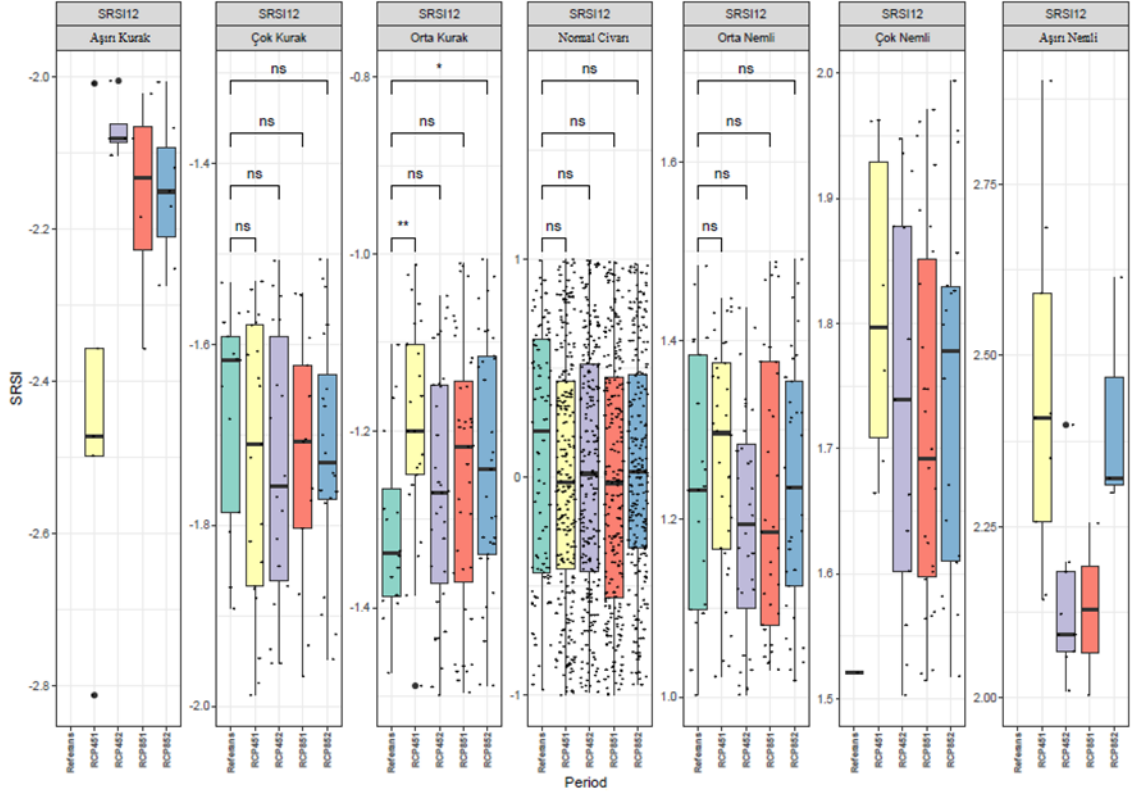


**Şekil 22.** Doğancı Barajı SRSI 9 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği

Normal civarı sınıf, verilerin en fazla dağılım gösterdiği sınıf olduğu için önemlidir. Bu sınıf bakıldığında referans dönemine göre tüm senaryoların ortalama değerlerinde azalma görülmüştür. Senaryolar da kuraklık değeri artmıştır. Kurak ve nemli sınıflar karşılaştırıldığında kurak sınıflardaki verilerin daha fazla olduğu görülür. Öte yandan SRSI 9 sınıflardaki dönemlere bakıldığında aşırı kurak sınıf incelenildiğinde referans

döneminde herhangi bir değer yoktur. RCP 4.5 ve RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerler daha fazla kurak olmaya gidişat gösterir. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunun varyansının az olduğu görülürken aynı zamanda daha fazla kurak olma durumundadır. Çok kurak sınıflandırmaya bakıldığında referans dönemi ortalaması ile kıyaslandığında RCP 8.5 yakın gelecek senaryosu hariç, daha az kurak olmaya doğru bir gidişat gösterir. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosu referans dönemine göre ortalama değer azalmış olup, kuraklık değerleri artmıştır. Orta kurak sınıflandırmada ise referans dönemine göre RCP 8.5 uzak gelecek senaryosu hariç diğer tüm senaryoların ortalama değerleri daha az kurak olma eğilimindedir. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda referans dönemine göre ortalama değerinde azalma görülürken, kuraklık artışı görülür. Normal civarı sınıflandırmaya bakıldığında referans döneminde ortalama değerlerde artış gözlenir. Referans dönemi ile kıyaslandığında tüm senaryolarda ortalama değerlerde azalma görülür. Tüm senaryolara bakıldığında kurak olma eğilimleri yüksektir. Orta nemli sınıfta ise referans dönemi ile kıyaslandığında RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerde azalış görülürken, varyansında artış vardır. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda referans dönemine göre ortalama değerlerde artış görülür. Bu da nemli döneme doğru bir gidişat olduğunun göstergesidir. Çok nemli sınıflandırmada referans döneminde varyans ve ortalama değerlerinde azalış söz konusudur. Diğer tüm senaryolarda ortalama değerlerde ve varyanslarında artış söz konusudur. Senaryolarda nemli döneme doğru bir gidişat vardır. Uç değerlerin varlığı söz konusudur. Aşırı nemli sınıfa bakıldığında referans döneminde bu değer hiç görülmez. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerlerde artış söz konudur. Aynı zamanda uç değerler vardır. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosu kadar olmasa da RCP 4.5, RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda varyanslarında artış vardır.

Doğancı Barajı havzasında, Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak 12 aylık değişimler incelenmiştir. Referans dönemi ile tüm senaryolar karşılaştırılmış ve istatistiki olarak aşağıda incelenmiştir (Şekil 23).



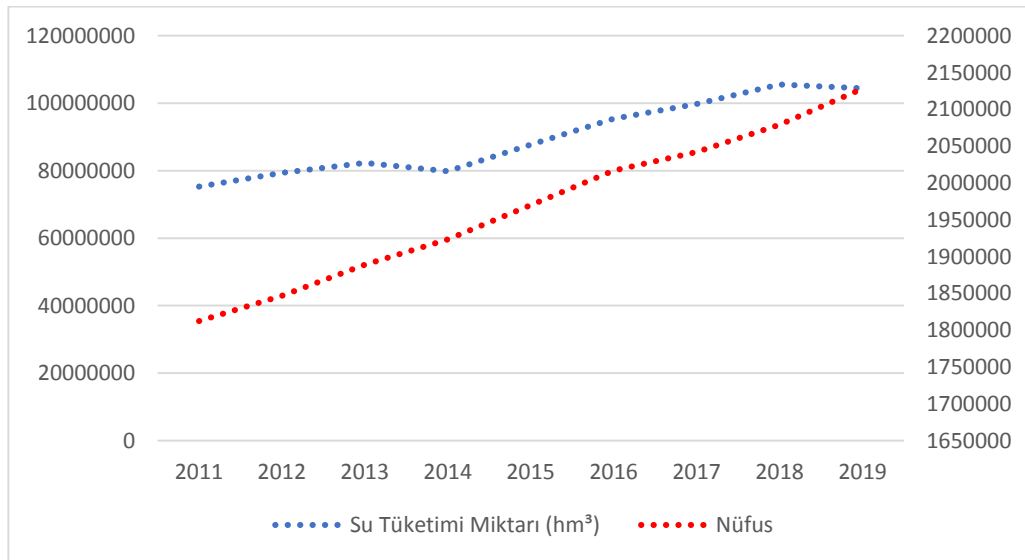
**Şekil 23.** Doğançı Barajı SRSI 12 kuraklık sınıflaması box-plot grafiği

SRSI 12 grafiği incelendiğinde en fazla verinin dağılış gösterdiği sınıf normale yakındır. Normal sınıf incelenildiğinde referans dönemine göre verilerin ortalamalarında azalmalar görülmüş ve kuraklık artışları belirlenmiştir. Kurak ve nemli sınıflar karşılaştırıldığında en fazla verinin kurak sınıflarda olduğu görülmüştür. SRSI 12 sınıflardaki dönemlere bakıldığında aşırı kurak sınıflandırmasına bakıldığında referans döneminde bu değer hiç görülmez. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda kuraklık fazladır. Ayrıca uç değerler söz konusudur. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında kuraklık değerleri azalma eğilimindedir. Çok kurak sınıflandırmasına bakıldığında referans dönemi ile kıyaslandığında senaryoların hepsinde ortalama değerlerde azalma görülür. Senaryoların hepsi kurak olma eğilimindedir. Özellikle RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ekstrem değerler vardır. Orta kurak sınıflandırma da ise referans döneminde kurak döneme doğru bir gidişat gösterir aynı zamanda ortalama değerleri düşüktür. RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda nemli döneme doğru bir kayış vardır ve ortalama değeri yüksektir. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında ise referans dönemine göre ortalama değerlerinde artış görülür. Normale yakın sınıflandırmaya bakıldığında

referans döneminin ortalama değeri yüksektir. Nemli döneme doğru bir gidişat gösterir. Tüm senaryolar referans dönemi ile karşılaştırıldığında ortalama değerlerde azalış görülür. Orta nemli sınıflandırmada referans dönemine göre RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama değerlerde artış gözlenir. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda referans dönemine göre değerlerde azalış vardır. Çok nemli sınıflandırmaya bakıldığında RCP 4.5 yakın gelecek senaryosu en yüksek ortalamaya sahiptir. Tüm senaryolarda nemlilik artışı vardır. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda uç değerler söz konusudur. Aşırı nemli sınıflandırmada referans döneminde bu değer hiç görülmemiştir. RCP 4.5 uzak gelecek, RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda ortalama ve varyans değerlerinin azlığı dikkat çeker. Doğancı Barajındaki kurak ve nemli dönemler senaryolar doğrultusunda açıklanmıştır.

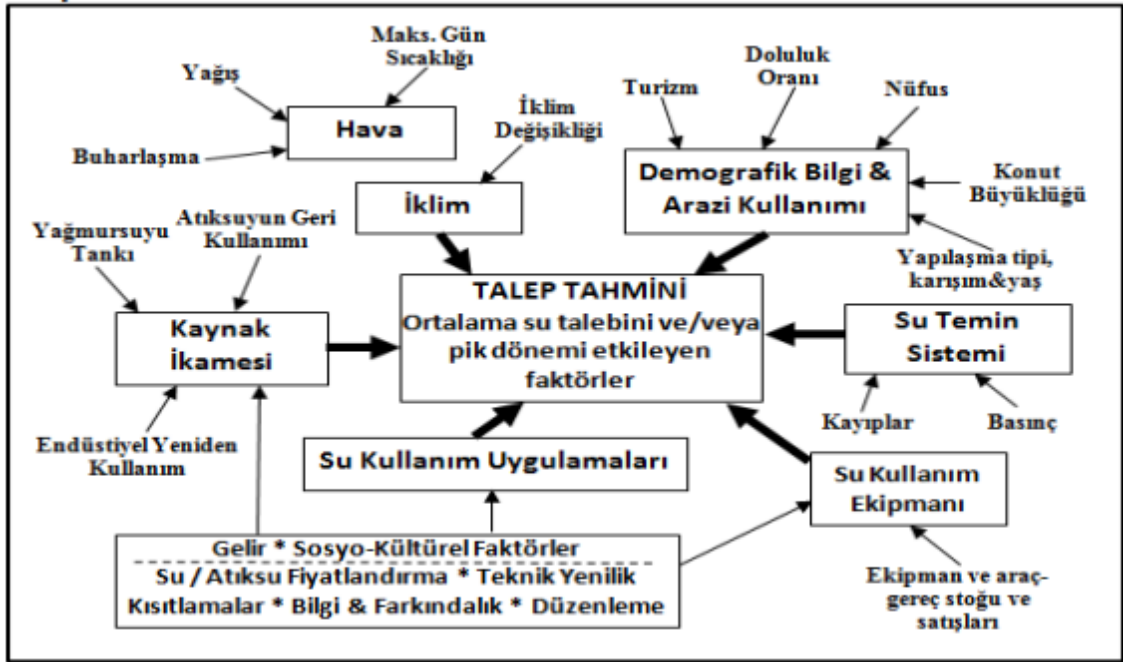
### 3.3. Su Kıtlığının Anlaşılması

Bursa ili kent merkezi için su sağlayan en büyük kaynak olan Doğancı Barajı havzasında, su kıtlığının anlaşılması, gelecek hakkında öngörülerde bulunmak amacıyla analizler yapılmıştır. Bu analizleri incelemeden önce mevcut durum ve gerçek gözlem verileri ile kuraklık ve su kıtlığı arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Şekil 24 incelendiğinde Bursa kentinde nüfusun su tüketimi hakkında iyi bir indakör görevi göstereceği aşikardır.



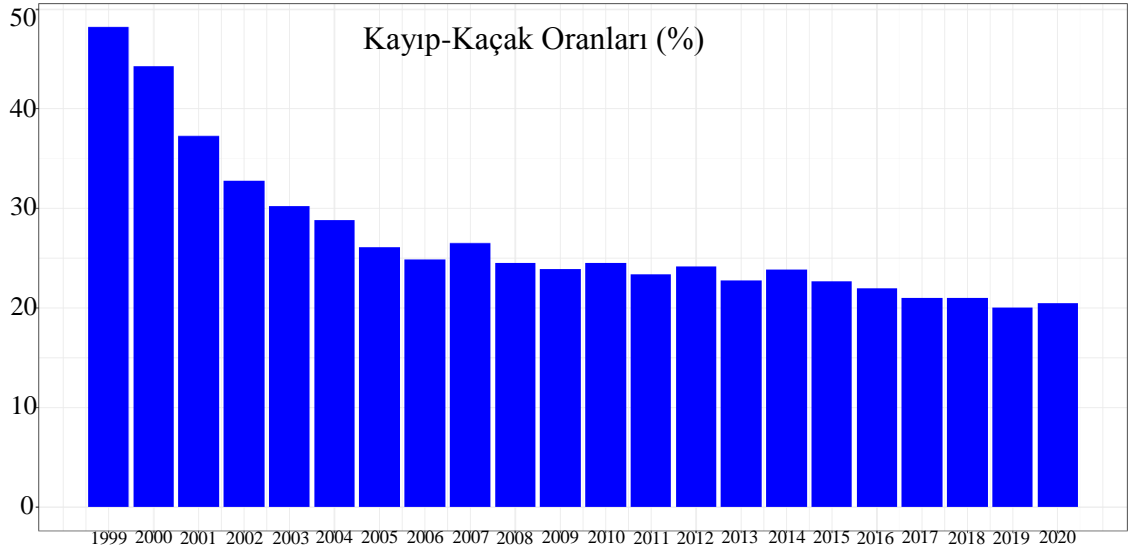
**Şekil 24.** Yıllara göre Bursa ili kent merkezinde su tüketim miktarı ve kent merkezi nüfus grafiği (Buski Faaliyet Raporlarından ve Tükük verilerinde elde edilen verilerle hazırlanmıştır).

Bursa ili gerek artan doğum oranlarıyla ve aldığı göç miktarlarıyla nüfusu hızla artan şehirler arasındadır. Nüfusun hızla artması pek çok kaynak için tehlike arz etmekle birlikte su kaynaklarına olan etkileri büyüktür. Bu açıdan bakıldığında Bursa ili kent merkezinde yıllara göre artan nüfus miktarıyla orantılı olarak su tüketim miktarlarının da arttığı gözlenmiştir. Nüfusun artması dolayısıyla suya olan talebi arttırdığı için su tüketim miktarları da yıllar içinde artmıştır. Su talebi üzerinde etkili olan çok fazla etmen vardır. Bu etmenler Şekil 25’de gösterilmiştir.



**Şekil 25.** Doğrudan ya da dolaylı olarak su talebi üzerinde etkili olan faktörler (Akdağ (2015)’ten elde edilmiştir.

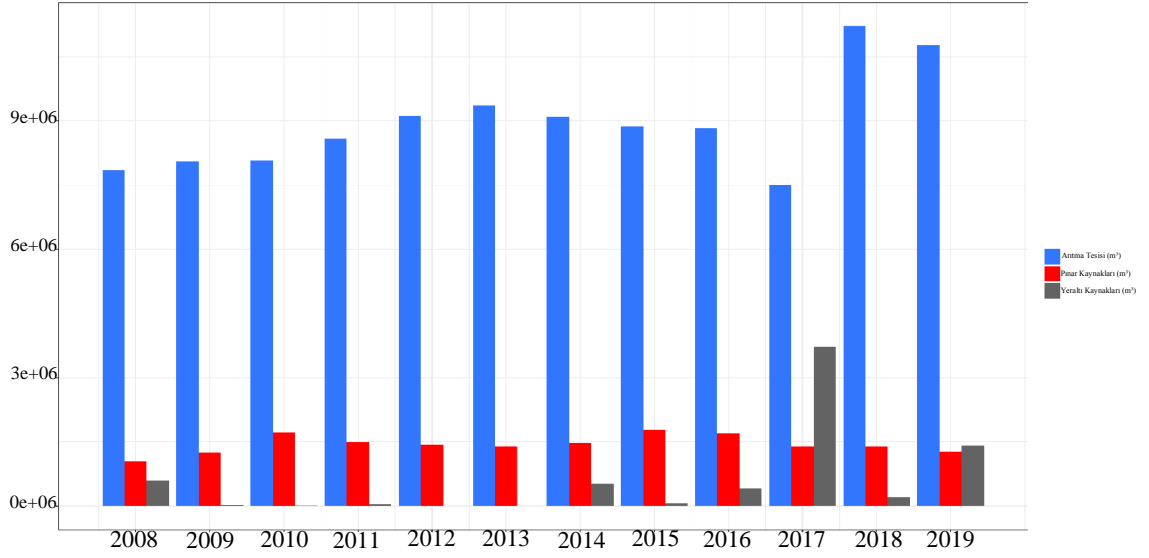
Su kaynaklarının artan talebi karşılaması için belli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan su kayıplarının önlenmesi, iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Bu açıdan bakıldığında Bursa ilinde su kayıp-kaçak oranları aşağıda incelenmiştir. Su kayıp-kaçak oranlarına bakıldığında geçmişten günümüze kadar oranların düştüğü, bu konuda iyileştirmelerin yapıldığı görülmüştür (Şekil 26).



**Şekil 26.** Yıllara göre Bursa ili su kayıp-kaçak oranları (Buski faaliyet raporlarından temin edilen verilerle hazırlanmıştır).

BUSKİ genel müdürlüğü çalışanları ile operasyonel anlamda yapılan görüşmeler sonucunda barajdaki su miktarı ölü hacim seviyesine yaklaştığı vakitte yeraltı suyu kaynaklarına başvurulduğu bilgisi elde edilmiştir. Bursa kentinde temel mekanizma barajdaki su seviyesinin ölü hacime yaklaşmasıdır. Bursa kentinde su kıtlığı, barajın su seviyesinin ölü hacim seviyesine düştüğü zaman arıtma tesisine gelecek olan su miktarı azaldığı için yeraltı ve pınar kaynaklarından su temini sağlanır. Mevsimsellikten dolayı kış mevsiminde barajdaki seviye ölü hacim seviyesine hiç düşmediği görülürken, yaz mevsiminde seviye azalması nedeniyle yeraltı ve pınar kaynaklarına ihtiyaç duyulur. Bursa kenti için ihtiyaç durumunda 200 adet yer altı su kuyusu kullanılabilir durumda (İzci, 2020: 12). Bursa kentinde yıllara göre toplam su üretimine bakıldığında su kaynaklarının kullanımının her yıl arttığı gözlenirken son yıllardaki artış dikkat çeker. Son yıllarda yeraltı ve pınar kaynaklarının kullanımının arttığı gözlenmiştir (Şekil 27).





**Şekil 27.** Arıtma tesisi, Pınar ve Yeraltı kaynakları yıllara göre toplam su üretim miktarları

Su kıtlığı, var olan suyun ihtiyaca yetmemesi durumudur. Baraj açısından su kıtlığının belirlenmesi amacı doğrultusunda su kıtlığı analizleri yapılmıştır. Nüfusa göre suyun oranı belirlenmiştir. Arz edilen su barajın hacmine bağlı olarak değişirken, talep edilen su ise nüfusa bağlı olarak değişkenlik gösterir. Arz edilen su, barajdaki hacim miktarının, ölü hacim dışındaki çekilen miktara denir. Bu gerçekte kullanılabilir sudur. Barajın hacmi ölü hacime geldiği vakit su kıtlığının başladığının göstergesidir. Su kıtlığı aslında nüfusa su verilememesi durumudur. Kişi başına düşen su miktarının, iklim senaryolarıyla, referans dönemine göre nüfus temelinde analizler yapılmıştır. Veriler yıllık olarak değil, aylık olarak kullanılmıştır bunun nedeni ise arz edilecek suyun yıllık bir ölçekten ziyade mevsimsel hatta aylık bir ölçekte yüksek bir değişkenlik göstermesidir. Burada iki önemli şey vardır birincisi ölü hacimden çıkartılmış kullanılabilir su miktarı, ikincisi ise kişi başına düşen su miktarı miktarıdır. Öncelikli olarak kullanılabilir su miktarının zamansal değişimleri incelenmiştir (Şekil 28, Şekil 29).



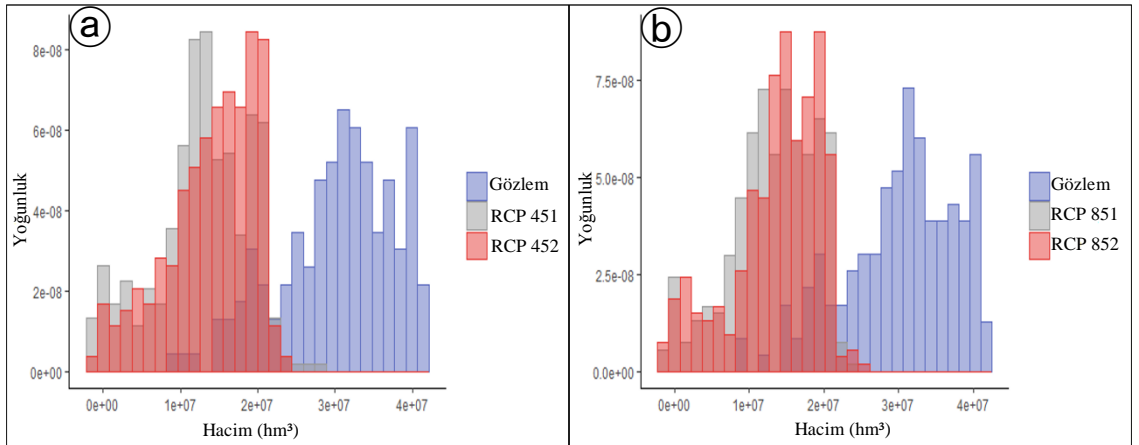
**Şekil 28.** Barajdaki hacim miktarının RCP 4.5 senaryosu temelinde zamansal değişim grafiği

Referans olarak kullanılan veri 2007-2019 yıllarını kapsamaktadır. RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları temelinde barajdaki hacim miktarları zamansal olarak gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara bakıldığında referans döneminde hacim miktarları oldukça yüksektir. Referans dönemine kıyasla RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda bir tane uç değer varlığı söz konudur. Genel olarak hacim azalma trendine doğru gidiş göstermiştir. RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda ise referans dönemine göre hacim miktarlarının azaldığı görülür.



**Şekil 29.** Barajdaki hacim miktarının RCP 8.5 senaryosu temelinde zamansal değişim grafiği

Referans döneminde hacim miktarı dalgalanma gösterse de hacim miktarı yüksek değerlerde kalmıştır. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda referans dönemine göre hacim miktarlarının azaldığı görülür. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosu ise artış trendine doğru bir gidiş gözükmemektedir. Hacim miktarlarının referans dönemine göre senaryolar dahilinde histogram grafikleri aşağıda incelenmiştir (Şekil 30).



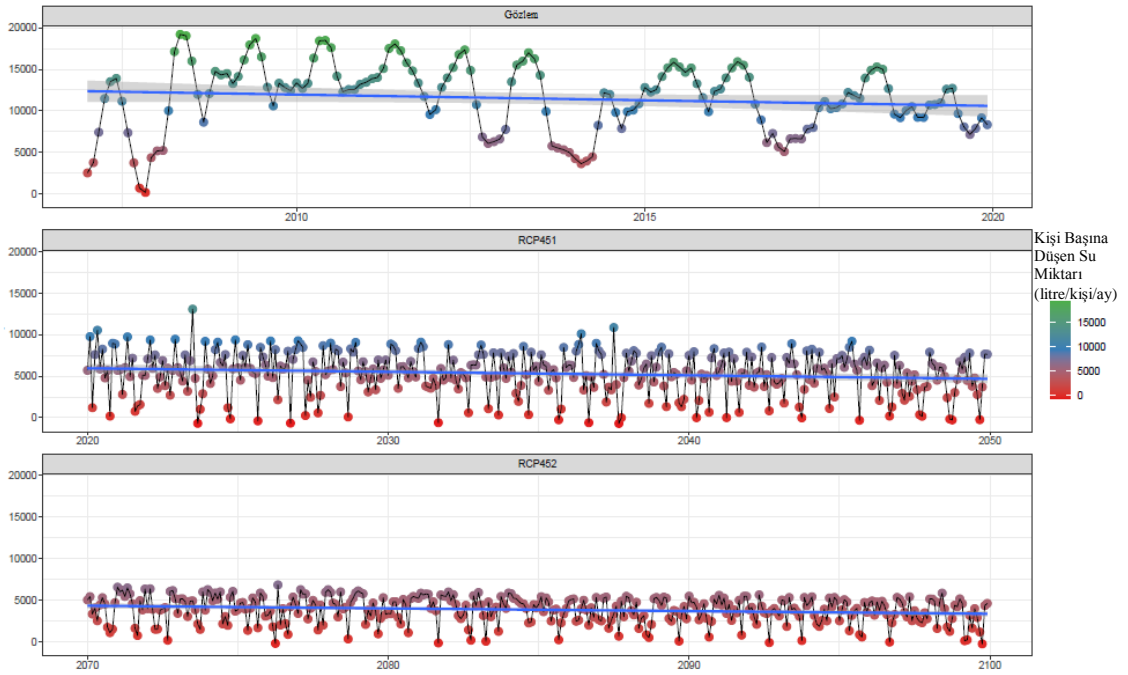
**Şekil 30.** a) RCP 4.5, b) RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarının hacim miktarları histogram grafiği

Referans döneminde hacim miktarı fazladır. Senaryolara bakıldığında RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında hacim miktarı azalırken frekanslarının arttığı

gözlenir. Referans dönemi ile kıyaslandığında RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında hacim miktarı azalmış olmakla birlikte frekans değerleri artmıştır.

Su kıtlığının anlaşılmasında diğer önemli durum ise kişi başına düşen su miktarıdır. Su zaman içinde dalgalanma gösterse de nüfus miktarının hep arttığını biliriz. Dolayısıyla bazı zamanlarda su azalmasına bile su kıtlığının arttığı fark edilir. Kişi başına düşen su miktarının azalması, su kıtlığının artmasına neden olur.

Bursa kent merkezi ilçelerinin gelecek için nüfus projeksiyonları üretildikten sonra bu veriler kullanılarak barajdaki kullanılabilir su miktarı ve nüfus projeksiyonları arasında bölme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonunda Bursa kentinde kişi başına düşen su miktarı hesaplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda çalışma alanı için referans dönemi ile RCP 4.5, RCP 8.5 senaryoları kullanılarak kişi başına düşen su miktarlarının zamansal değişimleri gösterilmiştir (Şekil 31, Şekil 32).



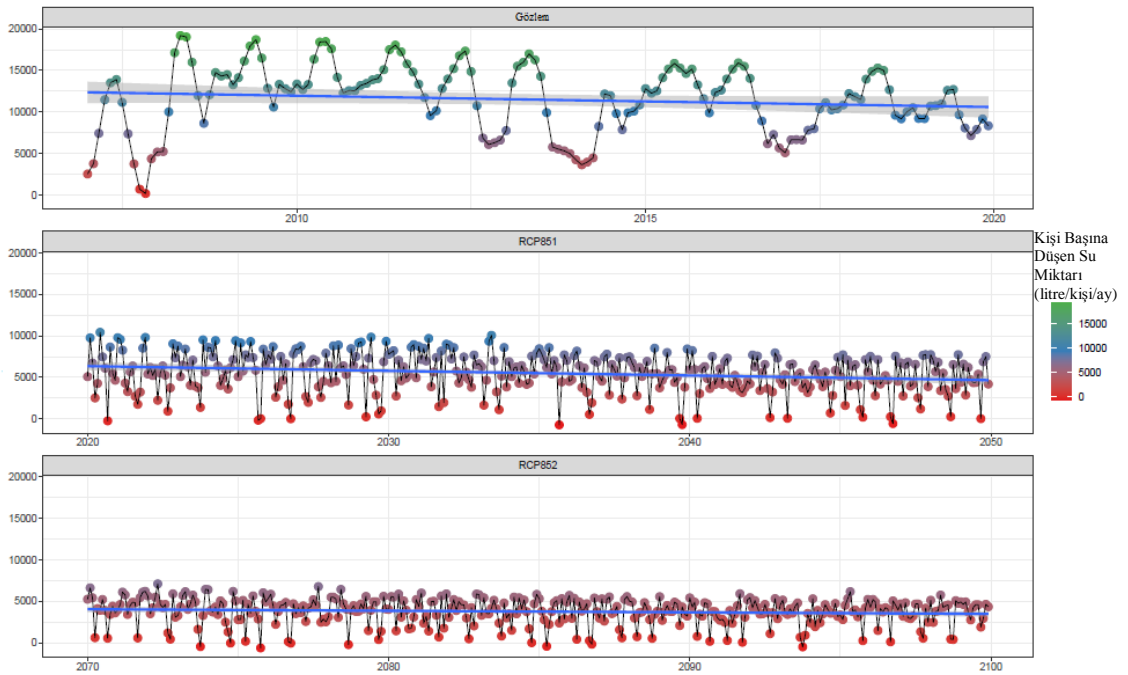
**Şekil 31.** Kişi başına düşen su miktarlarının RCP 4.5 senaryoları temelinde zamansal değişim grafiği

Referans döneminde kişi başına düşen su miktarı genel olarak yüksek değerlerdedir. Ancak kişi başına düşen su miktarının trendi azalma eğilimi göstermiştir. Referans dönemi ile RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları karşılaştırıldığında kişi başına düşen su miktarının azaldığı görülür. Her iki senaryoda da su kıtlığının trendi azalma eğilimindedir. Kişi başına düşen su miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir

(Tablo 4). Bu değerlere bakıldığında kişi başına düşen su miktarının aylık ölçekte referans dönemine nüfus artışı için azalma eğilimi göstermektedir.

**Tablo 4.** Kişi başına düşen su miktarlarının (litre/kişi/ay) RCP 4.5 senaryoları temelinde gösterimi.

Gözlem	RCP 451	RCP 452
11479	5319	3830



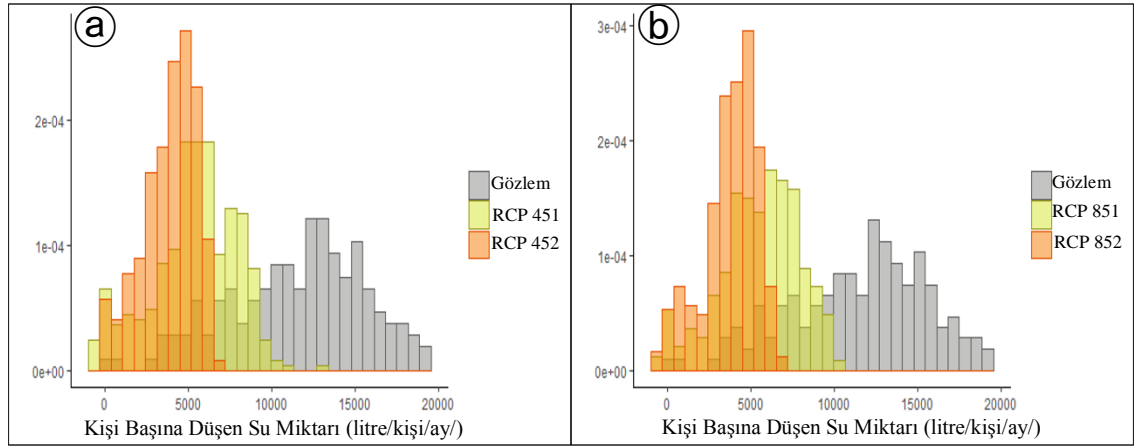
**Şekil 32.** Kişi başına düşen su miktarlarının RCP 8.5 senaryoları temelinde zamansal değişim grafiği

Referans döneminde kişi başına düşen su miktarı yüksektir. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda referans dönemine göre kişi başına düşen su miktarı ve trendi azalmıştır. RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda kişi başına düşen su miktarı daha çok azalmıştır. Aynı zamanda su kıtlığının trendi azalma eğilimindedir. Kişi başına düşen su miktarları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 5). RCP 8.5 senaryolarında referans dönemine göre kişi başına düşen su miktarlarının aylık ölçekte azaldığı görülür bu durumun nedeni ise nüfus artışıdır.

**Tablo 5.** Kişi başına düşen su miktarlarının (litre/kişi/ay) RCP 8.5 senaryolar temelinde gösterimi.

Gözlem	RCP 851	RCP 852
11479	5514	3770

Kişi başına düşen su miktarının referans dönemine göre senaryolar dahilinde histogram grafikleri aşağıda incelenmiştir (Şekil 33).



**Şekil 33.** a) RCP 4.5, b) RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarının kişi başına düşen su miktarları histogram grafiği

Referans dönemi ile RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları karşılaştırıldığında kişi başına düşen su miktarının azaldığı ve frekans değerlerinin arttığı görülür. RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryoları referans dönemi ile kıyaslandığında kişi başına düşen su miktarının azaldığı, frekans miktarlarının arttığı görülür.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bursa kentinde su kıtlığı ve kuraklığı havza bazında incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmasında birçok analiz ve modelleme kullanarak, iklim değişikliğinin etkileri belirlenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Bu çalışmada akış değerlerini elde etmek için SCS-CN yöntemi kullanılmıştır. Bu model kullanılarak çalışma alanı havzasının akım değerleri yağış-akış ilişkisi kurularak elde edilmiştir. Selahattin Saygı Baraj Girişi ve Sultaniye istasyonlarında gözlem ve modellenen akım arasında bir uyum olduğu gözlemlenir. Genel olarak gözlemlenen ve modellenen akım değerleri arasında bir uyum söz konusu iken bazı pik akımlarda farklılık söz konusudur. Çalışma alanının akım değerlerinin bilinmesi meydana gelebilecek taşkınlar için önemlidir.

Kuraklığın zamansal değişimini belirlemek için RegCM4.4 bölgesel iklim modeli yağış verisi çıktıları, yakın gelecek ve uzak gelecek senaryoları kullanılarak Doğancı Barajı havzasında kuraklık değişimlerinin nasıl bir desen ortaya çıkardığı ele alınmıştır. Standartlaştırılmış rezervuar indisi kullanılarak 1,3,6,9,12. aylar için SRSI kuraklık sınıflarının zamansal değişimleri incelenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlara bakıldığında SRSI 1,3,6,9,12. zaman serisi grafiklerinde referans dönemine göre ekstrem değerlerde artışlar ve kuraklıkların ortalamalarında azalmalar görülmüştür. Kurak döneme gidişat tespit edilmiştir.

SRSI yöntemiyle oluşturulmuş 1 aylık kuraklık grafiği incelendiğinde verilerin en fazla dağılışı gösterdiği sınıf normal civarıdır. Bu sınıf incelendiğinde referans dönemine göre ortalama değerlerinde azalma yani kurak döneme doğru bir gidiş saptanmıştır. Aşırı kurak ve aşırı nemli sınıfta en yüksek değerlere sahip olan RCP 4.5 yakın gelecek senaryosu dikkat çeker. SRSI 3 grafiğinde normal civarı sınıf verilerin en fazla dağılışı gösterdiği sınıf olduğu için önem arz etmektedir. Normal sınıf incelendiğinde referans dönemine göre kuraklıkların ortalamalarının azaldığı görülür. Referans dönemi ile kıyaslandığında kuraklıkların arttığı gözlenmiştir. Aşırı kurak dönemde RCP 4.5 yakın gelecek ve RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda uç değerler vardır. Aşırı nemli döneme baktığımızda ise RCP 4.5 yakın ve uzak gelecek, RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda taşkın potansiyeli taşıyan değerler mevcuttur. SRSI yöntemiyle oluşturulmuş 6 aylık kuraklık sınıflandırmasında normal civarı sınıfa bakıldığında referans dönemine göre kuraklıkların arttığı gözlenir. Aşırı kurak sınıfta RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek

senaryolarında ekstrem kuraklık değerleri mevcuttur. Aşırı nemli dönemde RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda taşkın oluşturabilecek uç değerler vardır. SRSI 9 aylık kuraklık sınıflamasına bakıldığında kurak ve nemli sınıflar karşılaştırıldığında kurak sınıfların daha fazla olduğu görülür. Aşırı kurak dönemde RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda uç değerler göze çarpar. Aşırı nemli dönemde RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda yüksek nemli koşullar dikkat çeker. SRSI 12 aylık kuraklık sınıflandırması incelendiğinde normal civarı sınıfta referans dönemine göre verilerin ortalamalarında azalmalar görülmüş ve kuraklık artışları belirlenmiştir. Aşırı kurak dönemde RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda ekstrem değerler görülür. Aşırı nemli dönemde aynı şekilde uç değerlerin varlığı söz konusudur.

Bu analizler sonucunda kurak ve nemli dönemler belirlenmiş olup aynı zamanda taşkın veya kuraklık oluşturabilecek değerlerin alansal ve zamansal değişiklikleri tahmin edilmiştir. Dolayısıyla gelecekte oluşabilecek herhangi bir riskli durum için önceden plan yapmak ve önlem almak bu analizler sonucunda mümkün hale gelmiştir.

İklim değişikliği etkileri sonucu oluşan barajdaki su kıtlığının belirlenmesi amacı doğrultusunda su kıtlığı analizleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Referans dönemine kıyasla RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda bir tane uç değerin varlığı söz konudur. Genel olarak tüm senaryolar için hacim miktarları azalmış olup frekans değerleri artmıştır. Bu analizlerden ikincisi ise kişi başına düşen su miktarının belirlenmesidir. Referans dönemine göre senaryolar dahilinde kişi başına düşen su miktarları belirlenmiştir. Referans döneminde kişi başına düşen su miktarı aylık olarak 11479 litre iken RCP 4.5 yakın gelecek senaryosunda bu değer 5319 litre olurken RCP 4.5 uzak gelecek senaryosunda 3830 litre'dir. RCP 8.5 yakın gelecek senaryosunda kişi başına düşen su miktarı 5514 litre iken RCP 8.5 uzak gelecek senaryosunda 3770 litre olarak belirlenmiştir. Çıkan sonuçlarda referans dönemine kıyasla RCP 4.5, RCP 8.5 yakın ve uzak gelecek senaryolarında kişi başına düşen su miktarının azaldığı görülmüştür.

Su kıtlığı, nüfus ile alakalı bir durumdur. Nüfus projeksiyonları, nüfusun gelecekte artacağını göstermektedir. Artan nüfusla beraber su kaynaklarının tüketiminde de artış meydana gelecektir. Bursa gibi büyük bir şehirde artan nüfusla beraber kaynakların tüketimi de hızlanmaktadır. Bu durum şuan için tehlike arz etmese de gelecek için endişe vericidir. Kaynakların artan talebi karşılayıp karşılayamayacağı eleştiri konudur. Su



kaynaklarının artan talebi karşılaması için belli çalışmalar ve iyileştirmeler yapılmaktadır. Bunlardan biri su kayıp kaçak oranlarının azaltılmasıdır. Artan talebi karşılamak için Bursa kentinde barajdaki su seviyesi ölü hacime yaklaştığı vakitte yeraltı ve pınar kaynaklarının kullanımını arttığı bilgisine ulaşılmıştır. Talebi karşılamak için yeraltı su kuyuları açıldığı bilgisi edinilmiştir. Bu nedenlerden dolayı yer altı ve pınar kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Baraj açısından su kıtlığına bakıldığında artan nüfus ile beraber yeni kaynaklara ihtiyaç olup olmadığı konusunda fikir sağlaması açısından yapılan çalışma önemlidir. Çınarcık Barajı Bursa kentinin giderek büyümesi sonucunda çalışma alanı olan Bursa kentinde gelecekte içme kullanma suyu temini sağlanması açısından öngörülen baraj alanıdır. Yapılan bu analizler Çınarcık Barajından su sağlanması açısından gereklilik olduğu göstermiştir. Gelecekte oluşabilecek durumlar belirlenip önlem alınması, su yönetim planlamasının yapılması açısından çalışma önem taşımaktadır.

## KAYNAKÇA

- ABEBEA Abayneh Yared, GHORBANİ Amineh, NİKOLİC Igor, VOJINOVİC Zoran, SANCHEZ Arlex,” A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood risk management”, *Environmental Modelling and Software* 111, 2019, ss.483-492.
- ABİ Kenan, İklim Değişikliklerinin Bursa'nın Sıcaklık Özellikleri Üzerine Yansımaları, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- AJMAL Muhammad, WASEEM Muhammad, KİM Dongwook, KİM Tae- Woong,” A Pragmatic Slope-Adjusted Curve Number Model to Reduce Uncertainty in Predicting Flood Runoff from Steep Watersheds”, *Water*, 2020, ss. 5-19.
- AKBAŞ Abdullah, Marmara Denizi Drenaj Havzasında Yağış-Akış İlişkileri, (Doktora Tezi), İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 2018.
- AKBAŞ Abdullah,” Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, CBD 12 (2), 2014, ss.101-118
- AKBAŞ Abdullah, ÖZDEMİR Hasan,” Marmara Denizi havzasının hidroklimatolojik dinamiklerinin belirlenmesi”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 2018, ss. 123-131.
- AKBAŞ Abdullah, FREER Jim, ÖZDEMİR Hasan, BATES Paul, TURP M. Tufan,” What about reservoirs? Questioning anthropogenic and climatic interferences on water availability”, *Hydrological Processes*, 34(26), 2020, ss. 5441-5455.
- AKÇAKAYA Alper, SÜMER Utku M, DEMİRCAN Mesut, DEMİR Ömer, ATAY Hakkı, ESKİOĞLU Osman, GÜRKAN Hüdaverdi, YAZICI Başak, KOCATÜRK Arzu, ŞENSOY Serhat, BÖLÜK Erdoğan, ARABACI Hüseyin, AÇAR Yılmaz, EKİCİ Mithat, YAĞAN Serpil, ÇUKURÇAYI Fırat,“ Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği“, Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, 2015, ss. 149.
- AKDAĞ Recep,” Kentsel Su Sunumunda Bir Yönetim Aracı Olarak Su Talep Tahmini”, Niğde Üniversitesi, *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8, 2015, ss. 69-81.
- AKILLI Hüsnüye, ÖZASLAN KIZILBOĞA Rüveyda,” Su Kayıplarının Önlenmesinde Teknoloji Kullanımı: Büyükşehir Belediyelerinde Scada Uygulaması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C.22, 2017, ss. 1599-1618.
- AKRAMY Abdulsabir, Erzincan, Bayburt Ve Gümüşhane İllerinde Faktör Analizi Ve Güvenilirlik Yöntemi İle Hidrolojik Ve Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi, (Yüksek Lisans Tezi), ERZİNCAN: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018.
- ALLEN G. Richard, PEREIRA S. Luis, RAES Dirk, SMITH Martin, “Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements”, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Publication No. 56. Rome, 1998, ss.1-300.
- ALLEY M. William,” The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23(7), 1984, ss. 1100-1109.
- Ankara, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, ss. 1-11.

- ANUROGO Wenang, SİLABAN Darlinto Robby, LUBİS Zainuddin Muhammad, APFM, Urban Flood Management In A Changing Climate 2012, İntegrated Flood Management Tools Series, Issue 14,2012, ss.1-42.
- ARBUES Fernando, GARCÍA-VALİNAS Ángeles Maria, ESPİNEİRAC-MARTÍNEZ Roberto, “Estimation Of Residential Water Demand: A State-Of-The-Art Review”, *The Journal of Socio-Economics*, Volume 32, Issue 1, March 2003, Pages 81-102.
- ARBUÉSA Fernando, GARCÍA-VALİÑAS María Ángeles, MARTÍNEZ-ESPİÑEİRA Roberto,” Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review”, *Journal of Socio-Economics*,32, 2003, ss. 81-102.
- ARYAL Raj Gokarna,” Methods of Population Estimation and Projection”, *Journal of Population and Development*, 2020, ss. 54-61.
- ATALAY Muhammet, ÇELİK Enes,” Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ Ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları”, *Cilt.9 Sayı.22*, 2017, ss. 155-172.
- BACANLI Güner Ülker, KARGI Gökçe Pınar, “Uzun ve Kısa Süreli Periyotlarda Kuraklık Analizi: Bursa Örneği”, Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, Cilt:5 Sayı:1, 2019, ss. 166-174.
- BALDASSARRE Di Giuliano, WANDERS Niko, AGHAKOUCHAK Amir, KUIŁ Linda, RANGECROFT Sally, VELDKAMP E.I Ted, GARCÍA Margaret, OEL van R Pieter, BREİNL Korbinian, LOON Van F.Anne,” Water shortages worsened by reservoir effects”, *Nature Sustainability*, 1(11), 2018, ss. 617-622.
- BAYRAMOĞLU Elif, “Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi: Penman-Monteith Yöntemi”, *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 2013, ss. 300-306.
- BEAUDET Bevin, ROBERTS R. Lee,” A Perspective on the Global Water Marketplace”, *American Water Works Association, Journal AWWA*, 2000, ss. 10-12.
- BİLALİ EL Ali, TALEB Imane, NAFİİ Ayoub, TALEB Abdeslam,” A practical probabilistic approach for simulating life loss in an urban area associated with a dam-break flood”, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 76, 2022, ss.1-20.
- BİLİŞİK Murat Taha,” Destek Vektör Makinesi, Çoklu Regresyon Ve Doğrusal Olmayan Programlama İle Perakendecilik Sektöründe Gelir Yönetimi İçin Dinamik Fiyatlandırma”, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Kültür Üniversitesi*, 2011, ss. 785-799.
- BİLALİA El Ali, TALEB Abdeslam, BOUTAHRİ Imane,” Application of HEC-RAS and HEC-LifeSim models for flood risk assessment”, *Journal of Applied Water Engineering and Research*, Volume 9, Issue 4, 2021, ss. 336-351.
- BİLLINGS R. Bruce, JONES Clive V,” Forecasting Urban Water Demand, Denver: American Water Works Association.”, 2008, ss. 360.
- BİNDAK Recep,” Mann-Whitney U ile Student’s t testinin I.Tip Hata ve Güç bakımından Karşılaştırılması: Monte Carlo Simülasyon Çalışması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2014, ss.5-15.
- BUCAK Tuba, TROLLE Dennis, ANDERSEN Hans Estrup, THODSENB Hans, ERDOĞAN Şeyda, LEVİ Eti E, FİLİZ Nur, JEPPESEN Erik, BEKLİOĞLU Meryem,” Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake

- is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model”, Science of the Total Environment, 2016, ss. 413-425.
- BUYSE Marc,” Generalized pairwise comparisons of prioritized outcomes in the two-sample problem”, Statistics in medicine, 2010, ss. 3245-3257.
- BUSKİ kişisel görüşme, 2021.
- Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Buski Genel Müdürlüğü 2020 Faaliyet Raporu, 2020, ss. 1-200.
- BUTTAFUOCO G, CALOIERO T, COSCARELLI R, “Spatial uncertainty assessment in modelling reference evapotranspiration at regional scale”, Hydrology and Earth System Sciences, 14, 2010, ss. 2319-2327.
- CHENG Shibo, ZHAO Wenhui, YİN Zhiping,” PS-InSAR Analysis of Collapsed Dam and Extraction of Flood Inundation Areas in Laos Using Sentinel-1 SAR Images”, 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, 2019, ss. 2605-2608.
- CHENİNİ Faycel,” Implications of Water Quality on Irrigation Practices Under Water Scarcity”, In: Sabater S., Barceló D. (eds) Water Scarcity in the Mediterranean, The Handbook of Environmental Chemistry, 8, Berlin, Heidelberg, 2009, 161-172.
- CRED-UNISDR, The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015, 2015, ss.1-29.
- ÇOLAK Aslı, Osmangazi'nin (Bursa) İklimi Ve Çevresel Etkileri, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, Coğrafya Bilim Dalı, 2019.
- ÇOMAK Emre, Destek Vektör Makinelerinin Etkin Eğitimi İçin Yeni Yaklaşımlar, (Doktora Tezi),Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- DARKOT Besim, TUNCEL Metin, *Marmara Bölgesi Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, İstanbul, 1981.
- DAVIE Tim, QUINN Wyndham Nevil, *Fundamentals of hydrology*, Basım sayısı 3, Nevzat Argun, Hasan Özdemir, Abdullah Akbaş, Hafzullah Aksoy, Nobel yayınları, Ankara, 2021.
- Dams and Development, World Commission on Dams, Report, November 2000,ss.407.
- DEMİR Ömer, ATAY Hakkı, ESKİOĞLU Osman, TUVAN Arzu, DEMİRCAN Mesut, AKÇAKAYA Alper,”Rcp4.5 Senaryosuna Göre Türkiye’de Sıcaklık Ve Yağış Projeksiyonları”, İstanbul: III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – Tikdek Bildiri Kitabı, 2013, ss. 7.
- DEMİRCAN Mesut, DEMİR Ömer, ATAY Hakkı, ESKİOĞLU Osman, YAZICI Başak, GÜRKAN Hüdaverdi, TUVAN Arzu, AKÇAKAYA Alper, “Yeni Senaryolara Göre Türkiye Akarsu Havzalarında İklim Değişikliği Projeksiyonları”, Ankara, *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, 2014,ss. 11-20.
- DEMİRCAN Mesut, GÜRKAN Hüdaverdi, ARABACI Hüseyin, COŞKUN Mustafa,” Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları”, Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2017, ss. 6.
- DİNÇ Nazmi, AYDİNŞAKİR Köksal, IŞIK Mesut, BÜYÜKTAŞ Dursun,” Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Yöntemi İle Antalya İli Kuraklık Analizi”, *Derim*, 33 (2), 2016, ss. 279-298.

- DİMİTRİADOU Evgenia, HORNİK Kurt, LEİSCH Friedrich, MEYER David, WEİNGESSEL Andreas, “The e1071 package. Misc Functions of Department of Statistics (e1071), TU Wien, 2006, ss.297-304.
- DOĞAN SERTKAYA Özlem, BOSTAN Hakan,” Türkiye’nin Demografik Dönüşümü Ve Nüfus Projeksiyonlarına Göre Fırsatlar”, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 41, 2019, ss.61-90.
- DOĞAN SERTKAYA Özlem,” Türkiye’de 2040 Ve 2060 Nüfus Projeksiyonlarına Göre Demografik Fırsatlar”, *Türk & İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Sayı: 18,2018, ss. 26-42.
- EROL Oğuz, *Genel Klimatoloji*, 6, Çantay Kitapevi, İstanbul, 2004.
- ERİNÇ Sırrı, *Klimatoloji ve Metodları*, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü, Alfa Yayınları, İstanbul, 1996.
- FIRAT Mahmut, YURDUSEV M. Ali, MERMER Mutlu,” Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Aylık Su Tüketiminin Tahmini”, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2008, ss. 449-457.
- GAO Xuejie, GİORGİ Filippo,” Increased Aridity İn The Mediterranean Region Under Greenhouse Gas Forcing Estimated From High Resolution Simulations With A Regional Climate Model”, *Global and Planetary Change*, 62, 2008, ss. 195-209.
- GENÇ Hülya, Doğancı Barajı Havza Yönetiminde, Rezervuar Matematik Modellenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Bursa: Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 1998.
- GİORGİ Filippo, LİONELLO Piero,” Climate change projections for the Mediterranean region”, *Global and Planetary Change*, 63, 2008, ss. 90-104.
- GİORGİ Filippo,”Climate Change Hot- Spots”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L08707, Doi:10.1029/2006GL025734, 2006, ss. 4.
- GRELL A. Georg, DUDHİA Jimy, STAUFFER R. David, “A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)”, Technical Report TN-398+STR, NCAR, Boulder, Colorado, 1994, ss.1-121.
- GUSYEV A Maksym, HASEGAWA Akira, MAGOME Jun, KURİBAYASHİ Daisuke, SAWANO Hisaya, LEE Sangeun,” Drought assessment in the Pampanga River basin, the Philippines – Part 1: Characterizing a role of dams in historical droughts with standardized indices”, 21st International Congress on Modelling and Simulation, Gold Coast, Australia, 29, 2015, ss. 1586-1592.
- GÜRKAN Hüdaverdi, ARABACI Hüseyin, DEMİRCAN Mesut, ESKİOĞLU Osman, ŞENSOY Serhat, YAZİCİ Başak,” GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Türkiye İçin Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları”, Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2016, ss. 78-88.
- HOSSEİNZADEH- TABRİZİ Seyed Alireza, GHAEİNİ- HESSAROEYEH Mahnaz, ZİAADİNİ- DASHTEKHAKİ Maryam,” Numerical simulation of dam- breach food waves”, *Applied Water Science*, 2022, ss. 1-9.
- IPCC,” Climate Change 2013 The Physical Science Basis”, Cambridge: Cambridge University Press, Working Group I Contribution To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change, 2013, ss. 1535.
- IPCC,” Climate Change: The 1990 and 1992 IPCC Assessments”, Kanada: IPCC First Assessment Report, 1992, ss. 7.

- IPCC,” Towards New Scenarios For Analysis Of Emissions, Climate Change, Impacts, And Response Strategies”, IPCC Expert Meeting Report, The Netherlands: Noordwijkerhout, 2008, ss. 125.
- İĞCİ Tijen, İklim Değişikliği Politikalarının Avrupa Birliği Ve Türkiye’de Sanayi Sektörüne Olası Etkileri: Maliyetler Ve Rekabet Edebilirlik Bakımından Değerlendirme, (Yüksek Lisans Tezi), Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Avrupa Birliği Ve Uluslararası Ekonomik İlişkiler Anabilim Dalı, 2015.
- İZGİ Devrim, “Bursa da Su Yönetimi”, Bursa Büyükşehir Belediyesi Buski Genel Müdürlüğü, 2021, ss. 1-39.
- JAIN Ashu, VARSHNEY Ashish Kumar, JOSHI Umesh Chandra,” Short-Term Water Demand Forecast Modelling at IIT Kanpur Using Artificial Neural Networks”, Water Resources Management, 15, 2001, ss. 299–321.
- JAIN Ashu, ORMSBEE Lindell E, “Short- term water demand forecast modeling techniques-Conventional Methods Versus AI”, American Water Works Association Journal, 94, 2002, ss. 64-72.
- KADIOĞLU Mikdat,” Kuraklıkta kriz yönetiminin risk yönetimine geçmeliyiz”, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği ve Afet Yönetim Uyg-Ar Merkezi, 2008, ss.1-25.
- KALE Murat Mustafa,”Akarçay Kapalı Havzası için Hidrolojik Kuraklık Analizi”, *Coğrafya Dergisi*, 42, 2021,ss. 165-180.
- KARAKOYUN Murat, HACIBEYOĞLU Mehmet,” Biyomedikal Veri Kümeleri İle Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması”, *Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 16 Sayı: 48, 2014, ss. 1-13.
- KARACA Mehmet, DENİZ Ali, TAYANÇ Mete,” Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate”, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(10),2000, ss.1225-1236.
- KAYA Çetin, YILDIZ Oktay,” Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Saldırı Tespiti: Karşılaştırmalı Analiz”, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 2014, ss. 89-104.
- KASUYA Eriti,”Mann–Whitney U test when variances are unequal”, *Animal Behaviour*,2001, ss.1247-1249.
- KESKİN Battal Enes, SAĞOCAK Mehtap, ARSLAN VURAL Tülin,” Kentlilik Bilinci Çalışmaları İçin Bir Model Önerisi: Bursa’da Kentlilik Bilinci Araştırması”, *PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi*,2015, ss.21-43.
- KOCAMAN Tuncer,” Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri”, Sosyal Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, 2002, ss.1-80.
- KÖRBALTA Hasibe,” Türkiye’de Yerel Su Güvenliği”, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 2019, ss. 55-84.
- KRAUSE Peter, BOYLE Darla, BASE Frank,” Comparison Of Different Efficiency Criteria For Hydrological Model Assessment”, *Advances in Geosciences*, 5, 2005, ss. 91-97.
- KURNAZ Levent M, TÜRKEŞ Murat, ÖZTÜRK Tuğba,” Regcm4.3.5 İklim Modeli Benzetimleri Kullanılarak Türkiye'nin Gelecek Hava Sıcaklığı Ve Yağış Klimatolojilerindeki Değişikliklerin Çözülmesi” *Ege Coğrafya Dergisi*, 20/1, 2014, ss. 17-27.

- KUHN Max, "Building Predictive Models in R Using the caret Package", *Journal of statistical software*, 28, 2008, ss.1-26.
- LǪ Wu, HUǪCHENG Zhou, "Urban Water Demand Forecasting Based on HP Filter and Fuzzy Neural Network", *Journal of Hydroinformatics*, 12, 2010, ss. 172-184.
- LǪ Yi, GONG Jianhua, ZHU Jun, SONG Yiquan, HU Ya, YE Lei, "Spatiotemporal Simulation And Risk Analysis Of Dam-Break Flooding Based On Cellular Automata", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 27, No. 10, 2013, ss. 2043-2059.
- LǪ Ziyang, YE Wei, MARENCE Miroslav, BRĪCKER D. Jeremy, "Unsteady Seepage Behavior of an Earthfill Dam During Drought-Flood Cycles", *Geosciences* 2019, 2018, ss. 1-15.
- LǪ Ning, CHEN Zuyu, ZHANG Jianxin, LǪN Wei, CHEN Wuyi, XU Wenjie, "Draining the Tangjiashan Barrier Lake", *Journal Of Hydraulic Engineering*, 2010, ss.914-923.
- LǪ Jiamin, MA Shuangge, XU Wangli, ZHU Liping, "A generalized Wilcoxon–Mann–Whitney type test for multivariate data through pairwise distance", *Journal of Multivariate Analysis*, 2022, ss.1-20.
- MENGǪ PAMUK GǪlay, ANAÇ SǪer, ŐZÇAKAL Emrah, "Kuraklık YǪnetim Stratejileri", *Ege Őniversitesi Ziraat FakǪltesi Dergisi*, , 48 (2), 2011, ss. 175-181
- MEMBELE Martin Garikai, NAĪDU Maheshvari, MUTANGA Onesimo, "Examining flood vulnerability mapping approaches in developing countries: A scoping review", *International Journal of Disaster Risk Reduction* 69, 2022, ss.1-25.
- MCKEE Thomas B, DOESKEN Nolan J, KLEĪST John, "The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales", *Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 1993, ss.1-6.
- MĪSHRA K. Ashok, SĪNGH P. Vijay, "A review of drought concepts", *Journal of Hydrology*, 391, 2010, ss. 202-216.
- MĪSHRA K. Ashok, SĪNGH P. Vijay, "Drought modeling – A review", *Journal of Hydrology*, Volume 403, Issues 1-1, 2011, ss. 157-175.
- MĪLLER Irwin, MĪLLER Marylees, "John Freund Matematiksel İstatistik." Altıncı baskıdan çev. Ed.: Ő. Şenesen. İstanbul: Literatür, 2006, ss. 551-552.
- MOCKUS Victor, "Hydrology-National Engineering Handbook", Supplement A, Section 4, Chapter 21, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C, SCS, (1956), (1964), (1972), (1985), (1993), ss.1-127.
- MORADĪ Mortaza, TAMER GŐRER NilgǪn, "Bursa Őrneęinde Kentsel BǪyǪmenin Yerel İklim Değişikliği Őzerine Etkisi", *TTMOB Şehir Plancıları Odası*, 2017, ss. 26-37.
- NASH, JE (Eamonn), John V.SUTCLĪFFE, "River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I — A Discussion Of Principles", *Journal of Hydrology*, Volume 10, Issue 3, 1970, 282-290.
- NGUYEN T.T. Thuy, ARMĪTAGE Grenville, "A Survey of Techniques for Internet Traffic Classification using Machine Learning", *Ieee Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 10, No. 4, Fourth Quarter, 2008, ss.56-76.
- NUGROHO Budi Cahyo, MUFĪDA Khusna Mir'atul, "Cross Comparison of Penman Monteith Potential Evapotranspiration Estimation Methods with Energy Equilibrium Models Using Remote Sensing Image Data", *2nd International Conference on Applied Engineering (ICAE)*, Batam, Indonesia, 2019, ss.1-6.

- ODAN Frederico Keizo, REİS Luisa Fernanda Ribeiro,"Hybrid Water Demand Forecasting Model Associating Artificial Neural Network with Fourier Series", *Journal Of Water Resources Planning And Management*, 2010, ss. 1287-1305.
- ÖZCAN Yıldırım Kübra," İklim Değişikliği Konusunda Farkındalık Geliştirme Projesi Kapsamında Türkiye'deki İllerin Değerlendirilmesi: Bursa, Trabzon Ve Gaziantep Örnekleri", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2018, Cilt 20 Sayı 2 ss. 245-271.
- ÖZDEMİR Hasan, AKBULAK Cengiz, ÖZCAN Hasan," Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi", *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 2011, ss. 660-698.
- ÖZDEMİR Hasan," SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir)", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (2), 2007.ss.1-12.
- ÖZFİDANER Mete, ŞAPOLYO Duygu, TOPALOĞLU Fatih," Seyhan Havzası Akım Verilerinin Hidrolojik Kuraklık Analizi", *Toprak Su Dergisi*, 7 (1), 2018, ss. 57-64.
- ÖZTÜRK Zeynel Muhammed, "Uludağ (Zirve) ve Bursa Meteoroloji İstasyonlarının Karşılaştırmalı İklimi", İstanbul: *Türk Coğrafya Dergisi*, 2010, ss.13-24.
- ÖZTÜRK Zeynel Muhammed, ÇETİNKAYA Gülden, AYDIN Selma," Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri", *Coğrafya Dergisi*, 35, 2017, ss. 17-27.
- ÖZTÜRK Kemal," Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri" G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1, 2002, ss. 47-65.
- ÖZKAN Yalçın, *Veri Madenciliği Yöntemleri*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 2013.
- PAMUK Gülay, ÖZGÜREL Mustafa, TOPÇUOĞLU Kıvanç," Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (1), 2004, ss. 99-106.
- PATEL P.Dhruvesh, SRİVASTAVA K. Prashant," Flood Hazards Mitigation Analysis Using Remote Sensing and GIS: Correspondence with Town Planning Scheme", *Water Resour Manage*, 2013, ss. 2353-2368.
- PENG Huiping," Air Quality Prediction by Machine Learning Methods", Master Of Science, The University Of British Columbia, 2015, ss. 1-95.
- QIU Linyao, DU Zhiqiang, ZHU Qing, FAN Yida," An integrated flood management system based on linking environmental models and disaster-related data", *Environmental Modelling & Software*, 91, 2017, ss. 111-126.
- RİTCHİE Hannah, ROSER Max," Natural Disasters", *Our World Data*, 2014, 1-60.
- RYAN Woo, QIU Stella,"At Least 25 Dead as Rains Deluge Central China's Henan Province", *Reuters*, 2021, ss. 1-10.
- SAĞLAM Erdoğan Naciye, DÜZGÜNEŞ Ertuğ, BALIK İsmet, "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği", *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2008,ss. 89-94.
- SALMAN Cevat, Munzur Projesi Kapsamında Yapılacak Barajların Bölgedeki Taşkın Koruma Yapılarına Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- SAMANİEGO L, THOBER S, KUMAR R, WANDERS N, RAKOVEC O, PAN M, ZİNK M, SHEFFİELD J, WOOD F.E, MARX A," Anthropogenic warming



- exacerbates European soil moisture droughts”, *Nature Climate Change*, 8(5), 2018, ss. 421-426.
- SARIŞ Faize, HANNAH M.David, EASTWOOD J. Warren,” Spatial variability of precipitation regimes over Turkey”, *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(2), 2010, ss. 234-249.
- SELÇUK AYHAN İrem,” Kısa Dönemli Kentsel, Sosyal Ve Teknik Altyapı Alan İhtiyacının Kestiriminde Bir Araç Olarak Ekstrapolasyon Nüfus Projeksiyon Yönteminin Kullanımı: Kütahya Örneği”, *Uluslararası Hakemli Tasarım Ve Mimarlık Dergisi*, Sayı: 02 Cilt: 01, 2014, ss. 98-119.
- SHI Wenhai, WANG Ni,” An Improved SCS-CN Method Incorporating Slope, Soil Moisture, and Storm Duration Factors for Runoff Prediction”, *Water*, 2020, ss. 21-38.
- SIRDAŞ Sevinç, ŞEN Zekai,” Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması”, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Cilt:2, Sayı:2, 2003, ss.1-9.
- SOLAK Simge, YALILI KILIÇ Melike, AKAL SOLMAZ Kutlu Seval,” Bursa İlinde Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 1, 2019, ss. 111-124.
- SCHÖLKOPF Bernhard, BURGESS J.C. Christopher, SMOLA J. Alexander, “Advances in Kernel Methods Support Vector Learning”, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 1998, ss. 307-371.
- SUN Ci-Min, SAKAI Katsuya, CHEN Y Albert, HSU-Ting Yu,” Location problems of vertical evacuation structures for dam-failure floods: Considering shelter-in-place and horizontal evacuation”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, ss. 1-22.
- SVOBODA D. Mark, FUCHS A. Brian,” Handbook of Drought Indicators and Indices”, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2016, ss.1-44.
- ŞEN Lütfi Ömer, BOZKURT Deniz, GÖKTÜRK Mert Ozan, DÜNDAR Berna, ALTÜRK Bahadır, “Türkiye’de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri”, Sabancı Üniversitesi, *İstanbul Politikalar Merkezi, Mercator-İPM Araştırma Programı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, ss. 29-30.
- ŞEN Lütfi Ömer,” Türkiye’de İklim Değişikliğinin Bütünsel Resmi”, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, Tikdek, İstanbul, 2013, ss.1-7.
- TATE E.L, GUSTARD, A,” Drought Definition: A Hydrological Perspective”, *Drought and Drought Mitigation in Europe*, 2000, ss. 23-48.
- TATLI Hasan,” Detecting persistence of meteorological drought via the Hurst exponent”, *Meteorological Applications*, 22, 2015, ss. 763-769.
- TATLI Hasan,” A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(2), 2004, ss.161-180.
- TRINH T, ISHIDA K, KAVVAS L.M, ERCAN A, CARR K,” Assessment of 21st century drought conditions at Shasta Dam based on dynamically projected water supply conditions by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology model”, *Science of the Total Environment*, 2017, ss. 1-9.
- The World Bank's Experience With Large Dams A Preliminary Review of Impacts, World Bank Report, 1996.

- THOM, H. C. S, "Some Methods of Climatological Analysis", Technical Note No. 81. WMO, Geneva, 1966, ss.1-56.
- TUĞAÇ Çiğdem, "İklim Güvenliği Açısından Su Kaynaklarının Yönetimi", Çağdaş Yerel Yönetimler", Cilt 23 Sayı 3, 2014, ss. 1-30.
- TURGU Ertan, ESKİOĞLU Osman, ÖZ Özkan, UĞURLU Alaattin, "Farklı Zaman Ölçeklerindeki Standart Yağış İndekslerinin Havza Bazında Değerlendirilmesi".
- TURP Tufan M, ÖZTÜRK Tuğba, TÜRKES Murat, KURNAZ M. Levent, "Regem4.3.5 Bölgesel İklim Modelini Kullanarak Türkiye Ve Çevresi Bölgelerin Yakın Gelecekteki Hava Sıcaklığı Ve Yağış Klimatolojileri İçin Öngörülen Değişikliklerin İncelenmesi", İzmir: *Ege Coğrafya Dergisi*, 2014, ss. 1-24.
- TÜRKES Murat, *Genel Klimatoloji Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri*, 5, Numan Ergül, Fiziki Coğrafya serisi No: 4, Kriter Yayınevi, İstanbul, Ağustos 2021.
- TÜRKES Murat, *Klimatoloji ve Meteoroloji*, Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-5863-39-6, Birinci Baskı, Kriter Yayınevi, İstanbul, 2010.
- TÜRKES Murat, "Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 2012. ss.1-32.
- TÜRKES Murat, ŞEN Ömer Lütfi, KURNAZ Levent, MADRA Ömer, ŞAHİN Ümit, "İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: İpcc 2013 Raporu", İstanbul: İstanbul Politikalar Merkezi (İPM), Sabancı Üniversitesi, 2013, ss. 35
- TÜRKES Murat, "Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler", *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 2008, ss. 26-37.
- TÜRKES Murat, "Spatial And Temporal Analysis Of Annual Rainfall Variations In Turkey", *International Journal Of Climatology*, Vol. 16, 1996, ss. 1057-1076.
- TÜRKES Murat, KOÇ Telat, SARIŞ Faize, "Türkiye'nin Yağış Toplamı Ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin Ve Eğilimlerin Zamansal Ve Alansal Çözümlemesi" *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2007, ss. 57-73.
- TÜRKES Murat, KOÇ Telat, SARIŞ Faize, "Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey" *International Journal Of Climatology, A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(8), 2009, ss. 1056-1074.
- TÜRKES Murat, TATLI Hasan, "Kuraklık Ve Yağış Etkinliği İndislerinin Çölleşmenin Belirlenmesi, Nitelenmesi Ve İzlenmesindeki Rolü", *Çölleşme İle Mücadele Sempozyumu*, 2010, ss. 245-263.
- ULUSAL SU PLANI, Tarım Ve Orman Bakanlığı, 2019-2023, ss.1-90.
- VAN VUUREN P Detlef, EDMONDS Jae, KAINUMA Mikiko, RIAHI Keywan, THOMSON Allison, HIBBARD Kathy, HURTT C. George, KRAM Tom, KREY Volker, LAMARQUE Francois- Jean, MASUI Toshihiko, MEINSHAUSEN Malte, NAKICENOVIC Nebojsa, SMITH J. Steven, ROSE K. Steven, "The representative concentration pathways: an overview", *Climatic Change*, 2011, ss.5-31.
- VOGEL M. Richard, ASCE M.A, "Reliability Indices For Water Supply Systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113(4), 1987, ss. 563-579.
- WALTHER Gian-Reto, POST Eric, CONVEY Peter, MENZEL Annette, PARMESANK Camille, BEEBEE Trevor J. C., FROMENTIN Jean-Marc, HOEGH-GULDBERG Ove, BAIRLEIN Franz, "Ecological responses to recent climate change.", *Nature* 416, 2002, ss. 389-395.
- WAN Zhanming, HONG Yang, KHAN Sadiq, GOURLEY Jonathan, FLAMIG Zachary, KIRSCHBAUM Dalia, TANG Guoqiang, "A cloud-based global flood disaster

- community cyber-infrastructure: Development and demonstration”, Environmental Modelling & Software, 2014, ss. 86-94.
- WANG Bo, YANG Sha, CHEN Chen,” Landslide dam breaching and outburst floods: A numerical model and its application”, Journal of Hydrology, 609, 2022, ss. 1-16.
- WILKS S. Daniel, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, An Introduction. Academic Press, 1995.
- WMO,”WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1999”, Geneva: World Meteorological Organization, 2000, ss. 12.
- YALILI Melike, AKAL SOLMAZ Kutlu Seval, KESTİOĞLU Kadir,” Bursa Su Kaynakları Potansiyeli Ve Kullanıcı Faktörü”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 11, Sayı 2, 2006, ss. 1-13.
- YALILI Melike, AKAL SOLMAZ Kutlu Seval,” Su Temini Tesislerinin Tarihsel Gelişimi Sürecinde Bursa İli”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 2004, ss. 171-181.
- YAKUT Emre, ELMAS Bekir, YAVUZ Selahattin, “Yapay Sinir Ağları Ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C.19, S.1, 2014, ss. 139-157.
- YILMAZ Erkan, ÇİÇEK İhsan,” Türkiye’nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri”, *Journal of Human Sciences*, 15(1), 2018, ss. 225-242.
- YU Bofu,” Theoretical Justification of SCS Method for Runoff Estimation”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1998, ss. 306-310.
- ZEYBEKOĞLU Utku, AKTÜRK Gaye,” A comparison of the China- Z Index (CZI) and the Standardized Precipitation Index (SPI) for drought assessment in the Hirfanli Dam basin in central Turkey”, *Arabian Journal of Geosciences*, 14: 2731, 2021, ss. 1-13.

#### **İNTERNET KAYNAKLARI**

- URL 1 (2020). SCİKİT LEARN <https://scikit-learn.org> (04.05.2020)
- URL 2 (2022). BUSKİ <https://www.buski.gov.tr/Icerik/IcerikDetay?url=Icme-suyuaritma-tesisleri> (30.05.2022).
- URL 3 (2022). AKILLI ŞEHİR BURSA <http://akillisehir.bursa.bel.tr/buski-scada-merkezi/81/> (30.05.2022).
- URL 4(2022). GHSL-Global Human Settlement Layer <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/about.php> (30.05.2022).
- URL 5 (2022). Region 12 - Middle Rio Grande Regional Water Plan, (2004), [https://www.ose.state.nm.us/Planning/region\\_12prior.php](https://www.ose.state.nm.us/Planning/region_12prior.php) (20.05.2022).