



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salahaldeen FARHAT

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salahaldeen FARHAT

(20278033030)

ORCID: 0000-0003-0459-7871

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Prof. Dr. Sinan UYANIK

ORCID: 0009-0004-0660-7433

TEMMUZ 2025



BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 20278033030 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Salahaldeen abdallah ahmad FARHAT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sinan UYANIK**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ahmet AYGÜN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Adem YURTSEVER
İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Savunma Tarihi : 24 Temmuz 2025
Teslim Tarihi :



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

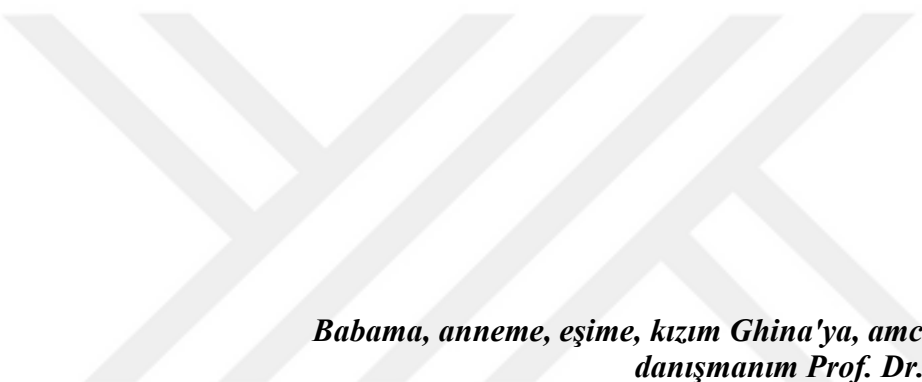
İNTİHAL BEYAN

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı: Salahaldeen FARHAT

İmzası:

(Handwritten signature of Salahaldeen Farhat)



*Babama, anneme, eşime, kızım Ghina'ya, amcam Mehmet'e ve
danışmanım Prof. Dr. Sinan Uyanık'a*

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı tamamlamamda bana en büyük desteği sağlayan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım. Her zaman yanımda olan ve bana inanan annem ile babam, beni desteklemek için hiçbir çabadan kaçınmamışlardır. Varlıkları, bu aşamayı aşmamda önemli bir rol oynamıştır.

Hayatımın her anında yanımda olan, bana güç ve motivasyon sağlayan sevgili eşime de özel teşekkürlerimi sunmak isterim. Eşim, tezimin hazırlanması süresince düşünceleriyle beni desteklemiş, varlığı ise bu sürecin en zorlu anlarında bana güç vermiştir. Türkiye’de doğan ilk kızımız da bu süreçte küçük ailemize mutluluk ve şans getirmiştir.

Son olarak, tez danışmanım Prof. Dr. Sinan Uyanık’a en içten şükranlarımı sunarım. Karşılaştığım tüm zorluklarda bana her zaman destek olmuş, bu sürecin başarıyla tamamlanmasında önemli bir rol oynamıştır. Değerli yardımları ve rehberliği için kendisine sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2025

Salahaldeen FARHAT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Ön Değerlendirme	3
1.1.1 İklim değişikliği ve küresel etkileri.....	3
1.1.2 Orta doğu ve Türkiye’de su kaynaklarına genel bakış	5
1.1.3 İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri.....	7
1.2 Araştırma Problemi	9
1.3 Çalışmanın Önemi.....	10
1.4 Araştırmanın Amaçları.....	11
1.5 Araştırma Soruları.....	12
1.6 Araştırma Yöntemi.....	12
2. LİTERATÜR TARAMASI	14
3. YÖNTEM.....	23
3.1 Araştırma Tasarımı.....	23
3.2 Veri Toplama Yöntemleri	23
3.3 Analitik Çerçeve.....	24
3.4 Çalışma Alanının Tanımı	24
3.5 Yöntemin Sınırlılıkları	25
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ KÜRESEL ETKİLERİ	26
4.1 Küresel Hidrolojik Döngülerdeki Değişiklikler.....	26
4.2 Artan Sıcaklıklar ve Su Mevcudiyeti	27
4.3 Aşırı Hava Olayları ve Su Sistemleri Üzerindeki Etkileri	29
4.4 Örnek Olaylar: Küresel Su Kaynağı Tükenişi Vakaları.....	31
5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: BÖLGESEL BİR GENEL BAKIŞ.....	33
5.1 Orta Doğu’da İklim Değişikliği Eğilimlerine Genel Bir Bakış	33
5.2 Kurak ve Yarı Kurak Bölgelerde Su Kaynaklarının Kırılganlığı.....	34
5.3 Su Kıtlığının Sosyoekonomik ve Politik Etkileri.....	35
5.4 Orta Doğu’da Uyum Stratejileri	35
6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE’DEKİ SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	37
6.1 Türkiye’de İklim Değişikliğine Genel Bakış	37
6.2 Yağış Desenlerindeki Değişimler	39
6.3 Büyük Nehirler ve Göller Üzerindeki Etkiler	42

6.4 Tarım ve Hidroelektrik Üzerindeki Etkiler	44
7. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ.....	46
7.1 Küresel, Bölgesel ve Türkiye’ye Özgü Etkilerin Karşılaştırılması.....	46
7.2 Küresel ve Bölgesel Uyum Stratejilerinden Çıkarılan Dersler	48
7.3 Türkiye’nin Kendine Özgü Zorlukları ve Fırsatları	49
8. TARTIŞMA	51
8.1 Bulguların Yorumlanması.....	51
8.2 Su Kaynakları Yönetimi Üzerindeki Çıkarımlar.....	52
8.3 Politika Önerileri	54
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ.....	67



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AR	: Atmospheric Rivers
CA	: Conservation Agriculture
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ESKY	: Entegre Su Kaynakları Yönetimi
ESK	: Entegre su kaynakları yönetimi
ETC	: Crop Evapotranspiration (the amount of water lost through evaporation and transpiration specific to a given crop under specific climatic conditions)
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GCC	: Gulf Cooperation Council
GIS	: Geographic Information Systems
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GWS	: Groundwater Storage
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
MBR	: Membrane Bioreactor
PPR	: Paris Agreement Rulebook
SPI	: Standard Precipitation Index
WMO	: World Meteorological Organization

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Orta Doğu’da başlıca iklim olayları (1980–2024)	4
Çizelge 5.1: Orta Doğu’daki seçilmiş ülkelerde yıllık ortalama yağış miktarındaki değişim (1980–2019)	34
Çizelge 6.1: Türkiye’de yıllık ortalama yağış (mm)	40
Çizelge 6.2: Türkiye’deki başlıca nehirler ve göller üzerindeki iklim değişikliğinin etkisi	42



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Küresel kara ve okyanus sıcaklık endeksi	4
Şekil 1.2: Ülkelerin 2040 yılına kadar beklenen su stresi düzeyleri	6
Şekil 1.3: Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemine göre on iki aylık meteorolojik kuraklık	7
Şekil 1.4: Bölgesel su döngüleri üzerindeki iklim değişikliği etkileri	9
Şekil 2.1: Ormansızlaşma ve endüstriyel kirlilik: çevresel bozulmanın tetikleyicileri	15
Şekil 2.2: Küresel su kaynaklarının dağılımı	16
Şekil 2.3: Mevsimsel kuraklık sonrası Konya'daki Akşehir Gölü'nün çatlamış topraklarında ölü ördekler yatıyor	18
Şekil 2.4: Türkiye kuraklık haritası	19
Şekil 4.1: PRECIS tarafından simüle edilen 1961–1990 dönemine kıyasla 2040–2069 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarındaki yüzde değişim	27
Şekil 4.2: Önümüzdeki 30 yıl boyunca Dicle ve Fırat nehirlerindeki ortalama sıcaklıklarda öngörülen değişiklikler	28
Şekil 4.3: Türkiye'nin kuzeyindeki Karabük'te sel nedeniyle evler çöktü, 29 Haziran 2022	30
Şekil 4.4: Fırat Nehri'nin beslediği Irak'ın bataklıkları, yağışların azalması ve hava sıcaklıklarının artması nedeniyle kuruyor	32
Şekil 5.1: İskenderiye sokakları yarım saatlik fırtınanın ardından sular altında kaldı 30 Mayıs 2025	33
Şekil 6.1: 1981-2020 Yılları arasında Türkiye'de genel kuraklık analizi	38
Şekil 6.2: Türkiye'de yıllık alan yağışı (mm)	40
Şekil 6.3: Nilüfer Barajı, 2022 yılında tamamen kurudu	41
Şekil 6.4: Önümüzdeki 30 yıl içinde Fırat ve Dicle nehirlerinde yıllık ortalama yağış miktarındaki öngörülen değişiklikler	43
Şekil 7.1: Dünya ve Türkiye'deki yıllık ortalama sıcaklık eğilimleri	46
Şekil 8.1: Şanghay'daki Xuhui Pist Parkı'nda kentsel canlandırma projesi	54

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışma, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki karmaşık etkilerini Türkiye ve genel olarak Orta Doğu bağlamında ele almaktadır. Bölge, kurak iklim özellikleri, uluslararası nehirlere olan bağımlılığı ve artan su talebi nedeniyle iklim değişikliğine karşı oldukça hassastır. Yağışların azalmasıyla birlikte sıcaklıkların yükselmesi ve aşırı hava olaylarının daha sık görülmesi, hidrolojik döngüyü ciddi biçimde etkilemiş; bu durum tarım, tatlı su kaynaklarının sürekliliği, ekosistem dengesi ve üretkenlik açısından önemli risklerin doğmasına yol açmıştır. Araştırma, bütüncül bir yaklaşımla kurgulanmıştır; güncel bilimsel yayınlar, iklim modelleri ve bölgeye özgü meseleler bir araya getirilerek karşılaşılan zorluklar ve önerilen uyum stratejileri kapsamlı biçimde analiz edilmiştir.

Türkiye özelinde iklim değişikliğinin etkileri; nehir debilerinde azalma, yeraltı suyu yenilenmesinde yetersizlik ve başta Tuz Gölü ile Van Gölü olmak üzere büyük göllerdeki küçülmeler şeklinde kendini göstermektedir. Bu değişiklikler, ülke ekonomisinin iki temel sektörü olan tarım ve hidroelektrik enerji üretimi üzerinde derin etkiler yaratmaktadır. Su rejiminde ortaya çıkan düzensizlikler, entegre kaynak yönetimi eksiklikleri ve iklim sorumluluğunu önceleyen yönetim sistemlerinin yetersizliği mevcut durumu daha da karmaşık hâle getirmektedir. Bu bağlamda, akıllı tarım uygulamaları, yeşil enerji çözümleri ve komşu ülkelerle geliştirilecek su iş birliklerini içeren daha hedef odaklı uyum politikalarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır.

Tez kapsamında, iklim değişikliğine karşı direnç kapasitesini artırmayı hedefleyen çeşitli politika önerileri bütünleştirilmiştir. Bu politikalar arasında yeşil altyapıların geliştirilmesi, ekosistemlerin onarımı, sulama altyapısının modernize edilmesi ve etkin su koruma programlarına yatırım yapılması gibi stratejiler yer almaktadır. Gelecekte yapılması önerilen araştırmalar; bölgenin iklimsel eğilimleri, yapısal zafiyet alanları, yenilikçi çözüm teknolojileri ve su kıtlığının yerelleştirilmiş sosyo-politik etkileri üzerine odaklanmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Su kaynakları, Uyum stratejileri, Tarım, Hidroelektrik.

CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACTS ON WATER RESOURCES

SUMMARY

This research examines the complex effects of climate change on water resources in terms of Turkish and Middle East as a whole. The region is sensitive due to its dry climate, dependence on international rivers and increase in demand for water. The decline in coupled rains with rising temperatures and more frequent extreme weather events has greatly affected the hydrological cycle, which increases the risk of agriculture, freshwater, stability of ecosystem and productivity. The attention of this research is integrated in nature; It combines recent scientific publications, climate models and dress regional matters to analyze challenges and proposed adaptation measures.

In Türkiye, the effect of climate change is associated with low river flow, low groundwater recharge, and contractions of major lakes, lake toz and lake vans. These changes have a profound impact on two major sectors of the national economy, agriculture and hydroelectric production. Identify intervals in water regime, integrated development and lack of climate responsible management systems. Climate is an urgent need for more concentrated adaptive approaches such as smart agriculture, green energy, and water cooperation with neighboring countries.

The thesis integrates a set of policies to increase the flexibility of climate change. Policies include green infrastructure, restoration of ecosystem, updating irrigation facilities and investment in active water conservation programs. The suggested future research includes climate, known weaknesses of the region, innovative problem-solution technologies and localized effects of socio-political aspects of water scarcity.

Keywords: Climate change, Water resources, Adaptation strategies, Agriculture, Hydropower.

1. GİRİŞ

İklim değışikliğı, 21. yüzyılın en hayati küresel meselelerinden biri hâline gelmiş ve doğal sistemlerle insan toplumları üzerinde derin etkiler yaratmıştır. Bu olgunun yansımaları arasında küresel sıcaklık artışları, değışen yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının sıklığı ile şiddetinde gözle görülür artışlar yer almaktadır. Söz konusu değışimler büyük ölçüde atmosferdeki sera gazı yoğunluklarının artmasına atfedilmekte olup, bu artışlar esasen fosil yakıt kullanımına, ormansızlaşmaya ve hızlı, sürdürülemez kentleşmeye dayalı insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu iklimsel dönüşümlerin zincirleme etkileri, ekosistemleri, ekonomileri ve toplumsal yapıları yeniden şekillendirerek, acil müdahale ve kapsamlı politika eylemleri gerektiren bir süreci beraberinde getirmektedir.

İklim değışikliğinin doğurduğu çok sayıda sonuç arasında, su kaynakları üzerindeki etkileri özellikle kaygı vericidir. Su, yaşamın sürdürülmesi, ekonomik faaliyetlerin yürütülmesi ve toplumsal refahın sağlanması açısından vazgeçilmez bir unsurdur. İklim değışikliğı, mevcut su sistemlerindeki kırılganlıkları derinleştirerek tatlı su mevcudiyetini azaltmakta, buharlaşma oranlarını artırmakta ve su kaynaklarının mekânsal ve zamansal dağılımını bozarak ciddi dengesizlikler yaratmaktadır. Bu sorunlar, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde —örneğin Orta Doğu’da— çok daha belirgin hâle gelmektedir. Bu gibi bölgelerde yüzey ve yeraltı su kaynaklarına olan yoğun bağımlılık, iklim kaynaklı kesintilere karşı bölgesel kırılganlığı daha da artırmaktadır.

İklim değışikliğı, küresel ölçekte su mevcudiyetine ilişkin kalıpları önemli ölçüde dönüştürmüştür. Küresel ısınmanın doğrudan sonucu olan deniz seviyesi yükselmesi, nehir akışlarında azalmaya, yeraltı su rezervlerinin tükenmesine ve kıyı bölgelerindeki tarım arazilerinin tuzlanmasına yol açmaktadır. Bu tür değışiklikler yalnızca doğal ekosistemleri tehdit etmekle kalmamakta, aynı zamanda geçimini tarıma dayandıran insan topluluklarının yaşamlarını da doğrudan riske atmaktadır.

Tropikal ve kutup bölgeleri, suyla ilişkili iklimsel kırılganlıkların öne çıktığı başlıca sıcak noktalar hâline gelmiştir. Tropikal bölgelerde yağış rejimlerindeki değışimler

sıklıkla şiddetli kuraklık ya da taşkınlara yol açarken, kutup bölgeleri ise buzulların ve buz tabakalarının hızla erimesine sahne olmaktadır. Bu olgular, yalnızca su kıtlığını derinleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda küresel gıda güvenliği, enerji üretimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından da geniş kapsamlı sonuçlar doğurmaktadır. Bu birbirine bağlı sorunlar, iklim değişikliğinin karmaşık dinamiklerini ele alabilecek güçlü ve uyarlanabilir su yönetimi stratejilerine olan acil gereksinimi açıkça ortaya koymaktadır.

Orta Doğu, dünyanın en yüksek su stresi yaşayan bölgelerinden biridir ve bu durum, bölgeyi iklim değişikliğinin etkilerine karşı son derece hassas kılmaktadır. Ağırlıklı olarak kurak ve yarı kurak iklime sahip olan bu coğrafyada, sınırlı su kaynaklarının yönetimi zaten başlı başına büyük bir zorluktur. Yağış düzenlerindeki iklim kaynaklı değişiklikler ve yükselen sıcaklıklar, bu zorlukları daha da şiddetlendirerek su kıtlığını derinleştirmekte ve mevcut altyapılar üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

Bölgedeki su kırılganlığını artıran temel etkenlerden biri, Fırat, Dicle ve Nil gibi sınır aşan nehirlere olan bağımlılıktır. Ortak kullanıma konu olan bu su kaynakları, çeşitli jeopolitik gerilimlere sahne olmakta ve bu durum, iş birliğine dayalı ve sürdürülebilir yönetim modellerinin geliştirilmesini güçleştirmektedir. Körfez İşbirliği Konseyi (GCC) ülkelerinde ise azalan yağış miktarları ve artan buharlaşma oranları, tuzdan arındırma teknolojilerine olan bağımlılığı zorunlu hâle getirmiştir. Her ne kadar içme suyu temininde etkili olsa da, bu teknolojiler yüksek enerji tüketimi gerektirmekte ve sera gazı emisyonlarını artırarak iklim üzerindeki olumsuz etkileri pekiştirmektedir. Bu nedenle, daha sürdürülebilir ve iklim dirençli çözümlere duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Çeşitli hidrolojik kaynaklara sahip olan Türkiye de iklim değişikliği nedeniyle ciddi su sorunlarıyla karşı karşıyadır. Fırat ve Dicle gibi önemli nehirler, artan sıcaklıklar ve değişen yağış modellerine bağlı olarak akış rejimlerinde önemli değişiklikler yaşamaktadır. Bu değişimler, özellikle Türkiye ekonomisinin ve kırsal yaşamın temelini oluşturan tarım sektörü başta olmak üzere, suya bağımlı kritik alanlarda ciddi aksamalar yaratmaktadır.

Yeraltı suyu tükenmesi ve baraj rezervuarlarındaki doluluk oranlarının azalması, Türkiye'nin su altyapısı üzerindeki artan baskıyı gözler önüne seren diğer önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Özellikle ülkenin dağlık bölgelerinde bulunan ve nehir besleniminin temel kaynaklarından biri olan kar örtüsünün azalması, su

mevcudiyetini daha da kısıtlamıştır. Bu çok katmanlı sorunlar, iklim uyumu önlemlerini içeren, suyun verimli kullanımını teşvik eden ve bölgesel iş birliğini güçlendiren kapsamlı su yönetim stratejilerine duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

İklim değişikliğinin küresel ve bölgesel su kaynakları üzerindeki derin etkileri, ortaya çıkan yeni sorunlara karşı kolektif ve kararlı müdahaleleri zorunlu kılmaktadır. Özellikle Orta Doğu ve Türkiye gibi yüksek su stresi altında bulunan bölgeler, acil ve yenilikçi müdahale mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla sürdürülebilir su yönetimi politikalarının geliştirilmesi ve etkin biçimde uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda öne çıkan temel stratejiler arasında; yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan tuzdan arındırma teknolojilerinin benimsenmesi, atık su geri dönüşümünün ileri teknolojiyle desteklenmesi ve dirençlilik ile adaleti esas alan uyarlanabilir yönetim modellerinin oluşturulması bulunmaktadır. Özellikle ortak su kaynaklarının yönetiminde bölgesel iş birliği, sürdürülebilir çözümler için vazgeçilmez bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi ve ulusötesi iş birliğinin teşviki sayesinde, ülkeler hem iklim değişikliğinin çok boyutlu etkilerine karşı daha dirençli hâle gelebilir hem de gelecek kuşaklar için güvenli ve sürdürülebilir su kaynaklarının teminini sağlayabilir.

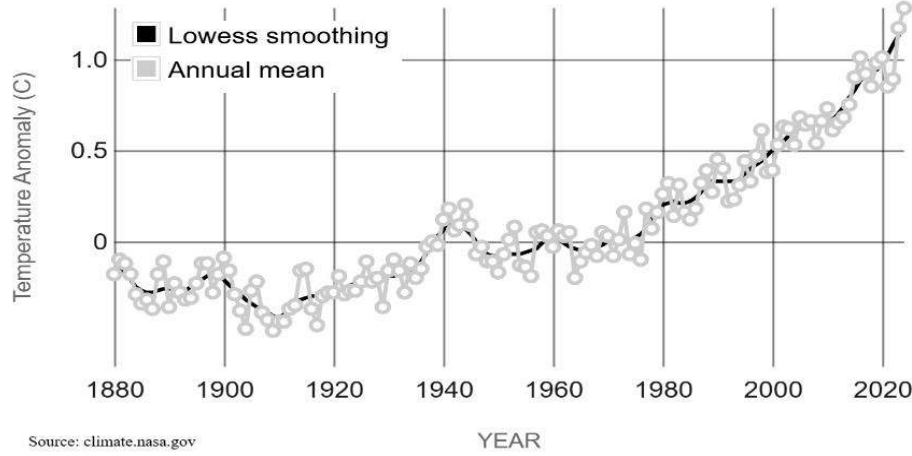
1.1 Ön Değerlendirme

1.1.1 İklim değişikliği ve küresel etkileri

İklim değişikliği, hava durumu modellerinde ve küresel sıcaklık seviyelerinde uzun vadeli sapmaları ifade eder ve bu değişimlerin temelinde fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma ve sera gazı emisyonlarının artması gibi insan faaliyetleri yatmaktadır. Söz konusu değişiklikler, iklimdeki doğal dalgalanmalardan ibaret olmayıp; ekosistemlerin istikrarını ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini dünya genelinde tehdit eden kalıcı dönüşümler olarak değerlendirilmelidir (Adedeji, 2014).

Küresel düzeyde bakıldığında, iklim değişikliği insan toplumları ile ekosistemleri tehdit eden ciddi bir meydan okuma niteliği taşımaktadır. Artan küresel sıcaklıklar, kutup bölgelerinde buzulların erimesi ve deniz seviyelerinin yükselmesi gibi sonuçlar doğurmaktadır. Bu gelişmeler, özellikle su kaynakları gibi doğrudan etkilenen doğal

kaynaklar üzerinde belirgin bir baskı oluşturmaktadır. Örneğin, sıcaklıkların artması buharlaşma oranlarını yükselterek mevcut su miktarını azaltmakta; yağış rejimlerindeki kaymalar ise bazı bölgelerde sellere, diğerlerinde ise kuraklıklara yol açmaktadır (Majedul Islam, 2022).



Şekil 1.1: Küresel kara ve okyanus sıcaklık endeksi (Kaynak: Url-1).

Ayrıca, iklim değişikliği; kasırga, fırtına ve aşırı sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olaylarının hem sıklığını hem de şiddetini artırarak çevresel ve ekonomik riskleri daha da derinleştirmektedir. Ekonomik açıdan bakıldığında, su kıtlığı tarımsal ve endüstriyel üretimi olumsuz etkileyerek gıda güvenliğini tehlikeye atmakta ve suya bağımlı ekonomileri kırılgan hâle getirmektedir. Sosyal açıdan ise, iklim kaynaklı stres unsurları toplumsal çatışmaları tetikleyebilmekte ve özellikle kırılgan ve yoksul toplumlar başta olmak üzere insan göçünü zorunlu hâle getirebilmektedir (Naz ve Saleem, 2024).

Çizelge 1.1, 1980 ile 2024 yılları arasında Orta Doğu bölgesinde meydana gelen başlıca aşırı iklim olaylarını göstermektedir. Bu olaylar, iklim değişikliğinin bölgedeki etkilerine dair önemli göstergeler sunmaktadır.

Çizelge 1.1: Orta Doğu'da başlıca iklim olayları (1980–2024).

Tarih	Olay
1998–2012	Suriye ve Irak'ta tarihi kuraklık
2007–2012	Doğu Akdeniz'de uzun süreli kuraklık (EMME)
2003	Suudi Arabistan'da 176°F'ye kadar ulaşan aşırı sıcaklıklar
2013	Levant bölgesinde Alexa kış fırtınası
2019	İran'da sel felaketleri (4.1 milyar \$ zarar)

Çizelge 1.2 (devam): Orta Doğu’da başlıca iklim olayları (1980–2024).

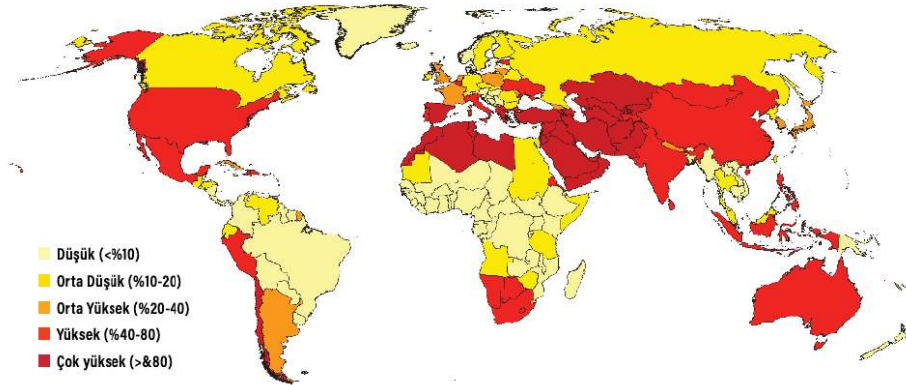
Tarih	Olay
Mart 2020	Doğu Akdeniz’de kum ve toz fırtınası (Ejderha Fırtınası)
Yaz 2020	Yemen’de şiddetli yağmurlar ve seller
Eylül 2020	Sudan’da 3 milyon kişiyi etkileyen seller
2021	Suriye, Irak ve İran’da sıcak hava dalgaları ve kuraklık
Nisan 2024	Körfez’de birçok ülkeyi etkileyen büyük seller
15–16 Nisan 2024	Dubai’de 75 yılın en yüksek 24 saatlik yağış miktarı
Haziran 2024	Mekke’de Hac sırasında 51.8°C ile ölümcül sıcak hava dalgası
Eylül 2023	Libya, Suriye, Türkiye ve Mısır’da etkili olan Daniel Fırtınası
Haziran 2024	Suudi Arabistan’da normalin 2.5°C üzerinde aşırı sıcak hava dalgası

Çizelge 1.1’den elde edilen bulgulara göre, Orta Doğu’da son kırk yılda gözlemlenen aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetindeki belirgin artış, bölgenin iklim değişikliğine karşı son derece kırılgan olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, iklim sistemindeki yapısal değişimlerin su döngüsü ve sıcaklık rejimleri üzerindeki etkilerini yansıtarak.

İklim değişikliğinin etkileriyle başa çıkabilmek, yenilikçi teknolojilerin—örneğin deniz suyunun tuzdan arındırılması ve atık suyun geri dönüşümü gibi çözümlerle—uyum stratejilerine entegre edilmesini ve doğal kaynakların yönetimine ilişkin bütüncül politikaların geliştirilmesini gerektirmektedir (Vushe, 2021). Bu nedenle, hem uluslararası hem de yerel düzeyde iş birliği, iklim değişikliğinin yıkıcı sonuçlarını azaltmak ve gelecek nesiller için yaşamsal kaynakları korumak açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1.2 Orta doğu ve Türkiye’de su kaynaklarına genel bakış

Su kaynakları, Orta Doğu ve Türkiye’nin karşı karşıya bulunduğu en kritik stratejik ve çevresel sorunlar arasında yer almaktadır (Harmancıoğlu ve Altınbilek, 2020). Orta Doğu bölgesi, sınırlı su kaynaklarına ve kurak ile yarı kurak iklim koşullarına sahip olması nedeniyle, küresel ölçekte en fazla su sıkıntısı yaşayan bölgelerden biridir. Fırat, Dicle ve Nil gibi büyük nehirler, bölgedeki su kaynakları manzarasını şekillendirmekte; tarım, içme suyu temini ve sanayi gibi hayati sektörler için temel kaynak işlevi görmektedir (Jawad, 2021). Ancak bu nehirler, iklim değişikliği, artan insan kaynaklı talep ve sınır aşan su kaynaklarına ilişkin jeopolitik gerilimler nedeniyle sürekli artan bir baskı altındadır.

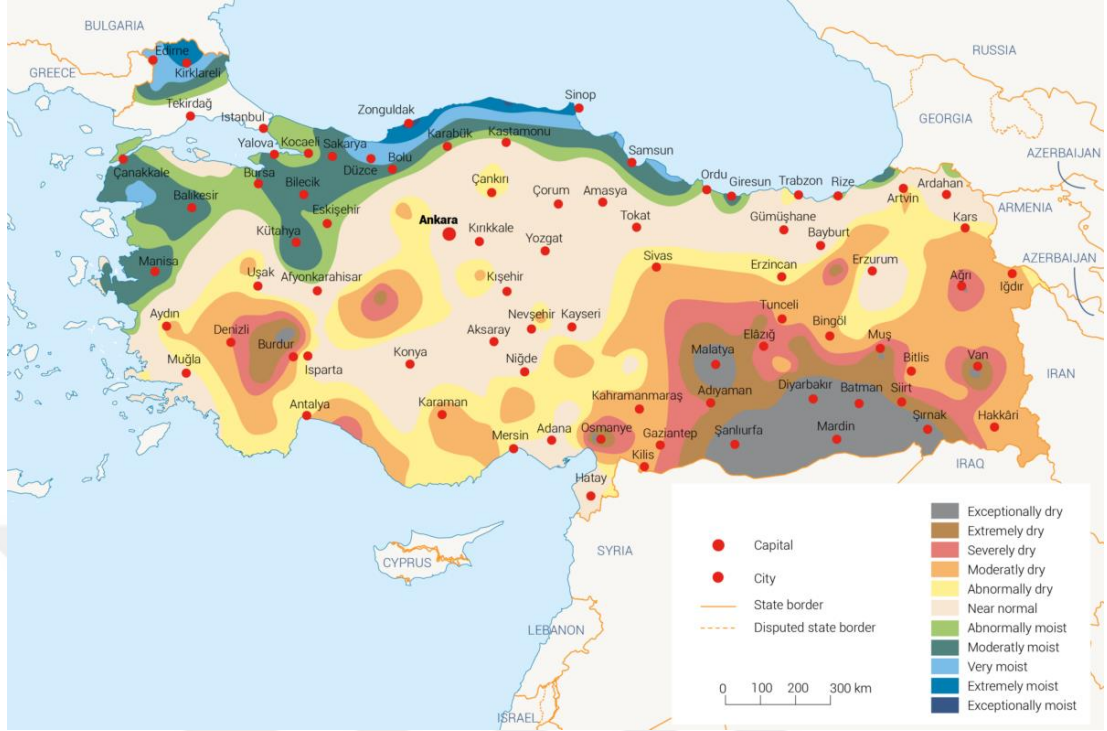


Şekil 1.2: Ülkelerin 2040 yılına kadar beklenen su stresi düzeyleri (Kaynak: Url-2).

Şekil 1.2'ye göre, 2040 yılı itibarıyla en ciddi su kıtlığı riski altında bulunan 33 ülkenin 14'ünün Orta Doğu'da yer alması, bölgenin iklim değişikliğine karşı özellikle su güvenliği bağlamında son derece kırılgan olduğunu ortaya koymaktadır. Artan sıcaklıklar, tatlı su kaynaklarının azalması ve hızlı nüfus artışı gibi faktörlerin birleşimi, mevcut su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır.

Benzer şekilde, Türkiye de önemli su kaynaklarına sahip bir ülke olarak kabul edilmekte ve Fırat ile Dicle gibi birçok büyük nehrin kaynağı konumunda stratejik bir coğrafyada yer almaktadır. Türkiye, hem iç ihtiyaçlarını karşılayan hem de komşu ülkelere su sağlayan geniş bir nehir, göl ve yeraltı suyu ağına sahiptir. Ancak son yıllarda, artan iç talep, nüfus büyümesi ve iklim değişikliğinin giderek şiddetlenen etkileri nedeniyle su kaynaklarının yönetiminde ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Birpınar ve Tuğaç, 2018).

Bölge genelinde sürdürülebilir su kaynakları yönetimi konusunda ciddi zorluklar yaşanmaktadır. Orta Doğu'da, yüzey ve yeraltı su kaynaklarına olan yoğun bağımlılık, bu kaynakların aşırı kullanılmasına yol açmakta; araştırmalar, kurak ve yarı kurak alanların özellikle sürdürülebilir olmayan insan faaliyetleri nedeniyle şiddetlenen su kıtlığından ağır biçimde etkilendiğini ortaya koymaktadır (Seth 2003, pp 289-341). Buna ek olarak, sınır aşan su kaynaklarının ortak kullanımı konusundaki anlaşmazlıklarda siyasi gerilimler açık şekilde görülmekte; Fırat, Dicle ve Nil nehirleri, ortak su kaynaklarının yönetimiyle ilgili jeopolitik zorluklara örnek teşkil etmektedir.



Şekil 1.3: Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemine göre on iki aylık meteorolojik kuraklık (Agir ve diğ., 2023).

Türkiye bağlamında ise, bölge için adeta bir "su deposu" niteliğinde olması, hem siyasi hem de çevresel açıdan önemli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu durum, ulusal su ihtiyaçlarının karşılanması ile bölgesel sorumlulukların yerine getirilmesi arasında hassas bir denge kurulmasını gerektirmektedir. Türkiye aynı zamanda, yağış rejimlerini ve yüzeysel akış oranlarını etkileyen iklim değişikliğinin somut etkilerini de deneyimlemekte ve bu durum su kaynaklarının etkin yönetimini daha da karmaşık hâle getirmektedir (Aktaş, 2014).

1.1.3 İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri

İklim değişikliği, özellikle hâlihazırda su kıtlığı yaşayan bölgelerde olmak üzere, dünya genelinde su kaynaklarını etkileyen en güçlü etkenlerden biri hâline gelmiştir. İklim değişikliği, hidrolojik döngüde köklü değişimlere yol açarak suyun dağılımını, erişilebilirliğini ve kalitesini ciddi biçimde etkilemektedir (Kundzewicz, 2008). Bu bağlamda öne çıkan başlıca etkiler; sıcaklıkların yükselmesi, yağış rejimlerindeki kaymalar ve kuraklık ile taşkınlar gibi aşırı hava olaylarının sıklık ve şiddetinde yaşanan artışlardır.

Orta Doğu'da iklim değişikliğine bağlı sorunlar son derece belirgin şekilde gözlemlenmektedir. Yükselen sıcaklıklar, buharlaşma oranlarını hızlandırarak kullanılabilir su miktarını azaltmakta; aynı zamanda, yağış düzenlerindeki bozulmalar birçok bölgede kuraklık koşullarını ağırlaştırmakta ve bu durum hem su hem de gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bölge açısından çölleşme, iklim değişikliğinin başlıca sonuçlarından biridir. Su kıtlığı, toprak bozunumu ve tarımsal üretkenlikte azalmaya neden olarak ekonomik ve sosyal baskıları artırmaktadır (Le Hou  rou, 1996).

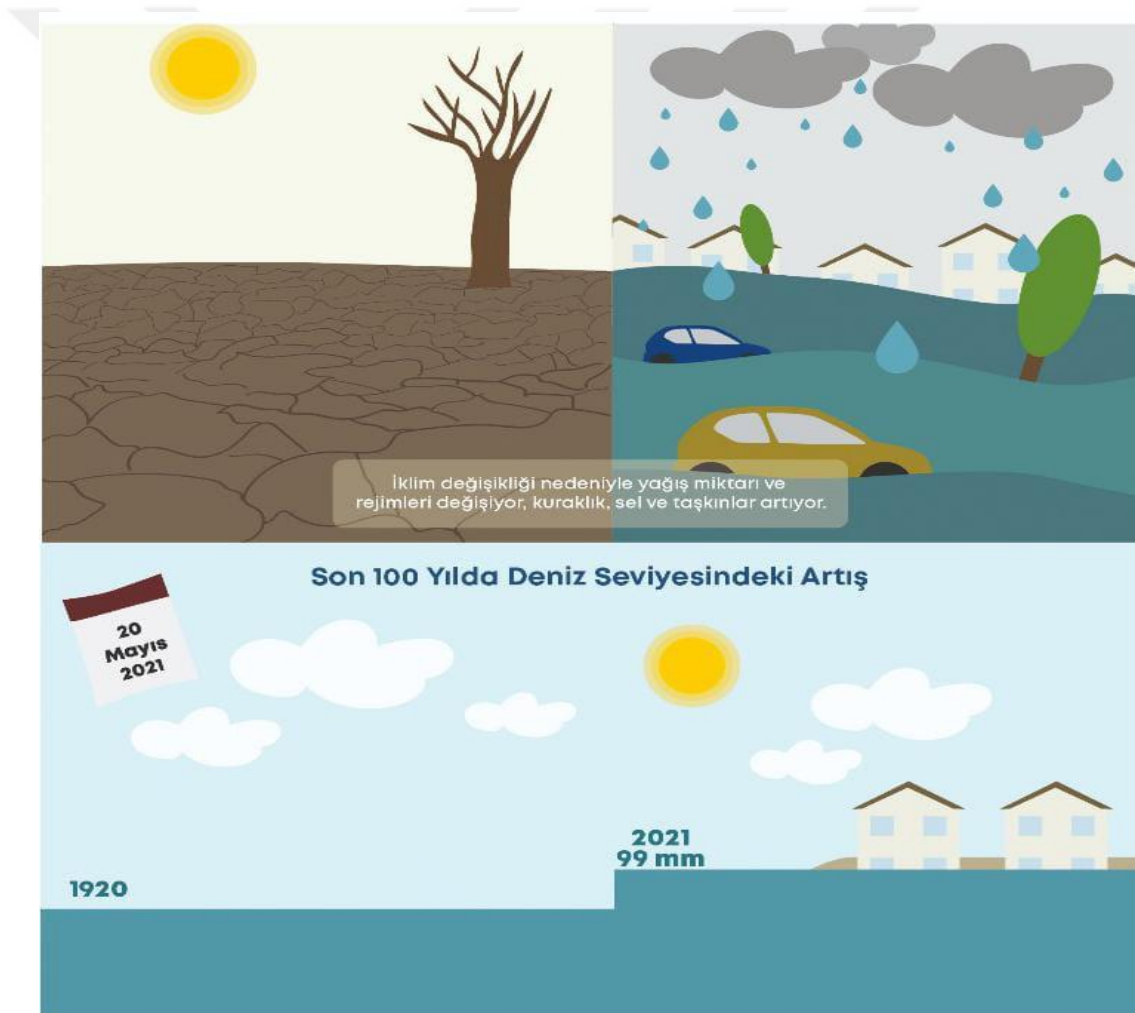
Türkiye'de de iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri belirgin bir şekilde hissedilmektedir. Ülkede yağış rejimlerinde önemli değişimler gözlenmiş; özellikle kış yağışlarında yaşanan azalma, nehirlerin ve g llerin beslenmesi açısından kritik öneme sahip su kaynaklarını olumsuz etkilemiştir. Bununla birlikte, dağlık bölgelerde kar örtüsünün hızla erimesi uzun vadeli nehir akışlarını azaltmıştır. Bu değişimler, Türkiye'nin elektrik üretimi ve tarımsal sulama gibi temel ekonomik sektörlerinin doğrudan suya bağımlı olması nedeniyle, ülke ekonomisini ve kırsal yaşamı doğrudan tehdit etmektedir (Yüksel, 2010).

Bölgesel düzeyde, iklim değişikliği su paylaşımıyla ilgili siyasi gerilimleri daha da derinleştirmektedir (Maghen ve Kronich, 2020). Su kaynaklarının mevcudiyeti azaldıkça, ülkeler üzerindeki, tüm paydaşların çıkarlarını güvence altına alacak sürdürülebilir çözümler geliştirme baskısı artmaktadır. Bu tür çözümler arasında, su kullanım verimliliğinin artırılması, geri dönüşüm teknolojilerinin teşvik edilmesi ve geleneksel su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak amacıyla tuzdan arındırma yöntemlerinin benimsenmesi yer almaktadır.

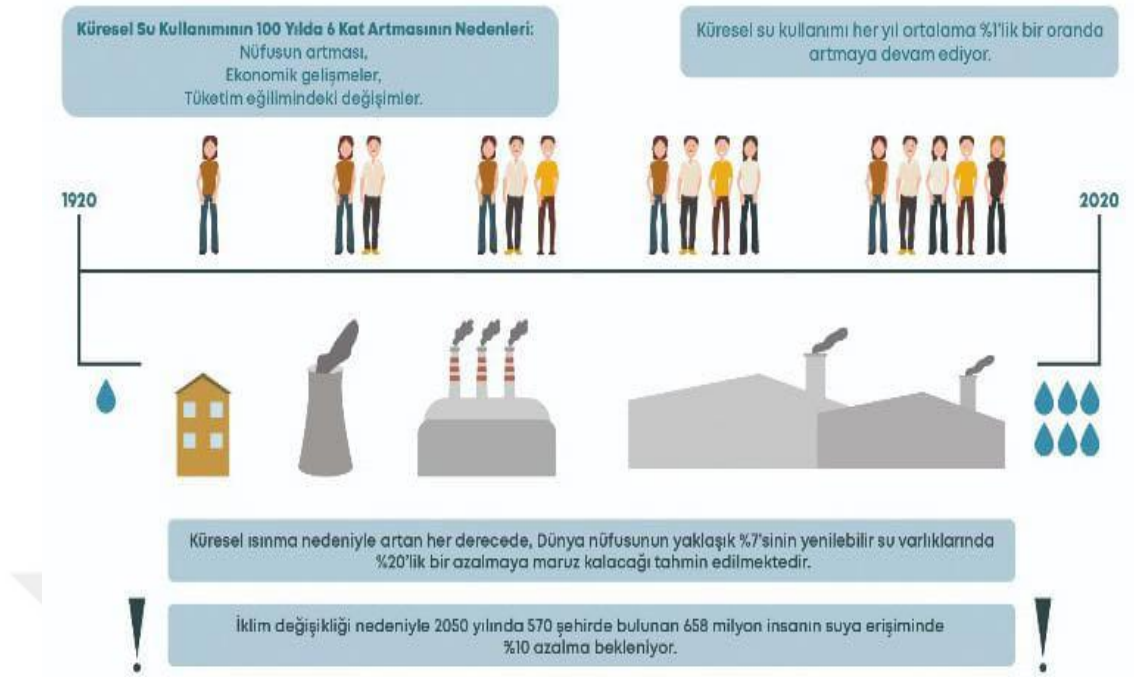
Orta Doğu ve Türkiye'de su kaynakları meselesi, çevresel, coğrafi ve siyasi etkenlerin i  içe geçmesi nedeniyle en karmaşık sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Selby, 2003). İ lim değişikliğinin giderek artan etkileri göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir ve etkili su kaynakları yönetimine duyulan ihtiyaç her zamankinden daha acil hâle gelmiştir. Bu hedefe ulaşmak; ülkeler arası iş birliğini, su yönetimi alanında yenilikçiliği ve hem iklimsel hem de bölgesel zorluklara yanıt veren sürdürülebilir bir gelecek için stratejik planlamayı zorunlu kılmaktadır (Margerum ve Robinson, 2015).

1.2 Araştırma Problemi

Araştırma problemi, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki giderek artan olumsuz etkilerinde yatmaktadır. Bu küresel sorun, iklimsel, coğrafi ve ekonomik koşullara bağlı olarak bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Türkiye özelinde ise bu sorun, ülkenin coğrafi konumu ve değişen iklim koşulları nedeniyle daha da karmaşık bir hâl almaktadır. Yağış rejimlerindeki belirgin değişiklikler, nehir debilerinde azalma ve yeraltı su rezervlerinin tükenmesi, bu etkiyi somutlaştıran başlıca göstergelerdir. Söz konusu değişimler, sadece su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit etmekle kalmamakta, aynı zamanda tarım, enerji ve sanayi gibi suya bağımlı sektörlerin işleyişini de ciddi biçimde sekteye uğratmaktadır.



Şekil 1.4: Bölgesel su döngüleri üzerindeki iklim değişikliği etkileri (Kaynak: Url-3).



Şekil 1.5 (devam): Bölgesel su döngüleri üzerindeki iklim değişikliği etkileri (Kaynak: Url-3).

1.3 Çalışmanın Önemi

Bu araştırmanın önemi, Türkiye'nin Orta Doğu'da su kaynaklarının başlıca kaynak ülkelerinden biri olması gerçeği dikkate alındığında daha da belirgin hâle gelmektedir. Fırat ve Dicle gibi büyük nehirlerin Türkiye sınırları içerisinde doğuyor olması, ülkeyi bölgesel su güvenliği açısından stratejik bir konuma taşımaktadır. Ancak, bu nehirler; iklim değişikliğinin neden olduğu akış seviyelerindeki azalma ve ortak su kaynaklarının yönetimine ilişkin jeopolitik gerilimler gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Ayrıca, Türkiye'nin dağlık bölgelerinde yer alan ve nehirlerin beslenmesinde temel kaynak işlevi gören kar örtüsünün erimesi, uzun vadede su mevcudiyetini daha da azaltmaktadır.

Bu araştırma, su kaynaklarının yönetimine yönelik yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere duyulan acil ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda, özel bir öneme sahiptir. Su, Türkiye ekonomisinin temel dayanaklarından biri olan tarım sektörünün sürdürülebilirliği açısından kritik rol oynamaktadır; zira mevcut su kaynaklarının önemli bir bölümü bu sektör tarafından tüketilmektedir. Dolayısıyla, su kaynaklarının güvence altına alınması, hem gıda güvenliğinin sağlanması hem de ekonomik

kalkınmanın sürekliliği açısından hayati önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, Türkiye'nin karşı karşıya bulunduğu çevresel ve jeopolitik baskılar, iklimsel ve bölgesel faktörleri dikkate alan bütüncül su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1.4 Araştırmanın Amaçları

Bu çalışmanın temel amacı, iklim değişikliğine bağlı olarak giderek artan su kıtlığı sorununu ele almak; bu kapsamda sürdürülebilirlik ve dirençlilik ilkelerini önceleyen çözüm önerileri geliştirmek ve mevcut zorlukları kapsamlı biçimde analiz etmektir. Araştırma, özellikle su stresi altında bulunan bölgeler olan Orta Doğu ve Türkiye'ye odaklanmakla birlikte, küresel ölçekteki bağlamı da göz önünde bulundurarak, su kaynakları yönetimi alanında çalışan karar alıcılar ve akademisyenler için önemli katkılar sunmayı hedeflemektedir.

Bu doğrultuda çalışmanın amaçları şunlardır:

- İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini küresel, bölgesel ve yerel düzeylerde analiz etmek.
- Yüksek su stresi yaşayan kurak ve yarı kurak bölgeler başta olmak üzere, Orta Doğu ve Türkiye özelinde karşılaşılan zorlukları ve sınır aşan nehirlerin dinamiklerini incelemek.
- Tuzdan arındırma teknolojileri, atık su geri dönüşümü ve etkin sulama yöntemleri gibi mevcut çözümlerin, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini hafifletmedeki etkinliğini değerlendirmek.
- İklimsel, jeopolitik ve ekonomik faktörleri bütüncül biçimde ele alan, farklı bölgelere uyarlanabilir sürdürülebilir su yönetimi stratejileri önermek.
- İklim değişikliği ile su kaynakları arasındaki çok boyutlu ilişkilere dair bilimsel ve politika temelli anlayışı derinleştirerek, küresel ve bölgesel su yönetimi uygulamalarında bilinçli karar almayı desteklemek.

Bu bütüncül yaklaşım, çalışmanın yalnızca Orta Doğu ve Türkiye'nin özgün sorunlarını ele almakla kalmayıp, aynı zamanda geniş bir bağlama uygulanabilir analiz ve öneriler sunmasını da mümkün kılmaktadır.

1.5 Araştırma Soruları

- İklim değişikliğinin küresel, bölgesel ve yerel düzeylerde su kaynaklarının mevcudiyeti üzerindeki başlıca etkileri nelerdir?
- Arid, yarı arid ve ılıman iklimler gibi farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri nasıl farklılık göstermektedir?
- Özellikle Orta Doğu ve Türkiye gibi bölgelerde, iklim değişikliğinin baskısı altında sınır aşan nehirlerin yönetimi ne tür zorluklar ve sonuçlar doğurmaktadır?
- İklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini azaltma konusunda mevcut teknolojiler ve stratejiler (örneğin tuzdan arındırma, su geri dönüşümü ve etkin sulama yöntemleri) ne ölçüde etkilidir?
- İklimsel, jeopolitik ve ekonomik faktörler dikkate alındığında, iklim değişikliğinin etkilerini ele alabilecek sürdürülebilir su yönetimi stratejileri nasıl geliştirilebilir ve uygulanabilir?

1.6 Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, tanımlayıcı-analitik bir yaklaşımı benimsemekte olup; bilimsel raporlar, önceki araştırmalar ve iklim ile hidrolojik istatistikler dâhil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilen veri toplama ve analiz süreçlerine dayanmaktadır. Araştırma yöntemi, iklim değişikliği bağlamında su kaynaklarına ilişkin küresel ve bölgesel boyutları ele alacak şekilde tasarlanmış ve aşağıdaki aşamalar çerçevesinde yapılandırılmıştır:

- Veri Toplama: Birleşmiş Milletler, Dünya Meteoroloji Örgütü ve ilgili bölgesel kuruluşlar gibi uluslararası ve bölgesel kurumlardan güncel iklim ve hidrolojik verilere ulaşılması.
- Veri Analizi: Farklı coğrafi ve iklimsel bölgelerde iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini değerlendirmek amacıyla iklim ve hidrolojik modellerin kullanılması.
- Vaka Analizi: Orta Doğu ve Türkiye gibi su stresi altında bulunan bölgeler öncelikli olmak üzere, belirli örnek alanlar üzerinden bölgesel etkilerin ve potansiyel çözüm yollarının küresel bağlamda analiz edilmesi.

- Çözüm Değerlendirmesi: Su kaynakları alanındaki mevcut teknolojilerin ve stratejilerin —tuzdan arındırma, geri dönüşüm, etkin sulama yöntemleri gibi— iklim kaynaklı su sorunlarını hafifletmedeki etkinliğinin küresel ve bölgesel düzeyde incelenmesi.
- Önerilerin Geliştirilmesi: Bilimsel analizlere dayanarak, iklimsel, jeopolitik ve ekonomik faktörleri göz önünde bulunduran, sürdürülebilir su kaynakları yönetimine yönelik uygulanabilir ve ölçeklenebilir politika önerilerinin sunulması.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Uluslararası Bitki Koruma Sözleşmesi (2023), İklim değişikliği, etkileri ve bunlara yönelik müdahale stratejilerine ilişkin en güncel bilimsel bilgileri önceki değerlendirme raporları ve kapsamlı literatür doğrultusunda bir araya getirmektedir. Rapor, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarındaki artışın açık bir şekilde küresel ısınmaya neden olduğunu vurgulamakta; sanayi öncesi dönemden bu yana ortalama sıcaklıkların yaklaşık 1,1°C arttığını ve bu artışın, küresel emisyonlara en az katkı sağlayan kırılgan toplumlar üzerinde orantısız etkiler yarattığını belirtmektedir. Ekosistemler, biyolojik çeşitlilik, gıda ve su güvenliği ile insan sağlığı üzerindeki kapsamlı ve çoğu zaman geri döndürülemez zararlar dikkat çekmektedir.

Ayrıca, ısınan okyanuslar, ormansızlaşma ve kentleşmeye bağlı olarak deniz seviyelerinde yükselme, aşırı hava olaylarında artış ve ekosistem kaymalarına dair gözlemlenen etkiler ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Her ne kadar Paris Anlaşması gibi uluslararası sözleşmeler ve ulusal politikalar kapsamında uyum ve azaltım önlemleri genişlemekte olsa da, bu çabalar küresel ısınmanın etkili bir biçimde sınırlandırılması için yeterli görülmemektedir. Yenilenebilir enerji ve düşük karbon teknolojilerinde yaşanan yenilikler uygulanabilir çözümler sunarken, sosyo-ekonomik ve politik engeller daha adil ve dönüştürücü küresel eylemler gerektirmektedir. Rapor, iklim, ekosistemler ve insan toplumları arasındaki karşılıklı bağımlılığa dikkat çekerek, iklim risklerini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle bütünleştiren stratejilerin geliştirilmesini önermektedir.

Nadeau ve diğ. (2022); İklim değişikliğinin hızla tırmanan krizini ve bu krizin çevre, insan sağlığı ve küresel refah üzerindeki yaygın etkilerini ele alma gerekliliğini vurgulamaktadır. Çalışma, fosil yakıt kullanımı ve ormansızlaşma kaynaklı artan sera gazı emisyonlarının küresel ısınmaya nasıl katkıda bulunduğunu ayrıntılarıyla ortaya koymaktadır.

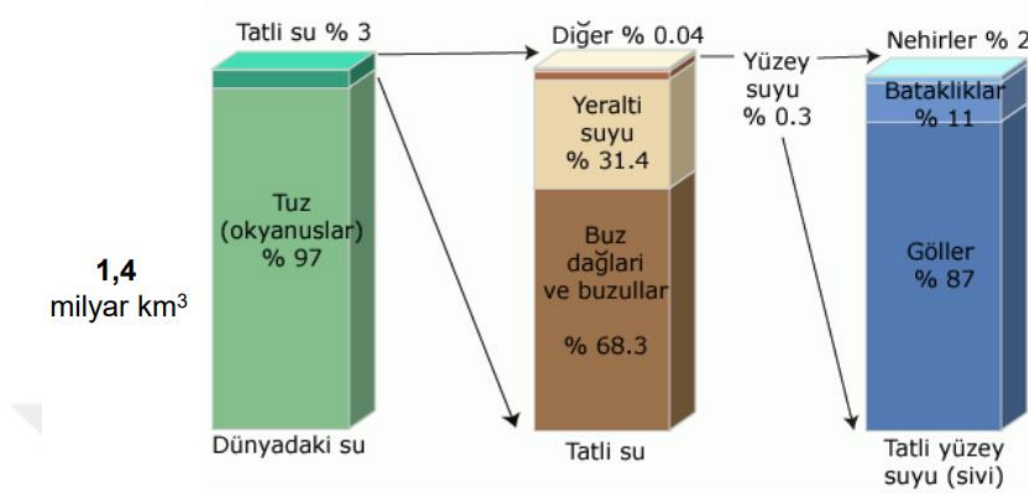


Şekil 2.1: Ormansızlaşma ve endüstriyel kirlilik: çevresel bozulmanın tetikleyicileri (Kaynak: Url-4).

Artan sera gazı emisyonları, okyanus asitlenmesi ile birlikte orman yangınları, kasırgalar ve kuraklık gibi doğal afetlerin sıklığını da artırmaktadır. Bu durumun sağlık üzerindeki etkileri oldukça ciddidir. Özellikle polen mevsimlerinin uzaması, hava kirliliği ve gök gürültülü fırtına kaynaklı astım gibi olgular sonucunda, astım ve alerjik rinit gibi solunum ve alerjik hastalıklar iklim değişikliğiyle birlikte daha da şiddetlenmektedir. Ayrıca, orman yangını dumanları, toz fırtınaları ve artan küf maruziyeti de sağlık sonuçlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Editöryel yazı, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, COP26 ve Biyoçeşitlilik Zirvesi gibi platformlar aracılığıyla küresel iş birliğine duyulan ihtiyacı vurgulayarak, ülkeleri emisyonları azaltmaya, Paris İklim Anlaşması'na bağlı kalmaya ve tarihsel kirleticilerin sorumluluğunu esas alan adil çözümler benimsemeye çağırılmaktadır. Önerilen stratejiler arasında sera gazı salımlarının azaltılması, doğal karbon yutaklarının güçlendirilmesi ve yapay zekâ gibi teknolojilerin gerçek zamanlı izleme ve etkileri azaltma süreçlerinde kullanılması yer almaktadır. Toplumlara iklim kaynaklı tehlikelere hazırlamak adına erken uyarı sistemlerinin ve kamu iletişim mekanizmalarının güçlendirilmesi de kritik önem taşımaktadır. Belge, gezegenin daha sürdürülebilir ve sağlıklı bir geleceğe sahip olabilmesi için politika yapıcılar, özel sektör ve bireylerin kolektif eylemine yönelik güçlü bir çağrı ile son bulmaktadır.

Pointet (2022), İse, dünyanın sıvı tatlı su kaynaklarının %99'unu oluşturan ve küresel su kullanımının yaklaşık dörtte birini destekleyen yeraltı sularının kritik rolüne dikkat çekmektedir.



Şekil 2.2: Küresel su kaynaklarının dağılımı (Kaynak: Url-5).

İnsan tüketimi, tarım, sanayi ve ekosistemler açısından hayati öneme sahip olan yeraltı suyu, su güvenliği ve iklim dirençliliği gibi Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın gerçekleştirilmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Ancak aşırı kullanım, kirlilik, yetersiz yönetim ve jeoloji ile hidrojeoloji alanındaki bilgi eksiklikleri gibi çeşitli zorluklar, yeraltı sularının sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Rapor, bu sorunların çözümüne yönelik olarak entegre yönetim, sağlam politika çerçeveleri, etkili izleme sistemleri ve paydaş katılımının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Yenilikçi çözüm örnekleri arasında akifer besleme projeleri, doğa temelli yaklaşımlar, ileri düzey yeraltı suyu haritalama teknikleri ile akifer termal enerji depolama ve jeotermal uygulamalar gibi teknolojiler yer almaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında, yeraltı suyu tarım sektörünün temelini oluşturmakta ve küresel su çekimlerinin %70'ini karşılamaktadır. Ayrıca tekstil ve içecek gibi çeşitli sanayi kollarına destek sağlamakta; kırsal nüfusun temel su ihtiyacının büyük bölümü de bu kaynaktan karşılanmaktadır.

Asya-Pasifik bölgesi dünyada yeraltı suyunu en yoğun kullanan bölge olmasına karşın, gelişmemiş bölgelerdeki birçok akifer hâlâ potansiyelini gerçekleştirememiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında finansal ve teknik yetersizlikler yer almaktadır. Rapor, yeraltı sularının gelecek kuşaklar için güvence altına alınabilmesi adına küresel iş

birliği, sürdürülebilir yönetim uygulamaları ve artırılmış yatırımların aciliyetini güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.

Dünya Bankası Raporu (2016), İklim değışikliğinin etkilerini hafifletmede su yönetiminin kritik rolüne dikkat çekmektedir; zira su, gıda, enerji, kentsel gelişim ve çevresel sistemlerin merkezinde yer almaktadır. İklim değışikliğinin, su kıtlığını, su arzındaki değışkenliği ve aşırı hava olaylarını daha da artırması beklenmektedir. Bu durumun, 2050 yılına kadar şehirlerdeki tatlı su mevcudiyetini üçte iki oranında azaltabileceği ve bazı bölgelerde gayrisafi yurt içi hasılanın (GSYH) %6'ya varan düşüşler gösterebileceği öngörülmektedir. Rapor, yetersiz su yönetiminin özellikle kırılgan topluluklar üzerinde orantısız etkiler yarattığını ve su kaynaklı şokların göç ve çatışma gibi toplumsal gerilimleri tetikleyebileceğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, üç temel politika önceliği önerilmektedir: daha iyi planlama ve teşviklerle su kullanımının optimize edilmesi, geri dönüşüm, tuzdan arındırma ve depolama yoluyla su arzının dikkatli biçimde genişletilmesi ve altyapı yatırımları ile uyum önlemleri aracılığıyla aşırılıklara karşı dirençliliğin artırılması. Rapora göre, reformlar ve yatırımlar kısa vadede zorlayıcı olabilir; ancak hareketsizliğin maliyeti çok daha yüksektir. Bu nedenle, akılcı su yönetimi sürdürülebilir kalkınma ve iklim direnci hedeflerine ulaşmak açısından vazgeçilmezdir.

Aktaş (2014), Türkiye'nin su kaynakları üzerindeki iklim değışikliği etkilerini ele almakta ve ülkenin Akdeniz Havzası'ndaki coğrafî konumu ve iklim çeşitliliği nedeniyle oldukça kırılgan bir yapıya sahip olduğunu vurgulamaktadır. Artan sıcaklıklar ve azalan yağış miktarları, su mevcudiyetini ciddi biçimde tehdit etmekte; kişi başına düşen su miktarının 2050 yılına kadar %40 oranında azalabileceği öngörülmektedir. Bölgesel düzeyde bakıldığında, İç Anadolu gibi kurak ve yarı kurak bölgelerde kuraklık riskinin yükseldiği, buna paralel olarak tarım ve sanayi sektörlerinde su yetersizliğinin arttığı belirtilmektedir. İklim değışikliğinin, taşkınlar, deniz seviyesi yükselmesi ve su kalitesinde bozulma gibi sorunları da şiddetlendirmesi beklenmektedir. Bu etkiler karşısında, su yönetimi politikalarının iyileştirilmesi, modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması ve bütüncül havza planlaması gibi uyum önlemleri hayati önemdedir. Çalışma, Türkiye'nin su güvenliğini tehdit eden iklim değışikliği etkilerini ele alabilmek için yerel düzeyde kapsamlı araştırmalar yapılması ve politika düzeyinde eşgüdömlü adımlar atılması gerektiğinin altını çizmektedir.



Şekil 2.3: Mevsimsel kuraklık sonrası Konya'daki Akşehir Gölü'nün çatlamış topraklarında ölü ördekler yatıyor (Kaynak: Url-6).

Tokuşlu (2022), İklim değişikliğinin Türkiye'nin su kaynakları ve havzaları üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Sera gazı emisyonları kaynaklı iklim değişikliği; sıcaklık, yağış ve nem düzenlerini bozmakta; kuraklıkları, taşkınları ve ekolojik tahribatı daha da yoğunlaştırmaktadır. Çalışma, iklim değişikliğinin Türkiye'deki su havzalarında su mevcudiyetini azalttığını ve bunun tarım, kentsel su temini ve ekosistemler üzerinde olumsuz sonuçlar doğurduğunu vurgulamaktadır. Mevcut projeksiyonlar, ciddi boyutlarda su kıtlığı öngörmekte; çölleşme, akarsu akımlarında azalma ve artan su kirliliği gibi sorunlar Türkiye'nin karşı karşıya bulunduğu temel zorluklar arasında yer almaktadır. Tokuşlu, bu etkilerin azaltılması için sürdürülebilir su kaynakları yönetiminin, sınır aşan sular konusunda uluslararası iş birliğinin ve risk haritalama, su depolama kapasitesinin artırılması ve geleceğe yönelik iklim modellemesi gibi önlemlerin önemini vurgulamaktadır. Çalışma, bu çevresel tehditlere uyum sağlamak amacıyla ulusal ve bölgesel düzeyde eşgüdümlü bir yaklaşım benimsenmesi gerektiğini savunmaktadır.

Yılmaz ve Imteaz (2014), Türkiye'nin su kaynakları ile iklim değişikliği arasındaki karmaşık ilişkiyi inceleyerek, ülkenin Akdeniz ve kar-dominant iklim kuşaklarında yer alması nedeniyle iklim değişikliğine karşı yüksek düzeyde kırılgan olduğunu ortaya koymaktadır. Yazarlar, Türkiye'nin hidrolojik yapısı üzerinde tarihsel ve geleceğe dönük iklim değişikliği etkilerini ele alan literatürü gözden geçirerek, 2100 yılına

kadar sıcaklıkların 2–6°C arasında artmasının ve özellikle Akdeniz ile Ege bölgelerinde yağışların azalmasının öngörüldüğünü belirtmektedir. Bu değişimlerin; su kıtlığını artırması, akarsu akışlarını azaltması, kar erime zamanlamasını değiştirmesi ve taşkınlar ile kuraklık gibi aşırı olayların sıklığını artırması beklenmektedir. İnceleme, uyum politikalarının geliştirilmesine yön vermek amacıyla hidro-meteorolojik etki çalışmalarına ihtiyaç duyulduğunu vurgulamakta; iyileştirilmiş su yönetimi, ürün deseni optimizasyonu ve altyapı güçlendirmesi gibi önlemler önermektedir. İklim modellerindeki belirsizliklere rağmen, çalışma Türkiye'nin su kaynaklarını korumak ve nüfus artışı ile kentleşmenin getirdiği ek baskıları yönetmek amacıyla kapsamlı uyum ve azaltım stratejilerine duyulan acil ihtiyacı öne çıkarmaktadır.

Şekil 2.4: Türkiye kuraklık haritası (Kaynak: Url-7).

etkilerinin azaltılması için yeraltı su seviyelerinin izlenmesi ve sulama sistemlerinin iyileştirilmesi gibi su yönetim stratejilerinin önemini ortaya koymaktadır.

Wu ve diğ. (2020); Yüksek emisyon senaryosu (RCP8.5) altında çalışan tam bağlı iklim modeli kullanarak, orta enlemlerdeki yedi kritik akiferde iklim değişikliğinin yeraltı suyu depolaması (GWS) üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bulgular, GWS değişimlerinin yalnızca yağışla değil, aynı zamanda artan evapotranspirasyon ve azalan kar erimesiyle de şekillendiğini göstermektedir. Örneğin, Güney Ova Bölgesi ve Orta Doğu gibi bölgelerde ciddi yeraltı suyu tükenmesi öngörüldürken, Kuzeybatı Hindistan ve Kuzey Çin Ovası gibi alanlar daha yüksek yağış nedeniyle yeraltı suyu beslenmesinde artış yaşayabilir. Çalışma, doğal iklimsel süreçler ile yeraltı suyu pompalama gibi insan kaynaklı faaliyetler arasındaki etkileşime dikkat çekmekte ve bu faaliyetlerin çoğunlukla tükenme eğilimlerini kötüleştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, özellikle yüksek risk altındaki bölgelerde, iklim değişkenlikleri karşısında sürdürülebilir yeraltı suyu kullanımı için uyum odaklı su yönetimi stratejilerinin önemini vurgulamaktadır.

Payne ve diğ. (2020); Küresel yağış ve hidroloji üzerinde önemli etkileri olan yoğun nem taşınımına sahip uzun yapılar olarak tanımlanan atmosferik nehirleri (AR) incelemektedir. Bu oluşumlar kutuplara doğru nem hareketinde önemli bir rol oynarken, karaya ulaştıklarında hem faydalı hem de yıkıcı etkiler yaratabilmektedir. Örneğin, Batı ABD, Avrupa ve Doğu Asya gibi bölgelerde ana su kaynaklarını oluştururken; aşırı yağış, taşkınlar ve toprak kaymaları gibi afetlere de yol açabilmektedirler.

Çalışma, Clausius-Clapeyron ölçeklemesi çerçevesinde, atmosferik nem artışına bağlı olarak AR kaynaklı yağışların şiddetlenmesinde iklim değişikliğinin etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, AR'ların sıklığı, şiddeti ve karaya ulaşma konumundaki değişimlerle ilgili projeksiyonlarda, ısınan bir iklimdeki termodinamik ve dinamik tepkilerin karmaşık etkileşimleri nedeniyle belirsizlikler sürmektedir. Bu nedenle, AR dinamiklerini, bölgesel etkilerini ve büyük ölçekli atmosferik sistemlerle etkileşimini daha iyi anlamak için yüksek çözünürlüklü modellere ve küresel gözlem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gelişmiş anlayış, AR'larla ilişkili iklim tehlikelerinin azaltılması ve su kaynaklarının daha etkin yönetimi açısından kritik öneme sahiptir.

Borrelli ve diğ. (2020); Su kaynaklı toprak erozyonunu küresel bir çevresel tehdit olarak ele almakta ve bu bağlamda Küresel Toprak Erozyonu Modellemesi (GloSEM)

platformu aracılığıyla yüksek çözünürlüklü modellemeler gerçekleştirmektedir. Araştırma, arazi kullanımı ve iklim değişikliği senaryolarına göre 2070 yılına kadar toprak erozyonu oranlarını öngörmektedir. Sonuçlar, özellikle yüksek sera gazı emisyon senaryoları altında su kaynaklı erozyonun önemli ölçüde artacağını ve bu artışların arazi kullanımı ve iklimsel farklılıklara göre bölgesel olarak değişeceğini göstermektedir. Koruyucu tarım (CA) uygulamaları günümüzde erozyonu yaklaşık %5–7 oranında azaltmakta olsa da, daha yoğun hidrolojik döngülerle yönlendirilen erozyon artışlarını dengelemek için yetersiz kalabilir. Çalışma, özellikle toprak bozulmasına karşı en savunmasız durumda olan düşük gelirli ülkelerde etkili toprak koruma politikalarının, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının ve hedefe yönelik müdahalelerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Gıda güvenliği, biyolojik çeşitlilik, ekosistem hizmetleri ve küresel kalkınma hedefleri üzerindeki etkileriyle toprak erozyonu, acil ve eşgüdümlü politika eylemlerini gerektiren kritik bir mesele olarak tanımlanmaktadır.

Adamopoulos ve diğ. (2024); Güneydoğu Akdeniz ve Orta Doğu bölgelerinde sosyo-ekonomik kalkınmayı sürdüren geleneksel su kaynaklarının—nehirler, göller, barajlar ve yeraltı suları—kritik rolünü incelemektedir. Çalışma, değişken yağış, artan sıcaklık ve su kıtlığı gibi iklim değişikliğine bağlı zorlukların, nüfus artışı ve sektörel taleplerle birlikte daha da ağırlaştığını vurgulamaktadır. Uluslararası literatürün kapsamlı bir taramasıyla iklim değişikliğinin su mevcudiyeti üzerindeki etkileri değerlendirilmekte ve sürdürülebilir su yönetimi için stratejiler önerilmektedir. Bulgular, bu kaynakların tarım, sanayi ve hane halkı kullanımı açısından önemini vurgularken; su kirliliği ve yönetim yetersizlikleri gibi yapısal sorunlara da dikkat çekmektedir. Yağmur suyu hasadı, etkin sulama, su geri dönüşümü ve iklime duyarlı tarım gibi uyum stratejileri, bu etkilerin azaltılmasında kilit önlem olarak sunulmaktadır. Çalışma, uluslararası iş birliğini, sürdürülebilir politikaları ve su kaynaklarının çeşitlendirilmesini teşvik ederken, çevresel koruma, toplumsal farkındalık ve atıksu arıtımı için membran biyoreaktörler (MBR) gibi yenilikçi teknolojilerin bütüncül yaklaşımlara entegre edilmesi gerektiğini savunmaktadır.

Abbass ve diğ. (2022); İklim değişikliğinin yalnızca su kaynakları değil, aynı zamanda tarım, biyolojik çeşitlilik, insan sağlığı, turizm ve ekonomik sistemler üzerinde de geniş kapsamlı etkilerini analiz etmektedir. Çalışma, gıda güvensizliği, biyoçeşitlilik kaybı ve bulaşıcı hastalıkların yayılması gibi sorunların iklim değişikliği ile daha da

şiddetlendiğini göstermektedir. Antimikrobiyal direnç ve kırılgan topluluklar üzerindeki psikolojik etkiler gibi iklime bağılı zorlukların daha iyi anlaşılması gerektiği vurgulanmaktadır. İkincil verilere dayanan araştırma, bu etkilerin azaltılmasında hükümet müdahaleleri, politika üretimi ve sürdürülebilir stratejilerin önemini ortaya koymakta; Paris Anlaşması gibi küresel çerçevelerin sıcaklık artışını sınırlandırma ve dirençliliği artırma hedeflerine katkıda bulunduğunu belirtmektedir. Sonuç olarak, çalışma iklim değişikliğinin sosyoekonomik, çevresel ve sağlıkla ilgili sonuçlarıyla mücadelede küresel iş birliği ve yenilikçi uyum önlemlerinin hayati önemde olduğunu vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, incelenen literatür, iklim değişikliğinin su kaynakları, ekosistemler, tarım ve insan sağlığı üzerindeki çok boyutlu ve derinlemesine etkilerini açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Çalışmalar, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının küresel ısınmayı hızlandırarak deniz seviyelerinin yükselmesi, aşırı hava olayları, biyolojik çeşitlilik kaybı ve sosyoekonomik bozulmalar gibi ciddi sorunlara yol açtığı konusunda fikir birliği içindedir. Uluslararası Bitki Koruma Sözleşmesi'nin (2023) iklim risklerine karşı adil ve dönüştürücü eylemleri savunmasından, Aktaş (2014) ve Tokuşlu (2022) gibi bölgesel çalışmaların Türkiye'deki su kaynakları kırılganlıklarına dair analizlerine kadar, literatür güçlü yönetim, sürdürülebilir yönetim ve teknolojik yeniliklerin aciliyetine dikkat çekmektedir. Pointet (2022) tarafından vurgulanan yeraltı suyu sürdürülebilirliği ile, Nistor (2019) ile Borrelli ve diğ. (2020); tarafından ele alınan terleme-buharlaşma ve toprak erozyonu gibi konular, iklim etkilerinin küresel ölçekte ne denli bağlantılı olduğunu göstermektedir. Abbass ve diğ. (2022); ile Nadeau ve diğ. (2022); gibi araştırmalar sağlık etkileri ve küresel iş birliği ihtiyacını öne çıkarırken Adamopoulos ve diğ. (2024); uyum stratejileri olarak yağmur suyu hasadı ve etkin sulamanın önemine işaret etmektedir. Bu çalışmalar bütünüyle değerlendirildiğinde, iklim değişikliğinin yaygın etkilerini hafifletmek ve sürdürülebilir kalkınmayı güvence altına almak için bilim temelli, bütüncül ve çok düzeyli çözümlere duyulan ihtiyacın altı çizilmektedir.

3. YÖNTEM

3.1 Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki çok boyutlu etkilerini incelemek amacıyla betimsel-analitik bir araştırma tasarımı benimsemektedir. Türkiye ve daha geniş anlamda Orta Doğu bölgesi üzerine odaklanan araştırmanın betimsel yönü, su kaynaklarının mevcudiyeti ile iklim değişkenlerine ilişkin güncel durumu ve eğilimleri ortaya koymak üzere ilgili verilerin sistematik biçimde toplanmasını ve özetlenmesini içermektedir. Analitik boyut ise, bu verilerin kullanımı yoluyla iklim değişikliği ile su kaynaklarındaki değişimler arasındaki örüntüleri, ilişkileri ve nedensel bağlamları tespit etmeyi amaçlamakta; böylece söz konusu bölgelerde karşılaşılan zorluklara dair daha derinlikli bir anlayış sunmayı hedeflemektedir.

Araştırma, nitel ve nicel yaklaşımların bir arada kullanıldığı karma bir yöntemsel çerçeveye sahiptir. Nitel yöntemler; politika belgelerinin içerik analizini, uzman görüşmelerini ve örnek olay çalışmalarını kapsamakta olup, yerel ve bölgesel düzeydeki su yönetimi uygulamalarını ve karşılaşılan zorlukları anlamayı amaçlamaktadır. Nicel yöntemler ise; iklim verileri, hidrolojik istatistikler ve ekonomik göstergelerin analizini içermekte, bu doğrultuda iklim ve hidrolojik modeller aracılığıyla etkilerin nicel ölçümünü ve geleceğe dönük senaryo tahminlerini mümkün kılmaktadır.

3.2 Veri Toplama Yöntemleri

Bu çalışmada kullanılan veriler, araştırmanın kapsamlılığını ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla çok çeşitli kaynaklardan derlenmiştir. Temel veri kaynakları şunlardır:

- İklim ve Hidrolojik Veriler: Birleşmiş Milletler, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Türkiye'deki ulusal kurumlar gibi saygın kuruluşlardan temin edilmiştir. Bu veri setleri, sıcaklık, yağış ve akarsu debileri gibi değişkenlerin tarihsel kayıtlarını içermektedir.

- Bilimsel Raporlar ve Literatür: Bölgesel iklim eğilimleri ve su kaynaklarıyla ilgili mevcut zorluklara ilişkin kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş; Aktaş (2014), Tokuşlu (2022) ve Dünya Bankası (2016) gibi temel kaynaklara dayalı bulgulara yer verilmiştir.
- Politika Belgeleri: Türkiye'nin iklim değişikliğine uyum stratejileri ve sınır aşan su kaynaklarına ilişkin uluslararası anlaşmalar dâhil olmak üzere, ulusal ve bölgesel su yönetimi politikalarının analizi yapılmıştır.
- Saha Gözlemleri ve Örnek Olay İncelemeleri: Türkiye ve Orta Doğu'daki su stresi yaşayan bölgelerden seçilen örnek olaylar, iklim değişikliğinin etkilerine dair bağlamsal bir anlayış geliştirmek ve gerçek dünya uygulamalarına ilişkin örnekler sunmak amacıyla incelenmiştir.

3.3 Analitik Çerçeve

Bu çalışmanın analitik çerçevesi, iklim değişikliği projeksiyonlarının hidrolojik etki modelleriyle entegrasyonuna dayanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve CMIP5 gibi iklim modelleri kullanılarak, su mevcudiyetindeki mekânsal ve zamansal değişimler farklı senaryolar altında değerlendirilmektedir. İklim değişkenleri ile su kaynaklarına ilişkin ölçütler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla regresyon analizi gibi istatistiksel tekniklerden yararlanılmaktadır. Ayrıca, senaryo analizi yöntemiyle, farklı iklim değişikliği düzeyleri ve sosyo-politik koşullar altında oluşabilecek geleceğe dair olasılıklar araştırılmaktadır.

3.4 Çalışma Alanının Tanımı

Çalışma, Türkiye ve ilgili Orta Doğu bağlamları üzerine odaklanmaktadır. Avrupa ile Asya'nın kesişim noktasında stratejik bir konuma sahip olan Türkiye, Fırat ve Dicle gibi büyük nehirleri de içeren önemli su kaynaklarına sahiptir. Bu nehirler yalnızca Türkiye için değil, aynı zamanda aşağı havzadaki Orta Doğu ülkeleri için de yaşamsal önem taşımakta olup, bölgedeki su yönetiminin jeopolitik önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Kurak ve yarı kurak iklimin hâkim olduğu Orta Doğu'da su kıtlığı, başlıca çevresel sorunlardan biridir. Bölgedeki ülkeler, büyük ölçüde ortak su kaynaklarına bağımlı durumda olup, iklim değişikliği mevcut kırılganlıkları ve gerilimleri daha da

şiddetlendirmektedir. Türkiye'nin özellikle kar örtüsüyle beslenen dağlık bölgeleri, eriyen kar sularının azalması nedeniyle nehir debilerinde düşüşlere ve tarımsal verimlilikte azalmaya neden olmaktadır.

3.5 Yöntemin Sınırlılıkları

Bu çalışma kapsamlı bir analiz sunmayı amaçlasa da, göz önünde bulundurulması gereken çeşitli yöntemsel sınırlılıklar mevcuttur:

- Veri Erişilebilirliği: İklim projeksiyonları ve hidrolojik verilerin güvenilirliği, bazı bölgelerdeki tarihsel kayıt eksiklikleri veya veri toplama yöntemlerindeki tutarsızlıklar nedeniyle sınırlı olabilir.
- Modelleme Belirsizlikleri: İklim ve hidrolojik modeller, özellikle yerel etkileri öngörmeye ve su kaynakları yönetimini etkileyen karmaşık sosyo-ekonomik değişkenleri yansıtmakta belirli ölçüde belirsizlikler içermektedir.
- Bölgesel Odak: Çalışmanın öncelikli olarak Türkiye ve Orta Doğu'ya odaklanması, farklı iklimsel ve hidrolojik koşullara sahip diğer bölgelere yönelik bulguların genellenebilirliğini sınırlandırabilir.
- Siyasal Hassasiyet: Sınır aşan su kaynaklarının yönetimini ele almak, akademik analizlerin tam olarak yansıtamayabileceği siyasal karmaşıklıkları da içermektedir.
- Uyum Stratejileri: İklim değişikliğinin etkilerinin dinamik yapısı ve sosyo-politik koşulların sürekli evrilmesi, mevcut uyum stratejilerinin etkililiğinin değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ KÜRESEL ETKİLERİ

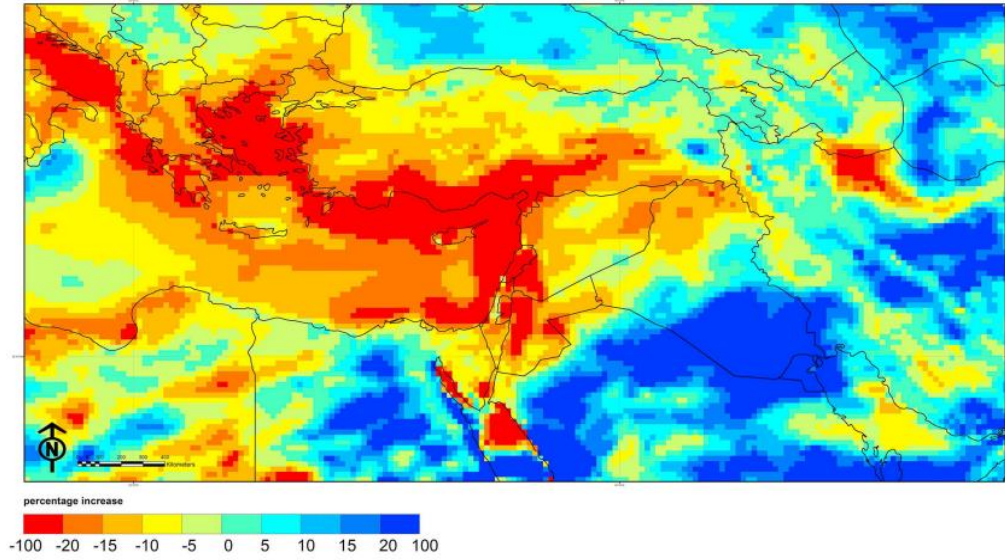
4.1 Küresel Hidrolojik Döngülerdeki Değişiklikler

İklim değışikliğı, küresel hidrolojik döngüde köklü değışimlere yol açarak suyun dağılımını, mevcudiyetini ve kalitesini hem ekosistemlerde hem de insan sistemlerinde derinden etkilemektedir (Yang ve diğ, 2021). Küresel sıcaklıkların artması, okyanuslar, göller ve toprak yüzeylerinden buharlaşma oranlarını artırarak atmosferdeki nem miktarını çoğaltmakta ve böylece su döngüsünü hızlandırmaktadır. Ancak bu artan buharlaşma, yağış biçiminde bölgelere eşit dağılmamakta; bu durum, bölgeler arası su dengesizliklerini daha da şiddetlendirmektedir. Örneğın, nemli bölgelerde daha sık ve yoğun yağış olayları yaşanmakta ve bu da sel riskini artırırken; kurak ve yarı kurak bölgelerde kuraklık daha da derinleşmekte, su kıtlığı sorunu ağırlaşmaktadır. Bazı bölgelerde aşırı yağış olayları, drenaj altyapılarını aşarak tatlı su kaynaklarının kirlenmesine ve tarım arazilerinin zarar görmesine neden olmaktadır (El Kenawy, 2024).

Ayrıca, karla beslenen hidrolojik sistemler iklim değışikliğıne karşı özellikle hassastır. Kar erimesinin daha erken başlaması ve kar örtüsü birikiminde yaşanan azalma, tarım, hidroelektrik üretim ve içme suyu gibi alanlarda kar sularına bağımlı olan bölgelerde mevsimsel su mevcudiyetini ciddi şekilde bozmaktadır. Bu eğilim, Himalayalar, And Dağları ve Türkiye'nin dağlık bölgeleri gibi alanlarda açıkça görölmektedir; kar erimesinin zamanlamasındaki değışim, yaz aylarında aşağı havzalardaki nehir debilerini azaltmakta ve bu bölgelerdeki toplulukların suya erişimini tehlikeye sokmaktadır (Yucel ve diğ, 2015). Ayrıca, atmosferin ısınması, küresel yağış dağılımını etkileyen büyük ölçekli atmosferik dolaşım sistemlerinde de değışikliklere yol açmaktadır. Güney Asya'daki muson sistemlerinin zayıflaması ve jet akımlarındaki kaymalar, bu değışimin önemli örneklerindendir.

Yeraltı suyu sistemleri de iklim değışikliğınden doğrudan etkilenmektedir. Yağış miktarı ve şiddetindeki değışiklikler, birçok akiferin yeniden beslenme oranlarını azaltmakta; özellikle zaten sınırlı su kaynaklarına sahip olan Orta Doğu gibi bölgelerde

hem yeraltı suyu beslenmesinde düşüş hem de artan su çekimi nedeniyle bu yaşamsal kaynağın tükenmesi riski büyümektedir (Shevah, 2017). Hidrolojik döngüdeki bu bozulmalar, çölleşme, toprakların tuzlanması ve sucul ekosistemlerdeki biyolojik çeşitlilik kaybı gibi diğer çevresel sorunlarla da doğrudan ilişkilidir. Bu değişimlerle baş edebilmek, çok boyutlu ve bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu kapsamda, sulak alanların restorasyonu, entegre havza yönetimi uygulamalarının benimsenmesi ve değişen su mevcudiyeti eğilimlerine uyum sağlayacak stratejilerin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir (Ndubuisi ve FNisafety, 2025).



Şekil 4.1: PRECIS tarafından simüle edilen 1961–1990 dönemine kıyasla 2040–2069 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarındaki yüzde değişim (Chenoweth ve diğ., 2011).

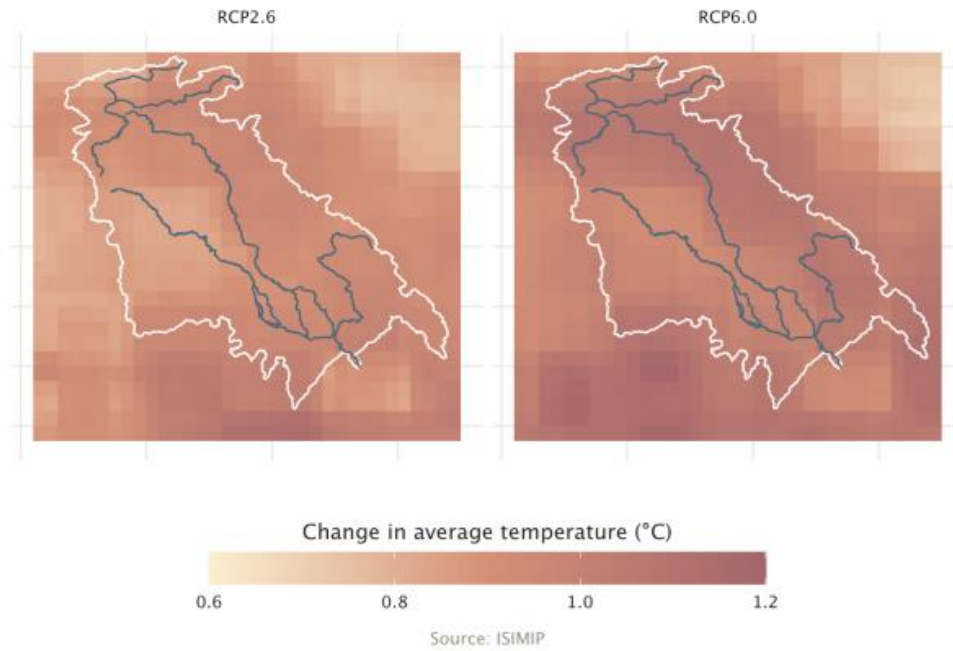
4.2 Artan Sıcaklıklar ve Su Mevcudiyeti

Sıcaklık artışı, iklim değişikliğinin en doğrudan ve yaygın sonuçları arasında yer almakta olup, küresel ölçekte su mevcudiyeti üzerinde derin etkiler yaratmaktadır (Gosling ve Arnell, 2016).

Artan sıcaklıklar, nehirler, göller ve barajlardan yüzey suyunun buharlaşma hızını artırarak, insan tüketimi, tarım ve sanayi gibi alanlarda kullanılabilir su miktarını azaltmaktadır. Bu olgu, özellikle Sahra Altı Afrika gibi bölgelerde belirginleşmiş; artan sıcaklıklar, Çad Gölü gibi su kütlelerinin hızla tükenmesine neden olmuştur. Benzer şekilde, ılıman iklim kuşaklarında bulunan barajlarda da buharlaşma oranlarındaki artış, su depolama kapasitesinin azalmasına yol açmakta ve bu durum,

özellikle yüksek talep dönemlerinde aşağı havzalara yeterli su sağlanmasını zorlaştırmaktadır (Şen, 2021).

Sıcaklık artışının yalnızca buharlaşmayı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda dağlık bölgelerdeki kar örtüsünün daha erken erimesine neden olduğu bilinmektedir. Oysa bu kar örtüsü, birçok ülke için hayati önem taşıyan bir su kaynağıdır. Kar erimesinin yılın daha erken dönemlerinde gerçekleşmesi, su arzı ile talebi arasında bir zaman uyumsuzluğu yaratmakta; suyun en çok ihtiyaç duyulduğu yaz aylarında nehirler ve barajlar kuruma riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin, Fırat ve Dicle nehirlerini besleyen Türkiye'nin dağlık bölgelerinde kar örtüsünün azalması ve karların erken erimesi, tarımsal sulama, enerji üretimi ve içme suyu temini açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Özdoğan, 2011). Benzer bir durum, Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında da gözlemlenmektedir; Sierra Nevada ve Rocky Dağları'ndan gelen erken kar erimesi, Colorado Nehri gibi büyük akarsu sistemlerinde mevsimsel su kıtlıklarına yol açmıştır.



Şekil 4.2: Önümüzdeki 30 yıl boyunca Dicle ve Fırat nehirlerindeki ortalama sıcaklıklarda öngörülen değişiklikler (Chenoweth ve diğ, 2011).

Buna ek olarak, artan sıcaklıklar bitki örtüsü ve topraklardaki buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) oranlarını artırarak tarımda su talebini yükseltmektedir. Bitkiler, atmosfere kaybedilen suyu telafi edebilmek için daha yoğun sulamaya ihtiyaç duymakta; bu durum, hâlihazırda sınırlı olan su kaynakları üzerinde ilave baskılar

oluşturmaktadır. Bu etki, özellikle tarımın büyük ölçüde sulamaya bağımlı olduğu Orta Doğu ve Güney Avrupa'nın bazı kurak ve yarı kurak bölgelerinde daha da şiddetlidir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklar, alg patlamalarını teşvik ederek ve küçülen su kütlelerinde kirletici maddelerin yoğunluğunu artırarak su kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum, hem insan kullanımı hem de ekosistem sağlığı açısından temiz suya erişimi daha da kısıtlamaktadır (Coffey ve diğ, 2019).

Bu zorluklarla baş edebilmek için yenilikçi stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Damlama ve hassas sulama gibi su verimliliği yüksek sulama tekniklerinin geliştirilmesi, kuraklığa dayanıklı tarım ürünlerinin kullanımı ile su geri dönüşümü ve tuzdan arındırma teknolojilerine yönelik yatırımlar bu stratejiler arasında öne çıkmaktadır. Ayrıca, kar erimesi ve baraj yönetiminin iyileştirilmesi ile su kullanımını düzenleyici politika çerçevelerinin uygulanması, artan sıcaklıkların su mevcudiyeti üzerindeki etkilerini hafifletmeye yönelik önemli adımlar arasında yer almaktadır (Chaturvedi ve diğ, 2015).

4.3 Aşırı Hava Olayları ve Su Sistemleri Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği nedeniyle daha sık ve daha şiddetli hâle gelen aşırı hava olayları, küresel ölçekte su sistemlerini ciddi biçimde bozmakta ve tehdit etmektedir. Sel, kuraklık, kasırga ve aşırı sıcak hava dalgaları yalnızca su mevcudiyetini azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda su altyapılarına zarar vermekte, su kalitesini düşürmekte ve ekosistemleri tehdit etmektedir (Jha ve Dev, 2024). Yoğun yağışlar ve deniz seviyesinin yükselmesiyle tetiklenen taşkınlar, arıtma tesislerini işlevsiz hâle getirerek tatlı su kaynaklarının kirleticilerle bulaşmasına neden olmakta; aynı zamanda toprak erozyonuna yol açarak barajların tortu ile dolmasına sebebiyet vermektedir.

Örneğin, 2011 yılında Tayland'da yaşanan sel felaketi, kentsel su sistemlerine ciddi hasarlar vermiş; milyonlarca insanın haftalar boyunca temiz içme suyuna erişimini engellemiştir (Chaturongkasumrit ve diğ, 2013). Benzer şekilde, Güney Asya'da her yıl yaşanan muson mevsimi giderek daha öngörülemez hâle gelmektedir. Bazı bölgeler yıkıcı sellere maruz kalıp nüfusun yerinden edilmesine ve tarım arazilerinin yok olmasına neden olurken, diğer bölgeler ciddi su kıtlıklarıyla karşı karşıya kalmaktadır.



Şekil 4.3: Türkiye'nin kuzeyindeki Karabük'te sel nedeniyle evler çöktü, 29 Haziran 2022 (Kaynak: Url-8).

Kuraklıklar, iklim değişikliğinin aşırı uçlarındaki diğer bir örneği temsil etmekte olup, yüzey suyu kaynaklarının tükenmesine ve çoğu zaman sürdürülemez bir şekilde yeraltı sularına aşırı bağımlılığa yol açmaktadır. Kaliforniya'da son on yılda yaşanan uzun süreli kuraklıklar, Lake Oroville ve Lake Shasta gibi barajlarda kritik seviyelere düşülmesine neden olmuş; bu durum tarım, kentsel alanlar ve hidroelektrik enerji üretimi için su teminini ciddi şekilde etkilemiştir (Chang ve Bonnette, 2016). Sahra Altı Afrika'da ise, yinelenen kuraklıklar tarımsal sistemleri tahrip ederek yaygın gıda güvencesizliğine neden olmuş ve toplulukların suya ve verimli tarım arazilerine ulaşabilmek için göç etmesine yol açmıştır.

Kasırgalar ve tropikal siklonlar, özellikle kıyı bölgelerinde su sistemlerine büyük zararlar veren bir başka aşırı hava olayıdır. Bu fırtınalar şiddetli yağış, fırtına kabarması ve su baskınları ile birlikte gelir; bu da deniz suyu ve çeşitli kirleticilerin tatlı su kaynaklarına karışmasına yol açar. Örneğin, 2017 yılında Teksas'ta meydana gelen Harvey Kasırgası, atık su sistemlerinin kapasitesini aşan yaygın su taşkınlarına sebep olmuş ve nehirler ile rezervuarların ciddi şekilde kirlenmesine neden olmuştur (Landsman ve diğ, 2019). Aşırı sıcak hava dalgaları ise bu tabloyu daha da kötüleştirerek buharlaşmayı ve su talebini artırmakta, bu da su kıtlığını derinleştirmektedir. Bu durum, 2022 yazında Avrupa'da rekor sıcaklıkların yaşanmasıyla birlikte pek çok ülkede su kaynaklarının zorlanması ve su kullanımına

yönelik kısıtlamaların uygulanması örneğinde olduğu gibi açıkça gözlemlenmiştir (Knutzen ve diğ, 2025).

Aşırı hava olaylarının etkilerini hafifletmek için hükümetlerin ve toplulukların dayanıklı altyapılara yatırım yapması gerekmektedir. Bu altyapılar arasında sel bariyerleri, iyileştirilmiş drenaj sistemleri ve su depolama tesisleri yer almaktadır. Ayrıca, erken uyarı sistemleri ve afet müdahale planları, bu tür olayların neden olduğu zararları en aza indirmek açısından hayati öneme sahiptir. Bununla birlikte, ormanlaştırma ve sulak alanların yeniden kazanımı gibi sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları, aşırı hava olaylarının su sistemleri üzerindeki etkilerini dengeleyebilir (Ponzio ve diğ, 2019).

4.4 Örnek Olaylar: Küresel Su Kaynağı Tükenişi Vakaları

Dünyanın çeşitli yerlerinden örnek olaylar, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki ciddi sonuçlarını gözler önüne sererek sürdürülebilir su yönetimi ihtiyacının aciliyetini vurgulamaktadır. Sahra Altı Afrika’da yer alan Çad Gölü, bir zamanlar dünyanın en büyük tatlı su göllerinden biri iken, 1960’lardan bu yana yüzey alanının %90’ından fazlasını kaybetmiştir. Bu düşüş; artan sıcaklıklar, düzensiz yağışlar ve sulama amaçlı aşırı kullanım nedeniyle gerçekleşmiş; milyonlarca insanın balıkçılık, tarım ve hayvancılıkla geçimini sağladığı bu gölün kuruması, gıda güvencesizliğini artırmış ve bölgesel çatışmalara zemin hazırlamıştır (Yunana ve diğ, 2017).

Benzer şekilde, Orta Asya’da yer alan Aral Gölü, su kaynaklarının tükenişine dair çarpıcı bir örnek haline gelmiştir. Son 50 yılda, gölü besleyen nehirlerden yapılan büyük ölçekli sulama suyu tahsisleri nedeniyle göl hızla küçülmüştür. Bu çevresel felaket, havaya karışan tuzlu topraklar nedeniyle hava kirliliğine ve sağlık sorunlarına yol açmış; aynı zamanda bir zamanlar gelişmiş olan balıkçılık endüstrisinin çökmesine neden olmuştur (Peachey, 2004).

Amerika Birleşik Devletleri’nde ise Colorado Nehri havzası, uzun süreli kuraklıklar ve su kaynaklarının aşırı tahsisi nedeniyle ciddi su sıkıntıları yaşamaktadır. Güneybatı ABD’nin milyonlarca insanına su sağlayan Lake Mead ve Lake Powell gibi rezervuarlar kritik seviyelere yaklaşmakta; bu durum tarım, kentsel su temini ve hidroelektrik üretimi açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Gall, 2025).

Orta Doğu’da ise Dicle ve Fırat nehirleri, Irak, Suriye ve Türkiye için hayati su kaynakları olmakla birlikte; artan sıcaklıklar, azalan yağış miktarları ve yukarı havzada yapılan yoğun su alımları nedeniyle akış hacimlerinde ciddi düşüşler yaşanmaktadır (Adamo ve diğ, 2020). Bu durum, siyasi istikrarsızlıkla boğuşan bölgede su paylaşımı üzerindeki gerilimleri daha da artırmaktadır. Çin’de ise tarih boyunca “Çin uygarlığının beşiği” olarak anılan Sarı Nehir benzer tehditlerle karşı karşıyadır. Aşırı su çekimi ve kirlilik, nehrin akışını önemli ölçüde azaltmış ve tarım ile sanayi için su teminini tehlikeye atmıştır (Chen ve diğ, 2020).



Şekil 4.4: Fırat Nehri'nin beslediği Irak'ın bataklıkları, yağışların azalması ve hava sıcaklıklarının artması nedeniyle kuruyor (Kaynak: Url-9).

Bu örnek olaylar, iklim değişikliği, insan faaliyeti ve su kaynaklarının tükenmesi arasındaki karmaşık etkileşimi açıkça ortaya koymaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için uluslararası koordinasyonun artırılması, su kullanımını düzenleyen güçlü politikaların uygulanması ve su geri dönüşümü, deniz suyunun arıtılması ve verimli sulama sistemleri gibi yenilikçi teknolojilere yatırımlar yapılması gerekmektedir. Bu tür stratejiler, gelecekteki kuşaklar için su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini garanti altına almanın temelini oluşturur.

5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: BÖLGESEL BİR GENEL BAKIŞ

5.1 Orta Doğu’da İklim Değişikliği Eğilimlerine Genel Bir Bakış

Orta artış, uzun süreli sıcak hava Doğu, kurak ve yarı kurak iklimi, yüksek sıcaklıkları ve sınırlı su kaynakları nedeniyle iklim değişikliğinin etkilerine en açık bölgelerden biridir. Son on yıllarda bölgede ortalama sıcaklıklarda dalgaları ve yağış miktarlarında belirgin azalmalar yaşanmıştır (Lange, 2019). Bu değişimler, geleneksel iklim düzenlerini bozarak halihazırda mevcut olan su kıtlığı sorunlarını daha da şiddetlendirmiştir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporları, Orta Doğu’nun küresel ortalamadan daha hızlı ısındığını vurgulamakta; bazı projeksiyonlar, yüzyılın sonuna kadar 2 ila 4°C arasında bir sıcaklık artışı öngörmektedir. Bu sıcaklık artışı, evapotranspirasyon (terleme ve buharlaşma) süreçlerini hızlandırmakla kalmamakta; yüzey ve yeraltı su kaynaklarının tükenmesini de artırarak bölgenin su güvenliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir.

Ayrıca, bölgede aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Sel ve kuraklık gibi olaylar, hassas ekosistemler üzerindeki baskıyı artırmakta ve iklim değişikliğinin sosyo-ekonomik etkilerini daha da ağırlaştırmaktadır (Kundzewicz, 2016). Bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmakta ve bölgesel istikrar ile kalkınma üzerinde derinlemesine etkiler yaratmaktadır.



Şekil 5.1: İskenderiye sokakları yarım saatlik fırtınanın ardından sular altında kaldı 30 Mayıs 2025 (Kaynak: Url-10).

5.2 Kurak ve Yarı Kurak Bölgelerde Su Kaynaklarının Kırılabilirliği

Orta Doğu'nun kurak ve yarı kurak bölgeleri, sınırlı ve düzensiz yağışlara olan yüksek bağımlılıkları nedeniyle su kaynaklarının tükenmesine karşı son derece hassastır (Ragab ve Hamdy, 2008). Bu kırılabilirlik, iklim değişikliğinin etkisiyle daha da artmaktadır. Birçok bölgede yeraltı suyu, içme suyu ve sulama için başlıca kaynak konumundadır. Ancak aşırı yeraltı suyu çekimi ve düzensiz yağış desenleri nedeniyle azalan yenilenme oranları, yeraltı su seviyelerinde ciddi düşüşlere yol açmıştır. Buna ek olarak, nüfus artışı ve tarımsal yayılma kaynaklı su talebinin artması, bölgenin doğal yenilenme kapasitesini aşmıştır.

Özellikle Türkiye gibi ülkelerdeki dağlık alanlarda azalan kar örtüsünün etkisi de oldukça belirgindir; çünkü kar erimesi, Dicle ve Fırat gibi büyük nehirler için hayati bir su kaynağıdır. Bu kırılabilirlik, yetersiz su yönetimi uygulamaları ve etkili sınır aşan su paylaşımı anlaşmalarının eksikliği ile daha da derinleşmektedir. Bu durum, pek çok topluluğu ciddi su kıtlığı ve ekonomik istikrarsızlık riskiyle karşı karşıya bırakmaktadır (Hossen ve diğ., 2023).

Aşağıda Çizelge 5.1'de, Orta Doğu'daki seçilmiş ülkelerde 1980–2019 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarlarında meydana gelen değişim gösterilmektedir (FAO AQUASTAT Veritabanı, IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), Dünya Bankası İklim Değişikliği Bilgi Portalı).

Çizelge 5.1: Orta Doğu'daki seçilmiş ülkelerde yıllık ortalama yağış miktarındaki değişim (1980–2019).

Ülke	Yıllık Ortalama Yağış (1980–1999)	Yıllık Ortalama Yağış (2000–2019)	Değişim Oranı (%)
Ürdün	250 mm	210 mm	-16%
Suriye	310 mm	270 mm	-13%
Irak	220 mm	180 mm	-18%
Suudi Arabistan	100 mm	85 mm	-15%
Lübnan	860 mm	790 mm	-8%
Filistin	580 mm	500 mm	-14%
Yemen	530 mm	410 mm	-23%
İran	250 mm	210 mm	-16%
Türkiye	630 mm	580 mm	-7.9%
Umman	120 mm	98 mm	-18.3%

Çizelge 5.1, Orta Doğu'daki birçok ülkede son kırk yıl içinde yıllık ortalama yağış miktarında belirgin bir düşüş eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Veriler, Yemen, Irak ve Umman gibi ülkelerin yağış miktarındaki %20'yi aşan azalmalarla en fazla etkilenen bölgeler arasında yer aldığını göstermektedir. Bu azalma, söz konusu bölgelerde yer altı ve yüzey suyu kaynaklarının beslenmesinde önemli bir gerileme yaşanabileceğine işaret etmektedir.

Genel olarak yağış miktarındaki azalma, %7 ile %23 arasında değişmekte olup, bu eğilim Orta Doğu'nun kurak ve yarı kurak bölgelerinde iklim değişikliğinin açık bir göstergesidir. Bu azalma, özellikle su kaynakları zaten sınırlı olan Ürdün, Yemen ve Filistin gibi ülkelerde su güvenliği açısından doğrudan bir tehdit oluşturmaktadır.

5.3 Su Kıtlığının Sosyoekonomik ve Politik Etkileri

Orta Doğu'daki su kıtlığı, tarım, halk sağlığı, ekonomik istikrar ve bölgesel güvenliği etkileyen geniş kapsamlı sosyoekonomik ve siyasi sonuçlar doğurmaktadır. Bölgedeki su kaynaklarının büyük bölümünü tüketen tarım sektörü, azalan su mevcudiyetinden ciddi şekilde etkilenmiş; bu durum, ürün verimlerinde düşüşe ve ithal gıdaya olan bağımlılığın artmasına neden olmuştur (Unfried ve diğ, 2022). Özellikle Yemen ve Suriye gibi çatışma yaşayan ülkelerde gıda güvencesizliği daha da derinleşmiştir.

Ekonomik etkiler, sanayi faaliyetlerini aksatan ve yaşam maliyetlerini artıran su kıtlığı nedeniyle kentsel alanlara da yayılmıştır. Politik düzlemde ise, su kıtlığı, Türkiye, Irak ve Suriye arasında Dicle ve Fırat nehirleri üzerinde görülen anlaşmazlıklarda olduğu gibi, sınır aşan nehirleri paylaşan ülkeler arasında gerilimleri artırmıştır. Bu çatışmalar, iklim değişikliği kaynaklı akarsu debilerindeki azalma ve ulusal çıkarlar arasındaki rekabetle daha da karmaşık bir hâl almıştır.

Su kıtlığı, ekonomik baskılar ve politik istikrarsızlık arasındaki bu iç içe geçmiş yapı, adil su paylaşımı anlaşmaları ve ortak bölgesel iş birliği çerçevelerinin geliştirilmesinin aciliyetini ortaya koymaktadır (Khan ve diğ, 2024).

5.4 Orta Doğu'da Uyum Stratejileri

İklim değişikliğinin Orta Doğu'daki etkilerine uyum sağlamak, su kaynaklarının yönetiminde kapsamlı ve çok boyutlu bir yaklaşım gerektirmektedir. Bölgedeki hükümetler ve paydaşlar, tarım ve kentsel alanlarda su kullanımını optimize etmeye

yönelik çeşitli stratejiler uygulamaya başlamıştır. Bu stratejiler arasında damla sulama gibi su verimliliği yüksek teknolojilerin teşviki ile atık su geri dönüşümünün yaygınlaştırılması yer almaktadır. Özellikle Körfez ülkelerinde, ileri teknolojilere sahip deniz suyu arıtma tesisleri içme suyunun önemli bir kısmını karşılamaya başlamış ve bu yöntem, iklim değişikliğine uyumda kritik bir çözüm olarak öne çıkmıştır (Wang ve diğ, 2024).

Ayrıca, kuraklığa dayanıklı mahsullerin kullanımının yaygınlaştırılması ve sulama uygulamalarının optimize edilmesi yoluyla tarımsal direncin artırılmasını amaçlayan iklim dostu tarım uygulamalarına yapılan bölgesel yatırımlar dikkat çekmektedir. Sınır aşan su yönetimi anlaşmaları yoluyla uluslararası iş birliği de hayati önem taşımaktadır; bu tür anlaşmalar, su paylaşımı konusunda çıkabilecek çatışmaların önlenmesine ve kaynakların adil dağılımına katkı sağlayabilir.

Toplum düzeyinde sürdürülebilirliğe yönelik farkındalık yaratmak amacıyla yürütülen kamu bilinci kampanyaları ve su tasarrufu konusunda verilen eğitimler de, halkın sürece katılımını teşvik etmek açısından büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte, uzun vadeli dayanıklılığın sağlanabilmesi, tüm bu stratejilerin iklim değişikliğine uyumun sosyoekonomik ve siyasi boyutlarını da kapsayan ulusal ve bölgesel politika çerçevelerine entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır.

6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE'DEKİ SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

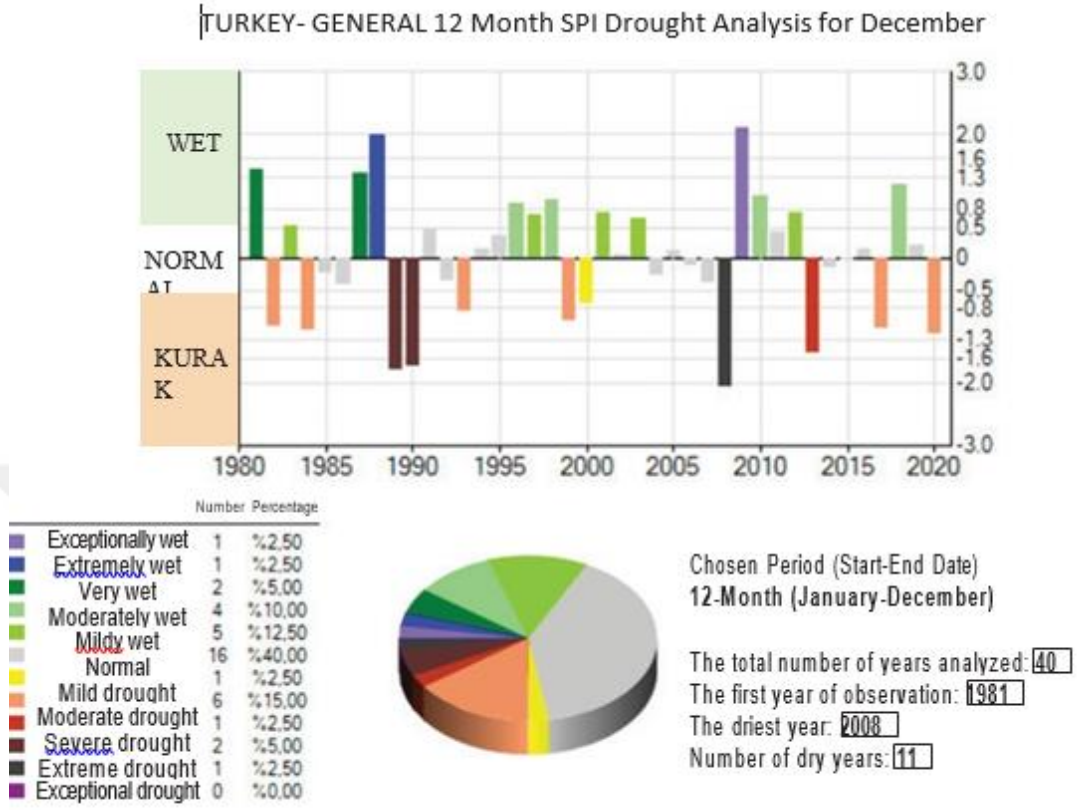
6.1 Türkiye’de İklim Değişikliğine Genel Bakış

Türkiye’nin Avrupa ve Asya arasında yer alan coğrafi konumu, ülkeyi farklı iklim kuşakları arasında bir köprü haline getirerek batı ve güneydeki ılıman Akdeniz ikliminden iç kesimlerdeki sert karasal iklime kadar uzanan çeşitli iklim koşullarına maruz bırakmaktadır. Ancak bu iklimsel çeşitlilik, aynı zamanda ülkeyi farklı iklim değişikliği risklerine karşı kırılgan hale getirmektedir. Türkiye’nin, IPCC tarafından iklim değişikliği açısından sıcak nokta (Hotspot) olarak tanımlanan Akdeniz Havzası’nda yer alması, küresel ısınmanın etkilerine karşı daha yüksek düzeyde maruz kalmasına neden olmaktadır. Projeksiyonlar, önemli ölçüde sıcaklık artışları, düzensiz yağış desenleri ve aşırı hava olaylarında artış yaşanacağını göstermektedir (Tayanç ve diğ., 2009).

1950’lerden bu yana Türkiye’de ortalama sıcaklıkların 1,5°C’den fazla artış göstermesi, çevresel sistemler üzerinde zincirleme etkilere yol açmıştır. Bu değişimler arasında daha yoğun sıcak hava dalgaları, uzamış kurak dönemler ve mevsimsel değişkenlikte artış yer almaktadır; tümü su kaynakları üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır (Şahin ve diğ., 2018). Örneğin, artan sıcaklıklar evapotranspirasyon (buharlaşma ve terleme) oranlarını hızlandırmakta, bu da yüzey ve yer altı sularının toplam kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Aynı zamanda, ani ve yoğun yağışlar ile sel baskınları gibi aşırı hava olaylarının artışı, su yönetimi stratejilerini daha karmaşık hale getirmektedir.

1981 ile 2020 yılları arasını kapsayan 12 aylık Standart Yağış İndeksi (SPI) analizine göre, Türkiye’de kurak dönemlerin sıklığında ve şiddetinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu kırk yıllık gözlem döneminde, ülke genelinde 11 yıl kurak yıl olarak sınıflandırılmış ve 2008 yılı en kurak yıl olarak kaydedilmiştir. (Şekil 6.1), nemli ve kurak dönemler arasında belirgin dalgalanmalar olduğunu ortaya koymakta; ancak özellikle 2000 yılından sonraki dönemde, hafif ila şiddetli kuraklık vakalarının

tekrar eden bir örüntü sergilediği gözlemlenmektedir. Bu durum, hızlanan iklim değişikliğinin hidrolojik sistem üzerindeki artan etkilerine işaret etmektedir.



Şekil 6.1: 1981-2020 Yılları arasında Türkiye'de genel kuraklık analizi (Kaynak: Ural-11).

Bölgesel eşitsizlikler bu zorlukları daha da derinleştirmektedir. Yağışa bağlı tarımın yoğun olduğu Orta ve Güneydoğu Anadolu'nun kurak bölgeleri, ciddi su kıtlıkları ve toprak bozulması sorunları ile karşı karşıyadır (Karaş, 2025). Kıyı bölgeleri ise yükselen deniz seviyelerinin neden olduğu tuzlu suyun tatlı su kaynaklarına sızması sonucu, tarım alanlarını ve içme suyu teminini tehdit eden sorunlarla mücadele etmektedir. Dicle ve Fırat gibi büyük nehir sistemlerine kaynak sağlayan Türkiye'nin dağlık bölgelerinde ise azalan kar yağışları ve daha erken gerçekleşen kar erimeleri, milyonlarca insanın bağlı olduğu mevsimsel akış düzenlerini bozmaktadır.

Bu çok katmanlı etkiler, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve tarım, sanayi ve evsel alanlarda artan su talebi gibi sosyoekonomik etkenlerle daha da kötüleşmektedir. Bu birikimli baskılar, Türkiye'nin iklim değişikliğinin çok boyutlu etkileriyle baş edebilmesi için bütüncül ve uyarlanabilir su kaynakları yönetimi stratejilerini benimsemesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

6.2 Yağış Desenlerindeki Değişimler

Türkiye’de yağış desenleri uzun süredir mekânsal ve zamansal değişkenlik göstermekte olup, batı kıyı bölgeleri genellikle yarı kurak iç kesimlere kıyasla daha fazla yağış almaktadır. Ancak, iklim değişikliği bu desenlerde daha belirgin ve öngörülemez sapmalara neden olarak Türkiye’nin suyla ilgili zorluklara karşı kırılganlığını artırmıştır (Unal ve diğ., 2012).

Türkiye’de iklim değişikliğinin neden olduğu en kritik gelişmelerden biri, özellikle İç ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde kış yağışlarında gözlemlenen belirgin azalmadır. Bu bölgeler, nehirlerin, barajların ve yeraltı suyu rezervuarlarının beslenmesi için büyük ölçüde kış yağışlarına bağımlıdır. Yapılan araştırmalar, son yirmi yılda kış yağışlarında %10 ila %20 oranında bir azalma olduğunu, buna paralel olarak da dağlık bölgelerde kar örtüsü birikiminde belirgin bir düşüş yaşandığını ortaya koymaktadır. Bu eğilim, kar erimesinin geleneksel olarak kurak yaz aylarında sabit su temini sağladığı göz önüne alındığında, su depolama sistemleri açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Buna karşılık, yaz yağışları hâlen nadir görülse de, bu yağışların şiddetinde artış gözlemlenmiştir; bu da ani sel olaylarının daha sık meydana gelmesine yol açmaktadır. Bu tür ani ve yoğun yağışlar, sıklıkla toprak erozyonuna, heyelanlara ve yüzey akışına neden olmakta, yeraltı akiferlerinin etkin bir şekilde beslenmesini zorlaştırmaktadır. Kentsel alanlar ise yaygın geçirimsiz yüzeyleri nedeniyle bu sel risklerine karşı daha savunmasızdır; çünkü mevcut yağmur suyu drenaj sistemleri artan su hacmini karşılamakta yetersiz kalmaktadır (Bannari ve diğ., 2017).

Ayrıca, kuraklık olaylarının hem sıklığı hem de şiddeti artmıştır. Özellikle 2007–2008, 2014 ve 2021 yıllarında yaşanan kuraklıklar, yaygın su kıtlığına ve ciddi tarımsal kayıplara neden olmuştur. Bu kuraklıklar, pamuk ve buğday gibi suya yoğun bağımlı ürünlerin yetiştirildiği Güneydoğu Anadolu gibi bölgelerde özellikle yıkıcı etkiler göstermiştir (Bhattarai ve Yousef, 2025). Önümüzdeki yıllara ilişkin iklim projeksiyonları, yüzyıl sonuna kadar Türkiye’nin bazı bölgelerinde yıllık yağışlarda ilave %10 ila %20 oranında bir azalma öngörmekte olup, bu durum su kıtlığı, gıda güvenliği, sanayi gelişimi ve kentleşme süreçleri açısından ciddi risklerin habercisidir.

Çizelge 6.1’de, Türkiye’nin farklı bölgelerinde yıllık ortalama yağış miktarlarını göstermektedir ve yağış miktarının kıyı bölgelerinde yüksek, iç kesimlerde ise düşük

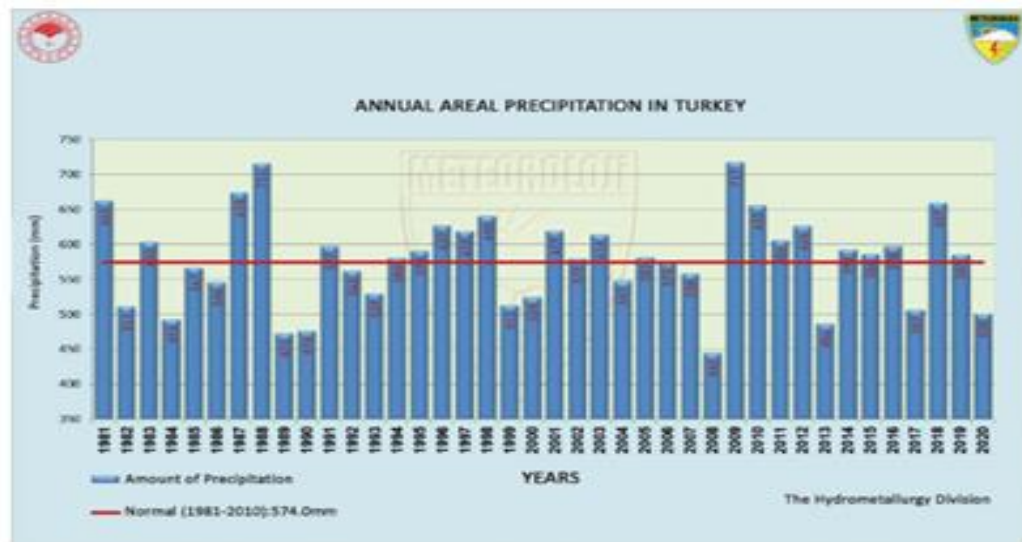
olduğunu ortaya koymaktadır. (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) ve uluslararası kaynaklara (FAO, Dünya Bankası) dayanan yıllık yağış ortalamaları verilmiştir).

Çizelge 6.1: Türkiye'de yıllık ortalama yağış (mm).

Bölge	Yıllık Ortalama Yağış (mm)	Açıklama
Doğu Karadeniz Kıyısı bölgesi	1500 – 2500 mm	Türkiye'nin en yüksek yağış alan
Marmara bölgesi	600 – 900 mm	Orta seviyede yağış
Ege bölgesi	500 – 1000 mm	İç kesimlere gidildikçe azalır
Akdeniz bölgesi	600 – 1200 mm	Yağışlar ağırlıklı olarak kışın
İç Anadolu bölgesi	300 – 400 mm	Yarı kurak bölge
Güneydoğu Anadolu bölgesi	400 – 700 mm	Kuraklık riski yüksek
Doğu Anadolu bölgesi	500 – 1000 mm	Arazi yapısına göre değişken

Çizelgeden de anlaşıldığı üzere, Türkiye’de yağış dağılımı bölgeden bölgeye büyük farklılık göstermektedir, Kıyı bölgeleri yüksek yağış alırken, iç ve güneydoğu bölgeleri kuraklığa daha yatkındır, bu durum, su kaynaklarının yönetimi ve tarımsal planlama açısından büyük önem taşımaktadır.

Şekil 6.2’de, Türkiye’de 1981 ile 2020 yılları arasındaki yıllık yağış miktarları gösterilmektedir.



Şekil 6.2: Türkiye'de yıllık alan yağışı (mm) (Kaynak: Url-12).

Şekilden de anlaşıldığı üzere, Türkiye'deki yıllık yağış miktarları 1981–2020 yılları arasında büyük dalgalanmalar göstermektedir, bu dalgalanmalar, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak atmosferik sistemlerdeki dengesizlikleri yansıtmaktadır. Yağışların düzensizleşmesi, bazı yıllarda aşırı yağışlara, bazı yıllarda ise ciddi kuraklıklara neden olmaktadır. Bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmakta ve tarımsal üretim ile hidrolojik denge üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.

İklim değişikliği, sadece yağış miktarını değil, aynı zamanda yağışın zamanlamasını ve coğrafi dağılımını da değiştirmekte, bu da su temininde belirsizlikleri artırmaktadır.



Şekil 6.3: Nilüfer Barajı, 2022 yılında tamamen kurudu (Kaynak: Url-13).

Yağış desenlerindeki bu değişimlere yanıt vermek, çok boyutlu ve entegre bir yaklaşımı gerektirmektedir. Modern sulama sistemlerine, yağmur suyu hasadı altyapısına ve yapay yeraltı suyu besleme tekniklerine yapılacak yatırımlar hayati öneme sahiptir. Buna ek olarak, Türkiye'nin kentsel planlama stratejilerini sel riskini azaltıcı unsurları içerecek şekilde yeniden düzenlemesi gerekmektedir. Yeşil altyapılar ve gelişmiş drenaj sistemleri gibi uygulamalar, ani yağışlardan kaynaklanan taşkınların etkisini hafifletmede etkili araçlar olabilir. Su yönetimi uygulamalarının iklim projeksiyonlarıyla uyumlu hâle getirilmesi sayesinde, Türkiye değişen yağış rejimlerinin oluşturduğu risklere karşı daha hazırlıklı hale gelebilir.

6.3 Büyük Nehirler ve Göller Üzerindeki Etkiler

Türkiye'nin nehirleri ve gölleri, ülkenin su temininin bel kemiğini oluşturmakta olup tarımı, enerji üretimini ve biyolojik çeşitliliği desteklemektedir. Ancak iklim değişikliği, bu hayati su kaynaklarının bozulma sürecini hızlandırmakta ve hem ekosistemleri hem de insan geçim kaynaklarını tehdit etmektedir (Özkan, 2024).

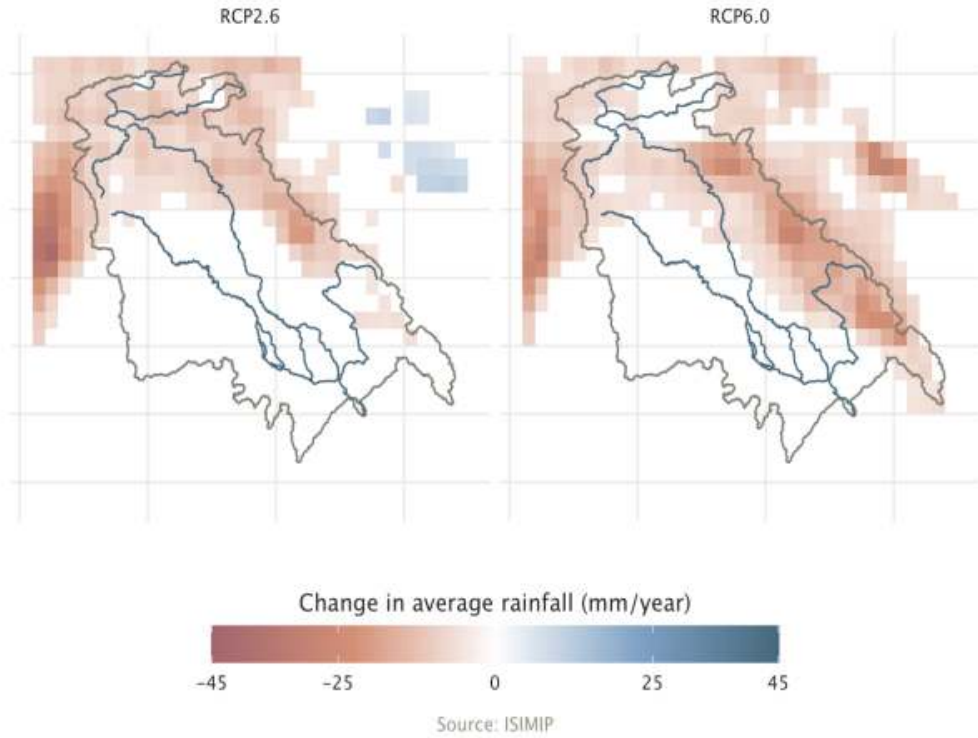
Çizelge 6.2: Türkiye'deki başlıca nehirler ve göller üzerindeki iklim değişikliğinin etkisi.

Su Kaynağı	Türü	Gözlemlenen/Beklenen İklim Değişikliği	Çevresel Etkiler	Kaynaklar
Fırat Nehri	Uluslararası Nehir	Yağış oranlarında azalma ve sıcaklık artışı $\Rightarrow$ yıllık akışın azalması	Baraj rezervlerinde azalma, su çatışmalarının artması	IPCC (2023), TÜBİTAK (2022)
Dicle Nehri	Uluslararası Nehir	Son yıllarda bazı mevsimlerde %50 azalma	Güneydoğu Türkiye'de tarım alanlarının kuruması	FAO (2021), Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Kızılırmak Nehri	Türkiye'nin en uzun nehri	Sıcaklık artışı $\Rightarrow$ buharlaşmanın artması, akış düzeninde değişiklik	Su miktarında azalma ve su kalitesinde bozulma	SUEN (2022), Türkiye Su Raporu
Van Gölü	Türkiye'nin en büyük tuzlu gölü	1980'lerden beri yüzey suyu sıcaklığında +1.5°C artış	Su ekosisteminde bozulma, biyolojik çeşitlilikte azalma	TÜBİTAK, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Tuz Gölü	Türkiye'nin ikinci büyük gölü	2021 yazında aşırı sıcaklık ve yağış eksikliği nedeniyle neredeyse tamamen kurudu	Mevsimsel olarak gölün neredeyse tamamen kaybı, kuş habitatlarının kaybı	Anadolu Ajansı (2021), WWF-Türkiye
Beyşehir Gölü	Doğal tatlı su gölü	2000'den beri su seviyesinde yıllık azalma	Yerel tarım faaliyetleri ve ekoturizm için tehdit	SUEN, Türkiye Tarım Bakanlığı

Çizelgede görüldüğü üzere, iklim değişikliği Türkiye'nin en büyük yüzey su kaynaklarını doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık artışı, yağış rejimlerindeki değişiklikler ve buharlaşma oranlarındaki yükselme başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu değişiklikler, özellikle bu kaynaklara büyük ölçüde bağımlı olan Anadolu ve Güneydoğu bölgelerinde su güvenliği ve tarımsal üretim açısından önemli tehditler oluşturmaktadır.

Türkiye'den doğup Suriye ve Irak'a akan Dicle ve Fırat nehirleri, hem ulusal su güvenliği hem de bölgesel jeopolitik açısından merkezi bir öneme sahiptir. Son on yıllarda bu nehirlerin akışlarında, azalan yağışlar, artan buharlaşma oranları ve Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında inşa edilen barajların etkisiyle önemli düşüşler gözlemlenmiştir. (GAP), tarımsal verimlilikte ve enerji üretiminde önemli ekonomik faydalar sağlamış olsa da, nehirlerin aşağı havzalarında yer alan ülkelerle su paylaşımı konusunda gerginliklere neden olmuştur.

İklim değişikliği bu sorunları daha da ağırlaştırmakta; nehir akışlarının zamanlamasını ve hacmini değiştirerek tarımsal üretim takvimlerini ve hidroelektrik enerji üretimini sekteye uğratmaktadır (Bilgen, 2020).



Şekil 6.4: Önümüzdeki 30 yıl içinde Fırat ve Dicle nehirlerinde yıllık ortalama yağış miktarındaki öngörülen değişiklikler (Chenoweth ve diğ, 2011).

Türkiye’deki göller de benzer şekilde iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Hem ekolojik hem de kültürel bir simge olan Van Gölü, uzun süreli kuraklıklar ve artan buharlaşma oranları nedeniyle azalan su seviyeleriyle karşı karşıyadır. Öte yandan, bir zamanlar önemli bir tuz gölü ve flamingolar için kritik bir yaşam alanı olan Tuz Gölü, büyük oranda küçülmüş ve geniş alanları tamamen kurumuştur. Bu tür göllerin gerilemesi; biyoçeşitlilik kaybı, artan toz fırtınaları ve balıkçılık, turizm ile tuz üretimine bağımlı yerel topluluklar için ekonomik zorluklar gibi çok boyutlu sonuçlara yol açmaktadır (Yılmaz ve diğ, 2021).

Su kalitesi de önemli bir sorun teşkil etmektedir. Su seviyeleri düştükçe, kirleticiler daha yoğun hale gelmekte, bu da sucul ekosistemlerin bozulmasına ve suyun içme ve tarım amaçlı kullanılabilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu sorunların çözümü; etkili su yönetimi, tahrip olmuş ekosistemlerin restorasyonu ve su kalitesi düzenlemelerinin daha sıkı uygulanmasını içeren bütüncül bir yaklaşımı gerektirir. Su seviyeleri ve kalitesinin izlenmesinde uydu teknolojilerinin kullanımı gibi yenilikçi çözümler, Türkiye’nin nehir ve göllerinin korunmasında önemli rol oynayabilir.

6.4 Tarım ve Hidroelektrik Üzerindeki Etkiler

Türkiye’nin tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmını tüketen tarım sektörü, iklim değişikliğine karşı en hassas alanlardan biridir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve uzun süreli kuraklıklar, özellikle İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu gibi kilit bölgelerde tarımsal üretkenlik üzerinde büyük baskı yaratmaktadır (Bouabdeli ve diğ, 2022).

Buğday, arpa ve pamuk gibi temel ürünlerin veriminde, su kıtlığı ve ısı stresi nedeniyle son yıllarda düşüşler yaşanmıştır. Çiftçiler giderek daha fazla suya ihtiyaç duyan ürünlerden vazgeçerek, nohut ve ayçiçeği gibi kuraklığa dayanıklı alternatiflere yönelmektedir. Bu dönüşüm her ne kadar su tasarrufu sağlasa da, kırsal gelirlerde azalma ve gıda tedarik zincirlerinde aksamalara neden olarak ekonominin geneline yayılan olumsuz etkiler yaratmaktadır. Tarımsal üretkenlikteki bu kayıplar, aynı zamanda Türkiye’nin gıda ithalatına olan bağımlılığını artırmakta ve ülkeyi küresel piyasa dalgalanmalarına açık hale getirmektedir.

Türkiye’nin elektriğinin dörtte birinden fazlasını sağlayan hidroelektrik sektörü de benzer şekilde risk altındadır. Azalan nehir debileri ve değişen mevsimsel su

mevcudiyeti, özellikle kar erimesine dayalı çalışan hidroelektrik santrallerinin verimliliğini azaltmıştır Pir ve diğ. (2024); Bu durum, Türkiye’yi fosil yakıt kullanımını artırmaya zorlayarak yenilenebilir enerji hedeflerini zayıflatmakta ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Bu sorunların çözümü için, iklim değişikliğinin etkilerine daha az duyarlı olan güneş ve rüzgâr enerjisine yönelik yatırımlarla enerji portföyünün çeşitlendirilmesi gereklidir (Kul ve diğ, 2020).

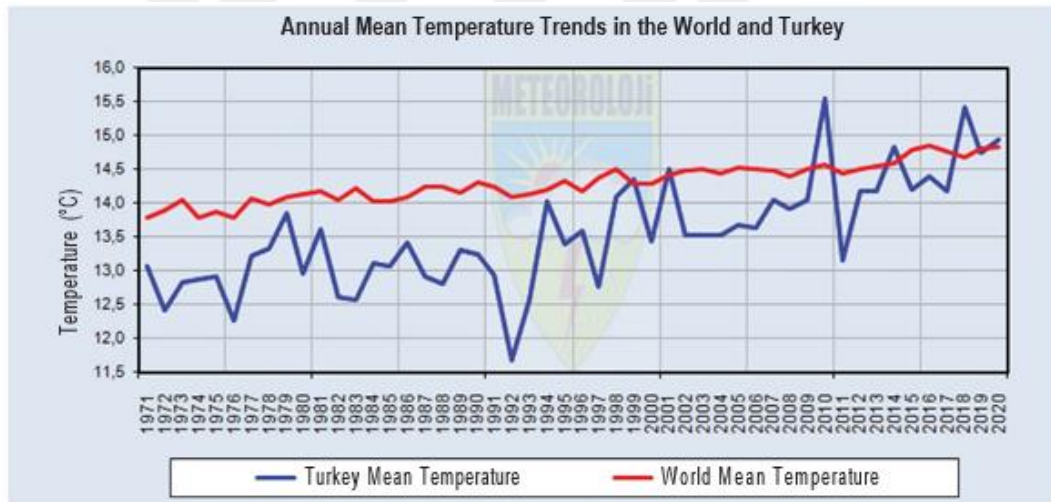
Tarım sektörünün dayanıklılığını artırmak amacıyla, sulama sistemlerinin modernize edilmesi, su verimli teknolojilerin yaygınlaştırılması ve iklim dirençli ürün çeşitleri üzerine araştırmaların desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, nehir akımlarındaki azalmaların etkilerini hafifletmek için mevsimsel değişkenliği dikkate alan baraj yönetimi gibi hidroelektrik operasyonlarının esnekliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmelidir.

7. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

7.1 Küresel, Bölgesel ve Türkiye'ye Özgü Etkilerin Karşılaştırılması

İklim değişikliği, küresel, bölgesel ve Türkiye'ye özgü bağlamlarda su kaynaklarının dinamiklerini köklü biçimde dönüştürmüştür. Artan sıcaklıklar, değişen yağış desenleri ve aşırı hava olaylarının daha sık yaşanması gibi genel temalar her üç ölçekte de ortak bir payda oluştururken, bu etkilerin şiddeti ve somut yansımaları önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Şekil 7.1, sıcaklıkların 1971-2020 yılları arasında hem küresel hem de yerel düzeyde önemli ölçüde arttığını göstermektedir.



Şekil 7.1: Dünya ve Türkiye'deki yıllık ortalama sıcaklık eğilimleri (Kaynak:Url-14).

Önceki şekildeki veriler, kırmızı çizgiyle gösterilen küresel ortalama sıcaklıkların, insan faaliyetlerine bağlı sera gazı emisyonlarının birikimli etkisini yansıtan kademeli bir artış eğilimi izlediğini göstermektedir. Mavi çizgiyle gösterilen Türkiye'ye ait yıllık ortalama sıcaklıklar ise, küresel ortalamaya kıyasla daha belirgin dalgalanmalar sergilemekle birlikte, genel eğilimin yine de artış yönünde olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle 2000 yılı sonrasında kaydedilen olağanüstü sıcaklık zirveleri, Doğu Akdeniz havzasında sıcak hava dalgalarının hem sıklığının hem de şiddetinin artmasıyla açıklanabilir.

Küresel düzeyde, iklim değışikliğı hidrolojik döngüyü bozarak kurak bölgelerde kuraklıkların şiddetlenmesine, nemli alanlarda ise taşkınların artmasına ve kutup ile dağlık bölgelerdeki kritik kar ve buz rezervlerinin kaybına yol açmaktadır. Örneğın, Arktik bölgesinde buzulların hızla erimesi, küresel deniz seviyesi artışına katkı sağlamakta ve aşağı havzalardaki tatlı su sistemlerini etkilemektedir. Benzer şekilde, Sahra Altı Afrika gibi bölgeler, tarım ve içme suyu için kullanılabilir suyun azalmasına neden olan uzun süreli kuraklıklarla mücadele etmektedir. Küresel ölçekte bu zincirleme etkiler; gıda güvenliğı, enerji üretimi ve ekosistem istikrarı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmakta, özellikle tropikal bölgelerde yağış desenlerindeki bozulmalar ve aşırı hava koşulları daha sık ve yıkıcı hale gelmektedir.

Bölgesel düzeyde ise Orta Doğı, dünyadaki en su kıtlığı çeken bölgelerden biri olarak öne çıkmaktadır (Bozorg-Haddad ve diğı, 2020). Zaten kurak ve yarı kurak olan bu bölge, azalan yağış miktarları ve yükselen sıcaklıklarla daha da savunmasız hale gelmiştir. Dicle ve Fırat gibi paylaşılan su kaynaklarına olan bağımlılık, bölge ülkeleri arasında jeopolitik gerilimleri artırmaktadır. Körfez ülkelerindeki tuzdan arındırma teknolojilerinin yaygınlaşması, su kıtlığına karşı yenilikçi ancak enerji açısından yoğun bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bununla birlikte, bu tür teknik çözümler çoğı zaman, düşük gelirli ülkeler açısından adil su paylaşımına ilişkin sosyo-politik sorunlara kalıcı yanıt verememektedir.

Türkiye özelinde ise, iklim değışikliğının etkileri hem küresel hem de bölgesel eğilimlerle örtüşmektedir. 20. yüzyılın ortalarından bu yana ortalama sıcaklıklarda yaklaşık 1,5°C'lik bir artış gözlemlenmiş olup, bu durum dağlık bölgelerde kar birikiminin azalmasına, kar erimesinin daha erken gerçekleşmesine ve nehir debilerinin düşmesine neden olmuştur (Korkmaz, 2024). Yağış rejimi daha değışken hale gelmiş; kış yağışlarında önemli azalmalar, yaz aylarında ise yoğun kısa süreli sağanaklar artış göstermiştir. Bu değışimler, Dicle ve Fırat gibi büyük nehirleri ve Van Gölü ile Tuz Gölü gibi önemli iç su kaynaklarını tehdit etmektedir. Türkiye'nin tarıma olan yüksek bağımlılığı —toplam su kullanımının %74'ü— ve enerji üretiminde hidroelektriğın önemli paya sahip olması, bu tehditleri daha da ciddi hale getirmektedir. Türkiye, Orta Doğı'daki bazı komşularına kıyasla daha çeşitli su kaynaklarına sahip olma avantajına sahip olsa da, artan iklim değışkenliğı karşısında bu kaynakların sürdürülebilir yönetimi noktasında kendine özgü zorluklarla karşı karşıyadır.

7.2 Küresel ve Bölgesel Uyum Stratejilerinden Çıkarılan Dersler

Küresel uyum stratejileri, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin yönetimine dair önemli içgörüler sunmaktadır (Ludwig ve diğ., 2014). Gelişmiş ekonomilere sahip ülkeler, su geri kazanımı, tuzdan arındırma ve hassas sulama gibi teknoloji odaklı çözümlere büyük yatırımlar yapmışlardır. Örneğin Türkiye gibi ülkeler, atık suyun yeniden kullanımı ile gelişmiş sulama tekniklerinin entegrasyonunun tarımsal su kullanımında optimizasyon sağladığını göstermiştir (Nas ve diğ., 2020). Benzer şekilde, Avustralya'daki su piyasası reformları, sınırlı su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesinde etkili olmuş ve kurak bölgeler için potansiyel bir model teşkil etmiştir (Holley ve Sinclair, 2016).

Bölgesel düzeyde ise, Orta Doğu'da özellikle Körfez ülkelerinde yenilikçi önlemler benimsenmiştir. Geniş ölçekli tuzdan arındırma tesisleri, bu ülkelerde içme suyunun önemli bir kısmını sağlamaktadır. Birleşik Arap Emirlikleri ve Suudi Arabistan gibi ülkeler, bu teknolojilerin karbon ayak izini azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji destekli tuzdan arındırma sistemlerine de yatırım yapmaktadır (Dawoud ve diğ., 2020). Ayrıca, su tasarrufu kampanyaları ve kamu farkındalığı girişimleri, sürdürülebilir su kullanımını teşvik etmede önemli rol oynamıştır. Ancak, bölgenin enerji yoğun teknolojilere olan bağımlılığı ve sağlam sınır aşan su paylaşım anlaşmalarının eksikliği, hâlen aşılması gereken ciddi engeller olarak durmaktadır.

Türkiye, bu küresel ve bölgesel stratejilerden çeşitli dersler çıkarabilir. İsrail'de uygulanan hassas sulama ve su geri kazanımı örnekleri, Türkiye'nin tarımsal su verimliliğini artırmak için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin yenilenebilir enerji sektörü, güneş enerjisiyle çalışan tuzdan arındırma gibi sürdürülebilir su yönetimi teknolojilerini desteklemede kullanılabilir. Nil Havzası Girişimi gibi uluslararası çerçeveler, Türkiye'nin Dicle ve Fırat nehirleri bağlamında Irak ve Suriye ile yürüttüğü işbirliklerine model teşkil edebilir. Ancak Türkiye'de başarılı bir uyum süreci, yerel sosyo-politik dinamiklerin dikkate alınmasını, suya adil erişimin sağlanmasını ve iklim projeksiyonlarının uzun vadeli planlamalara entegre edilmesini gerektirmektedir.

7.3 Türkiye'nin Kendine Özgü Zorlukları ve Fırsatları

Türkiye'nin coğrafi çeşitliliği ve stratejik konumu, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin yönetiminde hem zorluklar hem de fırsatlar barındırmaktadır. Bir yandan, artan sıcaklıklar, azalan yağışlar ve nüfus artışı ile kentleşmeye bağlı olarak artan su talebi, ülke üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Diğer yandan, Türkiye'nin nehirleri, gölleri ve yeraltı su rezervleri gibi çeşitli hidrolojik kaynakları, uyarlanabilir su yönetimi için güçlü bir temel teşkil etmektedir (Birpınar ve Tuğaç, 2018).

Türkiye'nin karşılaştığı en özgün zorluklardan biri, sınır aşan nehirlerin yönetimidir. Dicle ve Fırat nehirleri, Türkiye'de doğup komşu ülkelere akmakta olup, bölgesel su güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, iklim değişikliği nedeniyle azalan akışlar ve GAP gibi projeler kapsamında yapılan baraj inşaatları, aşağı havza ülkeleriyle gerilimleri artırmıştır. Bu zorlukların aşılması; diplomatik girişimler, bölgesel işbirlikleri ve sürdürülebilir su paylaşım anlaşmalarının geliştirilmesini gerektirmektedir.

Diğer bir önemli zorluk ise, Türkiye'nin tarım sektörünün su kıtlığına karşı duyarlılığıdır. Ülke genelindeki su kaynaklarının %74'ünün sulamaya ayrılmış olması, azalan su mevcudiyetinin gıda güvenliği ve kırsal geçim kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yaratmasına yol açmaktadır. Ancak bu durum, Türkiye'nin tarımsal uygulamalarını modernize etmesi için bir fırsat da sunmaktadır. Damla sulama gibi su verimli teknolojilerin yaygınlaştırılması ve kuraklığa dayanıklı ürünlerin teşvik edilmesi, bu dönüşümün temelini oluşturabilir.

Türkiye'nin enerji sektörü de, hidroelektriğe olan bağımlılığı nedeniyle iklim değişikliğinden ciddi şekilde etkilenmektedir (Yılmaz, 2023). Azalan nehir akışları ve mevsimsel su değişkenliği, hidroelektrik üretimini olumsuz etkilemekte ve ülkenin fosil yakıtlara yönelmesine neden olmaktadır. Bu da Türkiye'nin sera gazı emisyonlarını azaltma hedefleriyle çelişmektedir. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi suya bağımlı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artırılması, Türkiye'nin enerji güvenliğini artırırken iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını da güçlendirebilir.

Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi gibi politika belgeleri, bu zorluklarla başa çıkmak için bir çerçeve sunmaktadır. Sürdürülebilir su yönetimini

önceliklendirmek, bölgesel işbirliğini teşvik etmek ve teknolojik yeniliklerden faydalanmak, Türkiye'yi iklim uyumunda bölgesel bir lider konumuna taşıyabilir. Bu çabaların, uluslararası iyi uygulamalarla entegre edilmesi, iklim değişikliğinin oluşturduğu özgün tehditlerin aşılması ve Türkiye'nin su geleceğinin güvence altına alınması açısından kritik öneme sahiptir.



8. TARTIŞMA

8.1 Bulguların Yorumlanması

Bu çalışmanın bulguları, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki çok katmanlı ve birbirine bağlı etkilerini, özellikle Türkiye ve Orta Doğu bağlamında aydınlatmaktadır. Küresel düzeyde elde edilen veriler, iklim değişikliğinin hidrolojik döngüleri; artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve daha sık yaşanan aşırı hava olayları yoluyla bozduğunu kesin biçimde ortaya koymaktadır. Bu değişiklikler, şiddetlenen kuraklıklar, artan taşkınlar ve kötüleşen su kalitesiyle birlikte su kıtlığını derinleştirmekte, gıda güvenliğini tehdit etmekte ve sosyo-ekonomik kırılganlıkları artırmaktadır.

Türkiye bağlamında çalışma, iklim değişikliği, insan kaynaklı baskılar ve su kaynaklarının bozulması arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bulguların tekrar eden bir deseni, özellikle dağlık bölgelerdeki kış yağışlarında ve kar örtüsü miktarında belirgin bir azalmayı göstermektedir. Bu alanlar, nehir akışlarının ve yeraltı suyu besleniminin temel kaynağını oluşturmaktadır. Erken kar erimesi, Dicle ve Fırat gibi kritik havzalardaki nehir debisinin azalmasında önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Bu eğilim, halihazırda tarımsal üretkenliği, enerji üretimini ve sınır aşan su paylaşımı anlaşmalarını etkilemekte ve bölgesel istikrar üzerinde yankı uyandıran sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca, Tuz Gölü ve Van Gölü gibi önemli göllerin endişe verici ölçüde küçülmesi, ekosistemlerin ciddi şekilde bozulduğunu, biyolojik çeşitliliğin azaldığını ve bu su kaynaklarına bağımlı geçim kaynaklarının kesintiye uğradığını göstermektedir.

Bölgesel düzeyde ise bulgular, Orta Doğu'daki genel eğilimlerle uyum içersindedir. Bölgenin kurak ve yarı kurak iklimi, jeopolitik gerilimlerle birleşerek su sistemlerinin kırılganlıklarını daha da artırmıştır. Türkiye'nin Dicle ve Fırat gibi sınır aşan nehirlerin yukarı havza ülkesi olması, onu suyla ilgili anlaşmazlıkların merkezine yerleştirmekte ve sürdürülebilir, işbirliğine dayalı kaynak paylaşım mekanizmalarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bulgular, etkili bir işbirliği olmaksızın, iklim değişikliği ile

jeopolitik çatışmaların kesişiminin, bölgesel gerilimleri daha da derinleştirebileceğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, Türkiye'nin mevcut su yönetimi uygulamaları ve altyapısı, iklim değişikliğinin artan etkilerine karşı yetersiz kalmaktadır. Ülkede teknolojik ilerlemeler ve çeşitli politika girişimleri hayata geçirilmiş olsa da, iklim projeksiyonlarının su kaynakları yönetimine yeterince entegre edilememesi, uzun vadeli planlamayı sekteye uğratmakta ve su sistemleri, ekonomi ve bölgesel ilişkiler açısından olumsuz sonuçlara yol açma riskini artırmaktadır.

8.2 Su Kaynakları Yönetimi Üzerindeki Çıkarımlar

Bu çalışmanın bulguları, özellikle Türkiye ve su sıkıntısı yaşayan diğer bölgelerde, su kaynakları yönetimi stratejilerinin yeniden ele alınması gerekliliğini kuvvetle ortaya koymaktadır. Ana sorunlardan biri, yağış düzenlerinde yaşanan değişiklikler ve kar örtüsündeki azalma nedeniyle su mevcudiyetinin giderek öngörülemez hale gelmesidir. Geçmişe dayalı verilerle çalışan geleneksel su yönetim sistemleri, bu yeni değişkenlik düzeyiyle başa çıkmakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, gerçek zamanlı iklim verilerini ve öngörü modellerini entegre eden uyarlanabilir yönetim yaklaşımlarının benimsenmesi, su tahsisinde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından hayati önemdedir.

- **Tarımsal Su Kullanımının Yönetimi**

Tarımsal faaliyetler, tatlı su kaynaklarının orantısız biçimde tüketilmesi nedeniyle kritik bir sektör olarak öne çıkmaktadır. Salma sulama gibi verimsiz sulama yöntemleri, su kıtlığını artırmakta ve yeraltı suyu rezervlerini hızla tüketmektedir. Bulgular, sulama uygulamalarının modernize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, damla sulama, toprak nemi sensörleri ve otomatik su dağıtım sistemleri gibi hassas tarım teknolojilerinin benimsenmesi önerilmektedir. Bu yöntemler, su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir, israfı azaltabilir ve tarımsal verimliliği yükseltebilir. Ayrıca, ürün deseninin çeşitlendirilmesi ve kuraklığa dayanıklı ürün çeşitlerinin teşvik edilmesi, tarımda suya bağlı riskleri azaltmada etkili olacaktır.

- Sınır Aşan Suların Yönetişiminin Güçlendirilmesi

Özellikle Dicle-Fırat havzasında yer alan sınır aşan su kaynaklarının yönetimi, bölgesel istikrar açısından büyük önem taşımaktadır. Bulgular, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) gibi tek taraflı su geliştirme girişimlerinin, aşağı havza ülkeleriyle yaşanan gerilimleri artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir ve iş birliğine dayalı sınır aşan su yönetimi çerçevelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şeffaf veri paylaşımı mekanizmaları ve çatışma çözüm protokolleriyle desteklenecek bu çerçeveler, adil kaynak paylaşımını ve iklim dirençliliği önlemlerini önceliklendirmelidir.

- Su Kalitesinin ve Ekosistem Sağlığının Güçlendirilmesi

Büyük göllerin küçülmesi ve su kalitesinin bozulması, suyun miktarı kadar kalitesini de kapsayan entegre su kaynakları yönetimi (ESKY) yaklaşımlarına olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, sanayi ve tarımsal kirliliğin önlenmesine yönelik daha sıkı düzenlemeler, bozulmuş habitatların onarılmasına yönelik ekosistem restorasyon projeleri ve yapay sulak alanlar gibi yeşil altyapı yatırımları gereklidir. Bu önlemler, doğal su filtrasyon kapasitesini artırabilir, biyolojik çeşitliliği iyileştirebilir ve su sistemlerinin ekolojik dayanıklılığını güçlendirebilir.

- Kentsel Dirençlilik ve Altyapı

Türkiye'deki kentsel alanlar, hem su kıtlığına hem de sel baskınlarına karşı artan bir kırılganlık göstermektedir. Bu kırılganlık, yetersiz altyapı ve plansız şehirleşmeden kaynaklanmaktadır. Bulgular, kentsel su sistemlerine iklim dirençli tasarımların entegre edilmesinin önemine işaret etmektedir. Yağmur suyu hasadı, taşkın yönetimi ve kentsel yeşillendirme uygulamaları, hem taşkın riskini azaltabilir hem de alternatif su kaynakları yaratabilir. Buna ek olarak, atık suyun geri kazanımı ve deniz suyu arıtımı gibi yöntemler, özellikle nüfus yoğunluğu yüksek şehirlerde tamamlayıcı su kaynakları olarak değerlendirilebilir.

Şekil 8.1'de, bu proje, kullanılmayan bir havaalanı pistini yenilikçi bir yağmur suyu yönetim sistemiyle bütünleşik bir yeşil parka dönüştürerek kentsel yayılma ve su kalitesi sorunlarını ele almayı amaçlıyor.



Şekil 8.1: Şanghay'daki Xuhui Pist Parkı'nda kentsel canlandırma projesi (Kaynak: Url-15).

8.3 Politika Önerileri

Bu çalışmanın bulgularına dayanarak, Türkiye’de su kaynakları yönetimini ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak amacıyla aşağıdaki politika önerileri geliştirilmektedir:

- İklim akıllı su yönetimi uygulamalarını benimsemek

Ulusal su kaynakları planlaması, iklim projeksiyonlarını ve uyum stratejilerini içerecek şekilde yeniden yapılandırılmalıdır. Dinamik su tahsis modelleri, değişen yağış rejimlerini, artan sıcaklıkları ve büyüyen su talebini dikkate almalıdır. Politika düzeyinde, ileri sulama sistemleri ve atık su geri dönüşüm tesisleri gibi su verimliliği yüksek teknolojilerin benimsenmesini teşvik edecek düzenlemelere öncelik verilmelidir.

- Sınır aşan sulara yönelik işbirliğini güçlendirmek

Türkiye’nin Dicle-Fırat havzasında yukarı havza ülkesi olması, Irak ve Suriye ile adil kaynak paylaşımına dayalı anlaşmalar yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu

bağlamda, bütüncül su yönetimi ilkelerine dayalı çok taraflı anlaşmalar geliştirilmeli; bu anlaşmalar şeffaf veri paylaşım sistemleri ve çatışma çözüm mekanizmaları ile desteklenmelidir. Ortak uyum önlemleri de bu çerçevenin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

- Tarımsal Uygulamaları Modernize Etmek

İklim değişikliğine dirençli tarım uygulamalarına geçiş büyük önem arz etmektedir. Kuraklığa dayanıklı tohum çeşitlerinin, hassas tarım teknolojilerinin ve su tasarruflu sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. Çiftçilere yönelik sübvansiyon programları ve eğitim çalışmaları bu dönüşümü destekleyebilir. Ayrıca, farklı agro-ekolojik bölgeler için özel olarak yürütülecek sürdürülebilir tarım araştırmaları, yerel düzeyde uygulanabilir çözümler sunacaktır.

- Su yönetimi için yenilenebilir enerji yatırımlarını artırma

Hidroelektrik, Türkiye'nin önemli enerji kaynaklarından biri olmakla birlikte, azalan nehir debileri nedeniyle giderek daha kırılgan hale gelmektedir. Enerji portföyünün güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklarla çeşitlendirilmesi, hidroelektriğe bağımlılığı azaltacak ve su yönetimi girişimlerine destek sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji, özellikle kırsal bölgelerde deniz suyu arıtımı, su pompajı ve benzeri altyapıların çalıştırılmasında etkili rol oynayabilir.

- Kentsel su sistemlerini yeniden tasarlamak

Kentsel dayanıklılığın artırılması için yeşil altyapının şehir planlamasına entegre edilmesi gereklidir. Geçirgen kaldırımlar, yeşil çatılar ve kentsel sulak alanlar, yağmur suyu yönetimini iyileştirebilir ve sel riskini azaltabilir. Yağmur suyu hasadı ve atık su geri kazanım sistemleri, özellikle hızlı nüfus artışı gösteren kentlerde tatlı su kaynaklarını tamamlayıcı rol oynayabilir.

- Toplumsal Farkındalığı ve Katılımı Güçlendirmek

Toplum temelli bilinçlendirme kampanyaları, sürdürülebilir su kullanımı konusunda farkındalığı artırabilir ve yerel dayanıklılığı güçlendirebilir. Eğitim programları, bireylerin su tasarrufundaki rolünü ve iklim değişikliğine karşı alınabilecek kişisel önlemleri vurgulamalıdır. Yerel düzeyde yürütülecek su

yönetimi projelerinde halkın katılımı, sosyal uyumu güçlendirecek ve uygulamaların başarısını artıracaktır.

- Kurumsal Kapasiteyi ve Yönetişimi Geliştirmek

Su yönetiminden sorumlu kurumların kurumsal kapasitelerinin artırılması elzemdir. Bu doğrultuda, eğitim, bütçeleme ve uzaktan algılama ile yapay zekâ gibi modern teknolojilere yatırım yapılmalıdır. Tarım, enerji ve şehircilik gibi farklı sektörler arasında eşgüdüm sağlanarak, su yönetiminde bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir.

- Ekosistem Restorasyonunu Önceliklendirmek

Ekosistem temelli uyum stratejileri, örneğin su havzalarında yeniden ağaçlandırma ve kıyı şeritlerinin korunması, doğal su depolama kapasitesini artırabilir ve su kalitesini iyileştirebilir. Politikalar, sulak alanlar, göller ve nehirler gibi bozulmuş ekosistemlerin restorasyonuna odaklanmalı; böylece biyolojik çeşitliliğin korunması ve doğal sistemlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı güçlendirilmelidir.

Bu politika önerilerinin hayata geçirilmesi, Türkiye'nin iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerine karşı direncini önemli ölçüde artırabilir. Küresel iyi uygulamaların yerel koşullara uyarlanması, bu çalışmada ortaya konulan zorlukların aşılmasında ve fırsatların değerlendirilmesinde kritik rol oynayacaktır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, iklim değişikliğinin küresel ölçekte su kaynakları üzerindeki etkilerini incelemekte ve özellikle Türkiye ile Orta Doğu bağlamında ayrıntılı bir değerlendirme sunmaktadır. İklim değişikliği, dünya genelinde hidrolojik döngüleri belirgin şekilde etkilemiş; artan ortalama sıcaklıklar, düzensizleşen yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, su kaynakları üzerinde ciddi baskılar oluşturmıştır. Bu durum, su kıtlığının derinleşmesine, tarımsal üretim sistemlerinde bozulmalara ve mevcut su yönetimi politikalarının sürdürülebilirliğinin zayıflamasına yol açmaktadır. Orta Doğu'nun yarı kurak ve kurak iklim koşulları, bölgenin sınır aşan akarsulara (örneğin Dicle ve Fırat) bağımlılığı ile birleştiğinde, hem çevresel hem de sosyoekonomik açıdan kırılganlığı artırmaktadır. Su kaynaklarındaki azalma; gıda güvenliği, göç hareketleri ve bölgesel istikrarsızlık gibi konular üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Türkiye bağlamında, yağış miktarındaki düşüş ve kar örtüsünün azalması, yüzey suyu debilerinde ve yeraltı suyu yenilenme oranlarında belirgin azalışa yol açmıştır. Bu durum, özellikle tarım sektöründe sulama suyu temininde zorluklara ve hidroelektrik enerji üretiminde kapasite kayıplarına neden olmaktadır. Tuz Gölü ve Van Gölü gibi kapalı havza göllerinde, uzun süreli kuraklık ve buharlaşma oranındaki artış nedeniyle gözle görülür küçülmeler yaşanmakta; bu süreç ekosistemleri tehdit etmekte ve bölgesel ekonomik faaliyetleri olumsuz etkilemektedir. Türkiye'nin tarım ve enerji sektörlerinde suya olan yüksek bağımlılığı, iklim değişkenliğine karşı hassasiyetini artırmaktadır. Sulama altyapısının modernizasyonu ve deniz suyu arıtımı gibi önlemler alınmakla birlikte, iklim senaryolarını dikkate alan bütünsel su yönetimi stratejilerinin yetersizliği, uzun vadeli dayanıklılığı sınırlamaktadır.

Arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı, Türkiye'de iklim değişikliğine uyum stratejilerinin önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. 2022 yılında arıtılmış atık suyun yeniden kullanım oranı %4,2'ye ulaşarak hedefi aşmış, 2023 yılının ilk yarısında ise %5,2'ye yükselmiştir. Türkiye, 2030 yılına kadar bu oranı %15'e çıkarma hedefi koymuştur. Günümüzde yıllık yaklaşık 283 milyon metreküp arıtılmış atık su; tarımsal sulama, endüstriyel üretim, yeraltı suyu beslemesi ve rekreasyonel faaliyetler

gibi alanlarda değerlendirilmektedir. Bu uygulama, su arz güvenliğinin artırılmasında ve su kaynakları üzerindeki baskının azaltılmasında stratejik öneme sahiptir.

Sınır aşan su kaynakları yönetimi ise iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte daha da kritik hale gelmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 153 ülke, 286 sınır aşan nehir ve göl havzasını ve 592 sınır aşan yeraltı suyu sistemini paylaşmaktadır. Bu durum, özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika gibi su kaynakları sınırlı bölgelerde, suyun yönetimini hem çevresel hem de siyasi açıdan karmaşık bir hale getirmektedir. Bazı ülkelerin su kaynakları üzerindeki “mutlak egemenlik” iddiaları, veri paylaşımının kısıtlanması veya suyun akışının tek taraflı kontrolü gibi uygulamalara yol açmakta, bu da bölgesel güven sorunlarına ve çatışma risklerine neden olmaktadır. Uluslararası hukuk ve iş birliği mekanizmalarındaki eksiklikler, su kaynaklarının adil ve sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, şeffaf veri paylaşımı, havza ölçekli çok taraflı yönetim ve ekosistem temelli uyum stratejileri hayati öneme sahiptir. Ayrıca, sınır aşan yeraltı sularının izlenmesi ve korunması, sürdürülebilir su yönetimi için önemli bir zorluktur.

Politika geliştirme açısından, sınır aşan su yönetimi iş birliğinin güçlendirilmesi, özellikle Dicle ve Fırat havzalarında adil ve sürdürülebilir kaynak paylaşımını sağlayacak mekanizmaların tesis edilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda, veri paylaşımında şeffaflığın artırılması ve havza ölçekli yönetim modellerinin benimsenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca, ekosistem temelli uyum yaklaşımları — bozulmuş sulak alanların, ormanlık alanların ve riparyan bölgelerin restorasyonu — hem su kalitesini hem de doğal depolama kapasitesini iyileştirecektir. Kent içi yeşil altyapı uygulamaları ve yapay sulak alan sistemleri, yağmur suyu yönetimi ve taşkın riskinin azaltılması açısından da etkili çözümler sunmaktadır.

Enerji-su ilişkisi bağlamında, hidroelektrik enerjiye bağımlılığın azaltılması ve güneş ile rüzgâr enerjisine yönelik yatırımların artırılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlayacaktır. Su yönetiminde kullanılan arıtma ve iletim sistemlerinin yenilenebilir enerji ile desteklenmesi, hem enerji güvenliğini hem de iklim değişikliğine uyumu güçlendirecektir. Toplumsal düzeyde su tasarrufu bilincinin artırılması ve kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi, alınan önlemlerin etkinliğini artıracaktır.

Gelecek araştırmalar, sınır aşan havzalarda iklim senaryolarına dayalı hidrolojik modellemelerin geliştirilmesine, yapay zekâ tabanlı sulama optimizasyon

sistemlerinin uygulanmasına ve yenilenebilir enerjiyle çalışan ileri arıtma teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına odaklanmalıdır. Orta Doğu’da su kıtlığı, göç ve çatışma dinamikleri arasındaki ilişkilerin derinlemesine incelenmesi, hem akademik literatüre hem de politika yapım süreçlerine katkı sağlayacaktır. Türkiye özelinde ise su kıtlığının tarımsal üretim, enerji arzı ve kentsel gelişim üzerindeki ekonomik etkilerinin çok boyutlu analizlere konu edilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin yönetilmesinde disiplinlerarası yaklaşım esastır. Bilimsel verilerin politika süreçlerine entegre edilmesi, yenilikçi teknolojilerin uygulanması ve toplumsal farkındalık çalışmalarının eşgüdümlü olarak yürütülmesi, hem ulusal hem de bölgesel ölçekte su güvenliğinin sağlanmasında kritik rol oynayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559.
- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V. K. (2020). Global climate change impacts on Tigris-Euphrates Rivers basins. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(1), 49-98.
- Adamopoulos, I. P., Syrou, N. F., Adamopoulou, J. P., Mijwil, M. M. (2024). Conventional water resources associated with climate change in the Southeast Mediterranean and the Middle East countries. *European Journal of Sustainable Development Research*, 8(3).
- Adedeji, O., Reuben, O., Olatoye, O. (2014). Global climate change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2(2), 114-122.
- Agir, S., Derin-Gure, P., Senturk, B. (2023). *Farmers' perspectives on challenges and opportunities of agrivoltaics in Turkiye: An institutional perspective*. *Renewable Energy*, 212, 35-49.
- Aktaş, Ö. (2014). Impacts of climate change on water resources in Turkey. *Environmental Engineering ve Management Journal (EEMJ)*, 13(4).
- Bannari, A., Ghadeer, A., El-Battay, A., Hameed, N. A., Rouai, M. (2017). Detection of areas associated with flash floods and erosion caused by rainfall storm using topographic attributes, hydrologic indices, and GIS. In *Global changes and natural disaster management: Geo-information technologies* (pp. 155-174). Springer International Publishing.
- Bhattarai, K., Yousef, M. (2025). Water Scarcity and Climate Change in MENA: Challenges, Innovations, and Geopolitical Impacts. In *The Middle East: Past, Present, and Future* (pp. 105-136). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Bilgen, A. (2020). Turkey's Southeastern Anatolia Project (GAP): A qualitative review of the literature. *British journal of Middle Eastern studies*.
- Birpınar, M. E., Tuğaç, C. (2018). Impacts of climate change on water resources of Turkey. In *Gastescu P, Bretcan P (edit, 2018), Water resources and wetlands, 4th international conference water resources and wetlands* (pp. 5-9).
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C. (2020). *Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994–22001.
- Bouabdelli, S., Zeroual, A., Meddi, M., Assani, A. (2022). Impact of temperature on agricultural drought occurrence under the effects of climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(1), 191-209.

- Bozorg-Haddad, O., Zolghadr-Asli, B., Sarzaeim, P., Aboutalebi, M., Chu, X., Loáiciga, H. A.** (2020). Evaluation of water shortage crisis in the Middle East and possible remedies. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 69(1), 85-98.
- Chang, H., Bonnette, M. R.** (2016). Climate change and water-related ecosystem services: impacts of drought in california, usa. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(12), e01254.
- Chaturongkasumrit, Y., Techaruvichit, P., Takahashi, H., Kimura, B., Keeratipibul, S.** (2013). Microbiological evaluation of water during the 2011 flood crisis in Thailand. *Science of the Total Environment*, 463, 959-967.
- Chaturvedi, V., Hejazi, M., Edmonds, J., Clarke, L., Kyle, P., Davies, E., Wise, M.** (2015). Climate mitigation policy implications for global irrigation water demand. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 20, 389-407.
- Chen, Y. P., Fu, B. J., Zhao, Y., Wang, K. B., Zhao, M. M., Ma, J. F., Li, Y., Li, Z., Wang, H.** (2020). Sustainable development in the Yellow River Basin: Issues and strategies. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121223.
- Chenoweth, J., Hadjinicolaou, P., Bruggeman, A., Lelieveld, J., Levin, Z., Lange, M. A., Hadjikakou, M.** (2011). Impact of climate change on the water resources of the eastern Mediterranean and Middle East region: Modeled 21st century changes and implications. *Water Resources Research*, 47(6).
- Coffey, R., Paul, M. J., Stamp, J., Hamilton, A., Johnson, T.** (2019). A review of water quality responses to air temperature and precipitation changes 2: nutrients, algal blooms, sediment, pathogens. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 55(4), 844-868.
- Dawoud, M. A., Alaswad, S. O., Ewea, H. A., Dawoud, R. M.** (2020). Towards sustainable desalination industry in Arab region: challenges and opportunities. *Desalination and Water Treatment*, 193, 1-10.
- El Kenawy, A. M.** (2024). Hydroclimatic extremes in arid and semi-arid regions: status, challenges, and future outlook. In *Hydroclimatic Extremes in the Middle East and North Africa* (pp. 1-22). Elsevier.
- Francis, D., Fonseca, R., Nelli, N., Cherif, C., Yarragunta, Y., Zittis, G., Jan de Vries, A.** (2025). From cause to consequence: examining the historic April 2024 rainstorm in the United Arab Emirates through the lens of climate change. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1), 1-14.
- Gall, M.** (2025) Not Enough Water: Drought Emergencies in the American Southwest. In *US Emergency Management in the 21st Century* (pp. 143-160). Routledge.
- Gosling, S. N., Arnell, N. W.** (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134, 371-385.
- Guy Carpenter.** (2024). *CAT Resource Center Post Event Report: Gulf Floods – April 2024* (Rapor No. GC-2024-0425). New York: Guy Carpenter & Company, LLC.

- Harmancioglu, N. B., Altinbilek, D. (Eds.).** (2020). *Water resources of Turkey*. Springer International Publishing.
- Holley, C., Sinclair, D.** (2016). Governing water markets: Achievements, limitations and the need for regulatory reform. *Environmental and Planning Law Journal*, 33(4), 301–324.
- Hossen, M. A., Connor, J., Ahammed, F.** (2023). How to resolve transboundary river water sharing disputes. *Water*, 15(14), 2630.
- IPCC, 2023: Sections.** In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Jawad, L. A. (Ed.).** (2021). *Tigris and Euphrates rivers: their environment from headwaters to mouth* (Vol. 11). Springer Nature.
- Karas, E.** (2025). *Sustainable soil and water management in arid climates in the Mediterranean climate zone*. London: Intech Open.
- Khan, T., Samiullah, M., Rouf, I. I., Sultana, S., Rahman, S., Rahman, M. B., Khanum, R.** (2024). The Nexus of Water Scarcity and Climate Change: Understanding Interconnected Challenges and Formulating Resilient Strategies. *International Journal of Environmental Sciences*, 7(3), 57-68.
- Knutzen, F., Auerbeck, P., Barrasso, C., Bouwer, L. M., Gardiner, B., Grünzweig, J. M., Gliksmann, D.** (2025). Impacts on and damage to European forests from the 2018–2022 heat and drought events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(1), 77-117.
- Korkmaz, M.** (2024) Impacts of Climate Change: Examining Precipitation, Temperature Anomalies, and Effects on Water Resources in Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(4), 558-569.
- Kul, C., Zhang, L., Solangi, Y. A.** (2020). Assessing the renewable energy investment risk factors for sustainable development in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124164.
- Kundzewicz, Z. W.** (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(2-4), 195-203.
- Kundzewicz, Z. W.** (2016). Extreme weather events and their consequences. *Papers on Global Change*, (23), 59-69.
- Landsman, M. R., Rowles, L. S., Brodfuehrer, S. H., Maestre, J. P., Kinney, K. A., Kirisits, M. J., Katz, L. E.** (2019). Impacts of Hurricane Harvey on drinking water quality in two Texas cities. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124046.
- Lange, M. A.** (2019). Impacts of climate change on the Eastern Mediterranean and the Middle East and North Africa region and the water–energy nexus. *Atmosphere*, 10(8), 455.

- Le Hou  rou, H. N.** (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of arid Environments*, 34(2), 133-185.
- Ludwig, F., van Slobbe, E., Cofino, W.** (2014). Climate change adaptation and Integrated Water Resource Management in the water sector. *Journal of Hydrology*, 518, 235-242.
- Maghen, L., Kronich, S.** Ensuring Water Security in the Middle East: Policy Implications 6 April 2020| Policy Study| English.
- Majedul Islam, M. M.** (2022). Threats to humanity from climate change. In *Climate change: The social and scientific construct* (pp. 21-36). Cham: Springer International Publishing.
- Nadeau, K. C., Agache, I., Jutel, M., Annesi Maesano, I., Akdis, M., Sampath, V., D'Amato, G., Cecchi, L., Traidl-Hoffmann, C., Akdis, C. A.** (2022). Climate change: a call to action for the United Nations. *Allergy*, 77(4), 1087-1090.
- Naz, U., Saleem, M. S.** (2024). Climate-induced vulnerabilities: Conflict and migration patterns in the sahel region of africa. *Pakistan Languages and Humanities Review*, 8(2), 295-311.
- Ndubuisi, O. G., FNisafetyE, F. I. S. P. O. N.** (2025). Innovative Approach to Water Resource Management: A Focus on Efficiency and Conservation.
- Nistor, M. M., M  ndrescu, M., Petrea, D., Nicula, A. S., Rai, P. K., Benzaghta, M. A., Dezsi,   ., Hognogi, G., Porumb-Ghiurco, C. G.** (2019). Climate change impact on crop evapotranspiration in Turkey during the 21st Century. *Meteorological Applications*, 26(3), 442-453.
-   zdo  an, M.** (2011). Climate change impacts on snow water availability in the Euphrates-Tigris basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2789-2803.
-   zkan, N.** (2024). Potential status and sustainability of water resources in Turkey. *Cataloging-In-Publication Data*, 395.
- Payne, A. E., Demory, M. E., Leung, L. R., Ramos, A. M., Shields, C. A., Rutz, J. J., Siler, N., Villarini, G., Hall, A., Ralph, F. M.** (2020). Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(3), 143-157.
- Peachey, E. J.** (2004). The Aral Sea basin crisis and sustainable water resource management in Central Asia. *Journal of Public and International Affairs*.
- Pir, H., Ceribasi, G., Ceyhunlu, A. I.** (2024). The effect of climate change on energy generated at hydroelectric power plants: A case of Sakarya river basin in Turkey. *Renewable Energy*, 223, 120077.
- Pointet, T.** (2022). The United Nations world water development report 2022 on groundwater, a synthesis. *LHB*, 108(1), 2090867.
- Politico.** (2024). Over 1,000 pilgrims died during this year's Hajj pilgrimage in Saudi Arabia. <https://www.politico.com/news/2024/06/23/pilgrims-hajj-saudi-arabia-deaths-islam-00164579>

- Ponzio, K. J., Osborne, T. Z., Davies, G. T., LePage, B., Sundareshwar, P. V., Miller, S. J., Bochnak, A. M. K., Phelps, S. A., Guyette, M. Q., Chowanski, K. M., Kunza, L. A., Pellechia, P. J., Gleason, R. A., Sandvik, C., C.** (2019). Building resiliency to climate change through wetland management and restoration. In *Wetlands: ecosystem services, restoration and wise use* (pp. 255-309). Cham: Springer International Publishing.
- Ragab, R., Hamdy, A.** (2008). 1.1. Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions. In *Sustainable Development in Drylands—Meeting the Challenge of Global Climate Change* (Vol. 7, p. 279).
- Reuters.** (2023). Cyclone that devastated Libya is latest extreme event with some hallmarks of climate change. <https://www.reuters.com/world/africa/climate-change-made-libyas-deadly-rainfall-up-50-times-more-likely-study-2023-09-19/>
- Şahin, Ü. A., Onat, B., Ayvaz, C.** (2018). Climate change and greenhouse gases in Turkey. In *Recycling and Reuse Approaches for Better Sustainability* (pp. 201-214). Cham: Springer International Publishing.
- Secretariat, I. P. P. C.** (2024). International Plant Protection Convention procedure manual for governance.
- Selby, J.** (2003). Water, power and politics in the Middle East.
- Şen, Z.** (2021). Reservoirs for water supply under climate change impact—a review. *Water Resources Management*, 35(11), 3827-3843.
- Shevah, Y.** (2017). Challenges and solutions to water problems in the middle east. In *Chemistry and water* (pp. 207-258). Elsevier.
- Tayanç, M., İm, U., Doğruel, M., Karaca, M.** (2009). Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic change*, 94(3), 483-502.
- Tokuşlu, A.** (2022). Assessing the Impact of Climate Change on Turkish Basins. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(4), 102-112.
- Unal, Y. S., Deniz, A., Toros, H., Incecik, S.** (2012). Temporal and spatial patterns of precipitation variability for annual, wet, and dry seasons in Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(3), 392-405.
- Unfried, K., Kis-Katos, K., Poser, T.** (2022). Water scarcity and social conflict. *Journal of Environmental Economics and Management*, 113, 102633.
- Vushe, A.** (2021). Proposed research, science, technology, and innovation to address current and future challenges of climate change and water resource management in Africa. *Climate Change and Water Resources in Africa: Perspectives and Solutions Towards an Imminent Water Crisis*, 489-518.
- Wang, G., Kumar, S., Huang, Z., Liu, R.** (2024). Water resource management and policy evaluation in Middle Eastern countries: Achieving sustainable development goal 6. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100829.
- Whitman, E.** (2019). A land without water. *Nature*, 573(7772), 20-23.

- WMO.** (2023). Storm Daniel leads to extreme rain and floods in Mediterranean. <https://wmo.int/media/news/storm-daniel-leads-extreme-rain-and-floods-mediterranean-heavy-loss-of-life-libya>.
- World Bank Group.** (2016). *The World Bank Group A to Z 2016*. World Bank Publications.
- World Bank.** (2016). *High and dry: Climate change, water, and the economy*. Washington, DC: World Bank. Retrieved from <https://www.worldbank.org>
- Wu, W.-Y., Lo, M.-H., Wada, Y., Famiglietti, J. S., Reager, J. T., Yeh, P. J.-F., Ducharne, A., Yang, Z.-L.** (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature communications*, 11(1), 3710.
- Yilmaz, A. G., Imteaz, M. A.** (2014). Climate change and water resources in Turkey: a review. *International Journal of Water*, 8(3), 299-313.
- Yılmaz, G., Çolak, M. A., Özgencil, İ. K., Metin, M., Korkmaz, M., Ertuğrul, S., Soylier, M., Bucak, T., Tavşanoğlu, Ü. N., Özkan, K., Akyürek, Z., Beklioğlu, M., Jeppesen, E.** (2021). Decadal changes in size, salinity, waterbirds, and fish in lakes of the Konya Closed Basin, Turkey, associated with climate change and increasing water abstraction for agriculture. *Inland Waters*, 11(4), 538-555.
- Yılmaz, Ş.** (2023). Facing new security threats in an era of global transformations: Turkey's challenges of energy security, climate change and sustainability. In *Reflections on the Centenary of the Republic of Turkey* (pp. 308-332). Routledge.
- Yucel, I., Güventürk, A., Sen, O. L.** (2015). Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*, 35(2).
- Yüksel, I.** (2010). Energy production and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable Energy*, 35(7), 1469-1476.
- Yunana, D. A., Shittu, A. A., Ayuba, S., Bassah, E. J., Joshua, W. K.** (2017). Climate change and lake water resources in Sub-Saharan Africa: case study of lake Chad and lake Victoria. *Nigerian Journal of Technology*, 36(2), 648-654.
- Url-1** <<https://www.climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121> >, erişim tarihi 02.05.2025.
- Url-2** <<https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>>, erişim tarihi 02.05.2025.
- Url-3** <<https://sutema.org/degisen-iklimler-su>>, erişim tarihi 25.04.2025.
- Url-4** <<https://climate-changealex.netlify.app/>>, erişim tarihi 05.04.2025.
- Url-5** <https://www.iklimin.org/egitimmateryalleri/Su_GC.pdf>, erişim tarihi 05.03.2025.
- Url-6** <<https://water.fanack.com/ar/turkey/water-challenges-in-turkey/>>, erişim tarihi 20.05.2025.

- Url-7** <<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/turkiye.aspx> >, erişim tarihi 13.05.2025.
- Url-8** <<https://www.dailysabah.com/turkey/extreme-weather-worst-in-four-decades-takes-hold-in-turkey/news>>, erişim tarihi 28.05.2025.
- Url-9** <<https://www.dw.com/en/declining-hydropower-in-the-middle-east-blamed-on-climate-crisis/a-69223366>>, erişim tarihi 28.05.2025.
- Url-10** <<https://www.bbc.com/arabic/articles/cwyvr6dgo>>, erişim tarihi 02.06.2025.
- Url-11** <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/en/precipitation-i-85992>>, erişim tarihi 20.04.2025.
- Url-12** <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/en/precipitation-i-85992>>, erişim tarihi 20.04.2025.
- Url-13** <<https://www.trthaber.com/foto-galeri/nilufer-baraji-tamamen-kurudu/51860/sayfa-3.html> >, erişim tarihi 18.05.2025.
- Url-14** <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/en/precipitation-i-85992>>, erişim tarihi 20.04.2025.
- Url-15** <<https://www.flickr.com/photos/walkingsf/40369762221>>, erişim tarihi 20.04.2025.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-SOYAD : Salahaldeen FARHAT

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, El-Bayt Üniversitesi, Dünya ve Çevre Bilimleri Fakültesi, Uygulamalı Yer ve Çevre Bilimleri Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2025, Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Yüksek Lisans Programı