



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir

İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 8



SU KAYNAKLARI YÖNETİMİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ



Modüller
Elektronik versiyonu için QR kodu



Su Modülü
Elektronik versiyonu için QR kodu



WEglobal



SU KAYNAKLARI
YÖNETİMİ VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Hazırlayan:
Doç. Dr. Gökşen Çapar
2019, Ankara

SU KAYNAKLARI YÖNETİMİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	2
YÖNETİCİ ÖZETİ.....	3
1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	5
1.1. Ülke Emisyonları ve Türkiye'nin Durumu.....	6
1.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli.....	9
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİLERİ.....	11
3. ÜLKE ÖRNEKLERİ.....	13
3.1. Brezilya.....	13
3.2. Avrupa Birliği.....	17
3.3. Orta Asya.....	18
4. TÜRKİYE'DE SU DURUMU.....	22
5. TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU KAYNAKLARINA ETKİLERİ.....	25
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKÇA.....	40

KISALTMALAR

ANA	Agência Nacional de Águas <i>National Water Agency of Brazil</i> <i>Brezilya Ulusal Su Ajansı</i>
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CDM	The Clean Development Mechanism <i>Temiz Kalkınma Mekanizması</i>
COP	Conference of Parties <i>Taraflar Konferansı</i>
EMBRAPA	Brazilian Agricultural Research Corporation <i>Brezilya Tarımsal Araştırma Kurumu</i>
GCF	Green Climate Fund <i>Yeşil İklim Fonu</i>
GEF	The Global Environment Facility <i>Küresel Çevre Fonu</i>
GSMH	Gayri Safi Millî Hasıla
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change <i>Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli</i>
JRC	Joint Research Center <i>Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi</i>
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development <i>Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü</i>
REC	Regional Environmental Center <i>Bölgesel Çevre Merkezi</i>
UNEP	The United Nations Environment Programme <i>Birleşmiş Milletler Çevre Programı</i>
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change <i>Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi</i>
WEAP	Water Evaluation and Planning System <i>Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi</i>
WMO	World Meteorological Organization <i>Dünya Meteoroloji Örgütü</i>

YÖNETİCİ ÖZETİ

İklim değişikliği, günümüzün en büyük sorunlarından birisidir ve küresel olarak devam etmektedir. İnsan yaşamı, doğa, canlılar ve ekonomi üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği üzerine hazırlanan bu raporda ilk olarak iklim değişikliği ile ilgili uluslararası çalışmalara değinilmiş, Türkiye'nin uluslararası sözleşmelerdeki yeri anlatılmıştır. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından iklim senaryoları temel alınarak değerlendirilen iklim değişikliğinin etkileri genel olarak incelenmiştir.

İklim değişikliğinin dünyada ve Türkiye'de su kaynakları üzerindeki etkileri üzerine güncel bilgilerin derlendiği raporda, dünyadan Brezilya, Avrupa Birliği ve Orta Asya örnekleri verilmiştir. İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi hidrolojik döngünün değişmesi ve su kalitesinin değişmesi açılarından incelenmiştir. Dünyadaki toplam su miktarı hidrolojik döngü ile sabit kalsa da, yağışların düştüğü yer ve zamanın değişmesi, yağış şeklinin değişmesi, yüzey akış miktarlarının veya yeraltı su kaynaklarının beslenme miktarlarının değişmesi ciddi sonuçlar doğuracaktır. İklim değişikliğinin su kaynaklarının kalitesine etkisi fizyolojik, kimyasal ve biyolojik parametrelerin değişmesine bağlıdır. En yaygın görülen etkilerden birisi suyun miktarının değişmesine bağlı olarak çözünmüş madde yoğunluğunun artması ve su kaynaklarında kalitenin bozulmasıdır.

İklim değişikliğinin su kaynaklarını etkilemesi aslında su ile bağlantılı olan tarım, enerji, hayvancılık, turizm gibi sektörlerin de etkilenmesi demektir. Raporda bu etkiler gerek dünyadan örnekler üzerinden gerekse Türkiye özelinde incelenmiştir. Türkiye'de bazı havzalarda kullanılabilir su kaynaklarının azalması nedeni ile gıda ve enerji güvenliğinin tehlikeye girebileceği tespit edilmiştir. Yağış ve buharlaşma gibi parametrelerin değişmesi ile ülkemizde bitki deseninin değişmesi, kuraklık ve taşkın risklerinin artması, ani ve aşırı hava olayları sıklığının artması beklenmektedir.

Türkiye'de iklim değişikliğinden etkilenmesi beklenen ana sektörlerin içme, kullanma suyu, tarım ve sanayi olduğu görülmektedir. İklim değişikliğine uyum kapsamında; kayıp ve kaçakların azaltılması, yağmur suyu ve arıtılmış atık su gibi alternatif su kaynaklarının yaygınlaştırılması, su tasarruflu teknolojilerin uygulanması, tarım için uygun ürün deseninin seçilmesi, endüstri için sıfır deşarj yaklaşımının benimsenmesi ve temiz üretim uygulamalarına geçilmesi gibi önerilere yer verilmiştir.



1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Sanayi devrimi ile birlikte yaşanan ekonomik gelişme ve sürekli artan dünya nüfusu, doğal kaynakların kullanımını hızlandıran itici güçlerdir. Doğal kaynaklar arasında bulunan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların aşırı kullanımı nedeniyle denizlerde ve havada küresel ortalama sıcaklık artmakta ve buna bağlı olarak iklim değişikliği meydana gelmektedir.

Bilim insanları, yeryüzündeki binlerce noktada ölçülen yüzey ve atmosferik sıcaklık değerlerine ve uydu verilerine dayanarak 1880 yılından bu yana küresel ortalama sıcaklığın 0.9°C arttığını belirlemiştir (NASA, 2018). Atmosferdeki CO₂ oranı sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla %47'lik bir artış göstererek 278 ppm'den 410 ppm'e ulaşmıştır (NASA, 2019a). En yüksek CO₂ emisyonuna neden olan yakıt türleri sırasıyla kömür, petrol ve doğal gazdır. IPCC'nin güncel raporlarına göre (IPCC, 2018) küresel ısınma seviyesinin, mevcut hızda artmaya devam ettiği takdirde 2030-2052 yılları arasında küresel ortalama sıcaklık artışının 1.5°C'ye ulaşacaktır. Dünya Bankası ise CO₂ emisyonlarının şu andaki artış hızıyla devam etmesi durumunda 2060 yılında ortalama sıcaklıklardaki artışın 4°C'yi bulacağı uyarısını yapmaktadır (WWF, 2019).

İklim değişikliği, küresel ölçekten yerel ölçeğe, sıcaklık ve yağış gibi pek çok klimatolojik faktörlerde meydana gelen değişiklikleri ifade eden genel bir terimdir. Bu değişimler, küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelmektedir. Örneğin, büyük ölçekte bakıldığında, 20. yüzyılda A.B.D. (Amerika Birleşik Devletleri) daha yağışlı hale gelirken Orta Afrika'daki Sahel bölgesi daha kurak olmuştur. Kaliforniya'da ise bu değişimler Sierra kar kütlelerinde azalmaya ve

erimeye neden olmakta, bu durum da su kıtlığına yol açmaktadır (WWF, 2019).

Kara ve deniz sıcaklıkları artmakta, yağış davranışları/kalıpları değişmektedir; genel olarak yağışlı bölgeler özellikle kış aylarında daha yağışlı, kurak bölgeler ise özellikle yaz aylarında daha kurak hale gelmektedir. Deniz seviyesinde yükselme, kutuplarda ve dağlık bölgelerdeki buz kütlelerinde kayıp, sıcaklık dalgaları, sel ve kuraklık gibi ekstrem hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde artış, bitkilerin çiçeklenme dönemindeki kaymalar gibi pek çok değişikliğe neden olmaktadır.

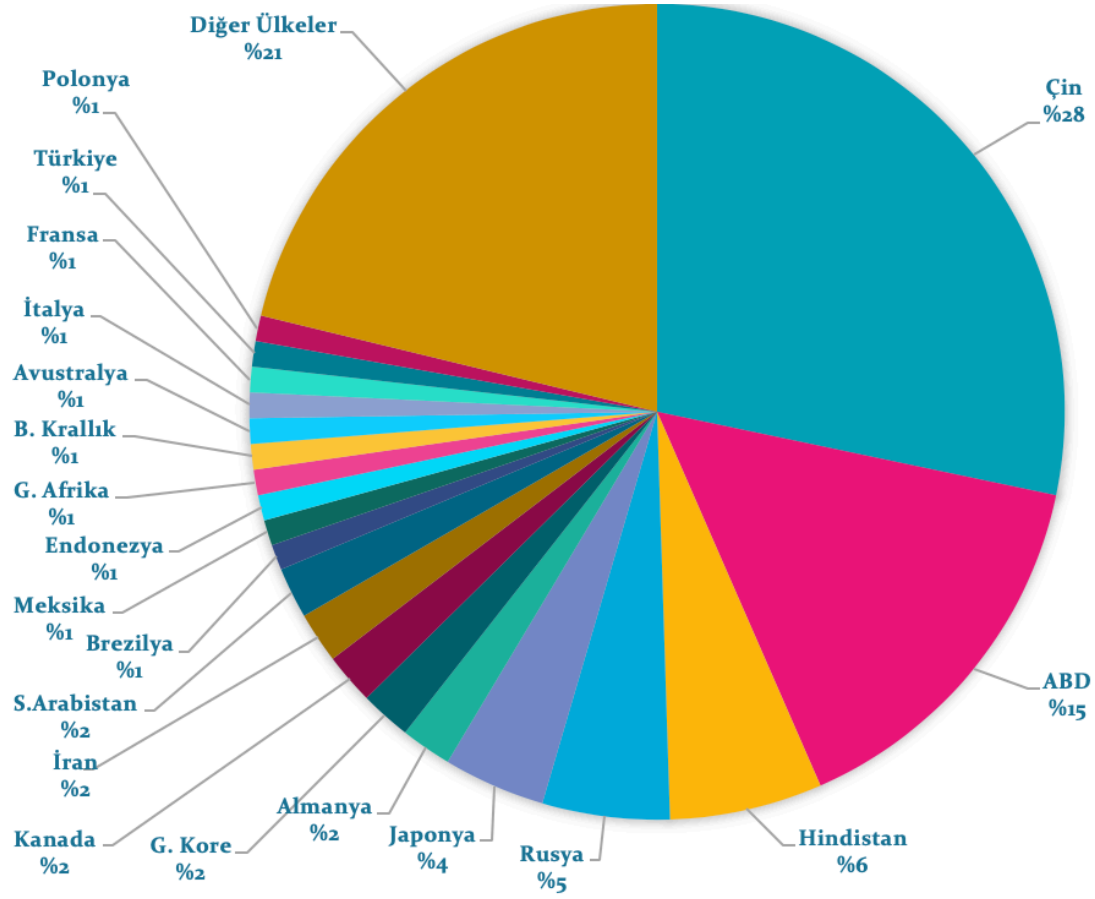
NASA'nın GRACE uydu verilerine göre Antarktika (üst bölge) ve Grönland (alt) buz tabakalarının kütlesi 2002 yılından bu yana azalmakta olup, 2009 yılından sonra kütle kaybı hızlanmıştır (NASA, 2019c). Buz kütlesi kaybının değişim oranı Antarktika'da 127 Gigaton/yıl, Grönland'da ise 286 Gigaton/yıl'dır. Deniz seviyesindeki değişim ise en son 2018 Ağustos ayında yapılan ölçüme göre 87 mm'dir (NASA, 2019d). Değişim oranı 3.2 mm/yıl'dır. Deniz seviyesi yükselmesinin iki nedeni; buz kütlelerinin ve buzulların erimesi ile denize ilave su eklenmesi ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak deniz suyunun genişlemesidir (NASA, 2019d).

1.1. Ülke Emisyonları ve Türkiye'nin Durumu

Fosil yakıt tüketimi kaynaklı toplam CO₂ emisyonunda en yüksek oranlar Çin (%28), ABD (%15), Hindistan (%6) ve Rusya (%5)'ya aittir (Şekil 1)(Union of Concerned Scientists, 2018). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonları ise, sanayileşmiş ülkelerle karşılaştırıldığında çok azdır. Türkiye'nin 2016 yılı toplam sera gazı emisyon miktarı 1990 yılına göre %135,4'lük bir artış göstermiş ve toplam 496,1 Mt CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (TUIK, 2018). 2016 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %72,8 ile enerji kaynaklı emisyonlar almış, bunu sırasıyla %12,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11,4 ile tarımsal faaliyetler ve %3,3 ile atık takip etmiştir. 1990 yılından günümüze en fazla artış enerji sektöründe meydana gelmiştir (Köse, 2018). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en fazla sera gazı emisyonu enerji sektöründen kaynaklanmaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne göre, OECD üyesi olan Türkiye kalkınmış ülke olarak sınıflandırılmıştır. 1992 yılında imzaya açılan BMİDÇS'nin orijinal metninde hem Ek 1 (tarihsel sorumluk), hem de Ek 2 (maddi sorumluluk) listesinde yer almıştır. Türkiye, Ek 1'de yer alan tek gelişmekte olan ülkedir. Bu nedenle BMİDÇS'nin Ek'lerinden çıkmak için 1995 yılında gerçekleştirilen COP1'den 2000 yılında gerçekleştirilen COP6'ya kadar geçen süre içerisinde girişimlerde bulunmuştur. 2000 yılında tutum değişikliği yapılarak Ek 2'den çıkmamız ve Ek 1'de özel şartları tanınmış ülke olarak yer almamıza ilişkin önerimiz sunulmuştur (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

EK 1'de yer alan ülkelerin sera gazı emisyonlarında mutlak azaltım hedefleri koyması, EK 2'de yer alan ülkelerin ise gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadele çabalarına maddi katkı koyması gerekmektedir. Bu yükümlülükler nedeniyle sözleşmeyi imzalamayan Türkiye, 2001'de Marakeş'te düzenlenen 7. BMİDÇS Taraflar Konferansı'nda (COP7) alınan kararlarla Ek 2'den çıkarken, Türkiye'yi EK 1'deki ülkelere farklı kılan özel koşullar sözleşmeye taraf diğer ülkeler tarafından tanınmıştır. Bunun sonucunda Türkiye'nin mutlak emisyon azaltım hedefi koyması ve diğer ülkelere maddi destek yükümlülükleri ortadan kalkmıştır. Türkiye BMİDÇS'yi 2004 yılında 189. taraf ülke olarak onaylamıştır. Türkiye Çerçeve Sözleşme'de Ek 1'de, yani gelişmiş ülke kategorisinde bulunmaktadır (İklim Haber, 2018).

Şekil 1: Ülkelerin CO₂ emisyon oranları (2015)

Türkiye, 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne 2009 yılında resmen taraf olmuştur. 2010 yılında düzenlenen COP16 (Meksika)'da ülkemizle ilgili olarak, diğer Ek 1 ülkelerinden farklı bir konumda bulunduğu ve özel koşullarının mevcut olduğu BMİDÇS'ye taraf ülkelerce tekrar tanınmış, Çerçeve Sözleşme kapsamında destek mekanizmalarına erişimi onaylanmıştır. Doha ve Lima'da düzenlenen toplantılarda ise, Türkiye'nin başta Küresel Çevre Fonu (GEF) olmak üzere UNFCCC mekanizmalarına erişimi garantilenmiştir. Ancak, Ek 1'de yer aldığı için Yeşil İklim Fonu (GCF) ve Temiz Kalkınma

Mekanizması (CDM) altındaki desteklerden yararlanamamaktadır (İklim Haber, 2018).

Türkiye, 2015 yılında kabul edilen Paris Anlaşması'nı 2016 yılında imzalamış ancak, ilgili anlaşmayı henüz mecliste onaylamamıştır. Türkiye 2020-2030 yıllarını kapsayan "Ulusal Katkı"sını Birleşmiş Milletler Sekreteryası'na sunmuş, artıştan azalış yöntemi ile (BAU-Business as Usual) sera gazı emisyonlarını yüzde 21'e kadar azaltacağını bildirmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019) . Türkiye, Paris Anlaşması kapsamında "kalkınmakta olan ülke" olarak sınıflandırılmayı talep etmektedir.



İklim değişikliği ve küresel ısınmayla etkin mücadeleye aktif olarak katılım gösteren ülkemizde, özellikle enerji sektöründe emisyon hacminin iki ile üç kat arasında artmış olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ağırlık verilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, 10 Ocak 2019 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan 27 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde enerji verimliliği, iklim değişikliği, çevre ve sürdürülebilirlik alanlarında çalışmak üzere Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı kurulmuş olması önemli bir adımdır.

1.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

İklim değişikliği ile ilgili değerlendirmeleri yapan kuruluşların başında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1988 yılında kurulan ve 195 üyesi bulunan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) gelmektedir. IPCC, tüm dünyada iklim değişikliği ile ilgili yayınlanan bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilere dayanarak iklim değişikliğinin bilimsel yönünü ortaya koyan uluslararası değerlendirmeler yapmaktadır. IPCC 5. Değerlendirme Raporunu (AR5) 2014 yılında tamamlamıştır. Dördüncü Değerlendirme Raporundan bu yana üç ayrı çalışma grubu, farklı alanları kapsayan raporlar üretmektedir. IPCC 2018 yılında 1.5 °C’lik artış ve etkileri üzerine özel bir rapor yayınlanmıştır (IPCC, 2018). IPCC tarafından 6. Değerlendirme ve Sentez Raporları ise 2022 yılında yayınlanacaktır.

IPCC’nin 1.5°C Özel Raporu’na (2018) göre, küresel ısınmanın mevcut artışla devam etmesi

durumunda, 2030-2050 yılları arasında artışın 1.5 °C’ye ulaşması yüksek güvenilirlikle beklenmektedir. Rapora göre, sanayileşme öncesi dönemden günümüze insan kaynaklı ısınma yüzyıllar boyunca kalıcı olacak ve iklim sistemi üzerinde deniz seviyesindeki artış ve beraberinde gelecek etkiler gibi uzun-dönemli değişimlere neden olacaktır. Ancak bu emisyonların tek başına 1.5 °C’lik küresel ısınmada artışa yol açması olası değildir.

İklim değişikliği ile ilgili olarak 1.5°C’lik sıcaklık artışı için beklenen riskler, günümüzde gerçekleşen ısınmaya kıyasla daha yüksektir ancak 2°C’lik ısınmaya kıyasla daha düşüktür. Bu riskler, ısınmanın büyüklüğü, ısınma hızı, coğrafi yer, kalkınma düzeyi, kırılganlık seviyesi ve uyum seçenekleri ile uygulamalarına bağlıdır.

İklim modelleri, iklim bileşenleri (atmosfer, litosfer, biyosfer, hidrosfer ve kriyosfer) arasındaki ilişkiyi ölçülebilir ve gözlenebilir yöntemlerle göstermeye çalışmaktadır. Kapsamlı ve karmaşık olan Küresel İklim Modelleri (GCMs) IPCC tarafından belirlenen senaryolar temel alınarak çalıştırılmaktadır. Küresel iklim modellerinin çıktıları bölgesel iklim modellerine girdi kabul edilerek detaylı projeksiyonlar elde edilir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018). İklim modellerine göre bölgesel iklim özelliklerinde bugünkü ısınma seviyesi ile 1.5°C arasında ve 1.5°C ile 2°C arasında güçlü farklılıklar tahmin edilmektedir. Beklenen etkiler Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre, kara ve okyanus bölgelerinde ortalama sıcaklık artışı ile insan nüfusu yoğunlaşan bölgelerde ekstrem sıcaklıklar yüksek güvenilirlikle beklenmektedir. Diğer yandan, pek çok bölgede aşırı yağış ve bazı bölgelerde kuraklık ve yetersiz yağış olayları orta güvenilirlikle beklenmektedir.

Tablo 1: İklim özelliklerinde beklenen etkiler (IPCC, 2018).

Beklenen Etki	Güvenilirlik
Pek çok kara ve okyanus bölgesinde ortalama sıcaklık artışı	Yüksek
İnsanların yoğun olarak yaşadığı bölgede aşırı sıcaklık	Yüksek
Pek çok bölgede aşırı yağış	Orta
Bazı bölgelerde kuraklık ve yetersiz yağış	Orta

1.5°C'lik artışta biyoçeşitlilik ve ekosistemler üzerinde, türlerin yok olması dahil olmak üzere beklenen etkiler 2 °C'lik artışa kıyasla daha düşüktür. Projeksiyonlar, küresel ısınmanın 1.5°C ile sınırlandırılması durumunda, karasal, tatlı su ve kıyı ekosistemleri üzerindeki etkilerin 2°C'lik artışa kıyasla daha az etkiye neden olacağı yönünde yüksek güvenilirlikle sonuç vermektedir(IPCC, 2018).

Küresel ısınmadaki artışın 2°C yerine 1.5°C ile sınırlandırılması durumunda, okyanus sıcaklığındaki artışın ve buna bağlı olarak okyanus asitlenmesindeki artışın azalacağı yüksek güvenilirlikle projekte edilmektedir. Buna bağlı olarak; denizel biyoçeşitlilik, balıkçılık, ekosistem ve bunların insana sağladığı hizmetler üzerindeki risklerin azalacağı yüksek güvenilirlikle söylenebilmektedir. Sağlık, yaşam, gıda güvenliği, su temini, insan güvenliği ve ekonomik büyüme üzerindeki iklim kaynaklı risklerin, 1.5°C'lik artış ile artacağı, 2°C'lik artış ile daha da ciddi boyutlara varacağı belirtilmektedir.

IPCC, yayınlanan tüm araştırma sonuçlarına göre iklim değişikliğinin sebep olacağı net zararın maliyetinin büyük olacağını ve zamanla artacağını belirtmektedir. Bilim insanları, insan kaynaklı faaliyetlerin sebep olduğu sera gazı emisyonları nedeniyle onlarca yıl boyunca küresel sıcaklığın artmaya devam edeceği konusunda kesin bulgulara sahiptir. IPCC'ye katılan 1300'den fazla bilim insanı gelecek

yüzyılda sıcaklığın 1.5 ile 5.6 °C artacağını öngörmektedir. IPCC'ye göre farklı bölgeler üzerindeki iklim değişikliği etkilerinin boyutu, farklı sosyal ve çevresel sistemlerin azaltım ve uyum yeteneğine göre ve zamanla değişecektir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİLERİ

İklim değişikliği ve su çok yakından ilişkilidir. Bilim insanlarına göre iklim değişikliğinin en önemli etkileri su döngüsünün bozulması ve su kalitesinin değişmesidir. Dünyadaki su kaynaklarının su döngüsü ile birlikte sabit kaldığı söylenebilir, ancak iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarının dünyada bulunduğu yer ve zaman değiştiği için birçok yerde miktar ve kalite açılarından su kaynaklarının yönetimi güçleşecektir. Günlük yaşamın ve planların hidrolojik sistemlere göre düzenlendiği dikkate alınarak, iklim değişikliğinin içme suyu kaynakları, sanitasyon, gıda ve enerji üretimi üzerindeki etkilerinin anlaşılması büyük önem taşımaktadır.

Dünyamızın sıcaklığı artmaya devam etmesi sebebiyle, su kaynakları üzerinde oldukça olumsuz etkiler beklenmektedir (Water Calculator, 2018). Gelecek birkaç on yıldan sonraki değişikliğin boyutu küresel olarak sera gazı emsiyolarının miktarına ve dünyamızın hassasiyetine bağlıdır (NASA, 2019e).

İklim değişikliğinin su kaynaklarının kalitesine etkisi fiziko-kimyasal parametreler, mikro kirleticiler ve biyolojik parametrelerle izlenebilir. Fiziko-kimyasal temel parametreler sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, çözülmüş organik madde ve besin maddeleri olarak sınıflandırılmaktadır. Mikro kirleticiler; metaller, pestisitler, farmakolojik ürünler gibi inorganik veya organik parametrelerdir. Biyolojik parametreler ise temelde patojen mikroorganizmalar, siyanobakteriler ve balıklar, yeşil algler, diyatomlar gibi su kalitesi göstergeleridir. Bu parametrelerin su kaynaklarının kalitesine etkisi su kütlesi tipine

(nehir, baraj, gölet v.b.) ve su kütlesi özelliklerine (suda kalma süreleri, büyüklük, şekil, derinlik v.b) göre değişmektedir (Delpa; Jung; Baures; Clement & Thomas, 2009).

Değişen sıcaklık, ani şiddetli hava olayları (taşkın, kuraklık, hortum vb.), güneş radyasyonun artması gibi iklim değişikliğinin unsurları su kaynakları içerisinde fiziko-kimyasal değişikliklere neden olmaktadır. Örneğin sudaki oksijen yoğunluğu her 3°C'lik sıcaklık artışında %10 azalır. İklim değişikliğinin yüzey suyu kaynaklarının kalitesine ve içme suyu arzına etkisi değerlendirilmiş ve içme suyu arzının hem taşkın hem kuraklık risklerinden dolayı sekteye uğrayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca suyun miktar olarak azalmasına bağlı olarak içerisindeki çözülmüş madde yoğunluğunun artacağı ve bu nedenle de içme su kaynağının belirlenen içme suyu kalite standartlarını sağlayamayacağı öngörülmüştür (Delpa; Jung; Baures; Clement & Thomas, 2009).

İklim değişikliğinin etkileri havza bazında ele alındığında aşağıdaki etkiler beklenmektedir (Demuth, 2017).

- **Taşkın;** ekstrem hava olayları nedeniyle kış aylarında nehir akışlarının, yüzey akışlarının ve taşkınların artması beklenmektedir.
- **Kuraklık;** Yüksek sıcaklık ve yağışın artması nedeniyle kuraklık beklenmektedir.
- **Hidroelektrik güç;** Akıştaki değişiklikler temiz güç üretimini azaltacaktır.
- **Tarım;** Sulama suyu ihtiyacı artacaktır.
- **Kar kütlesi;** %25 oranında azalma su teminini değiştirecektir.

- **Nehir akışı;** değişimler su temini, su kalitesi, balıkçılık ve rekreasyon faaliyetlerini etkileyecektir.
- **Yeraltı suyu;** hidrolojik değişimler ve artan su talebi nedeniyle düşük olan su seviyesi sonucunda derin olmayan bazı kuyular kuruyacaktır.
- **Su kullanımı;** tarımsal, kentsel ve çevresel su talebi artacaktır.
- **Su kalitesi;** deniz seviyesi yükselmesi nedeniyle tuzlu su girişi deltaları ve kıyı akiferleri etkileyecektir.
- **Deltadaki su setleri;** deniz seviyesindeki artış su setlerini tehdit edecektir.
- **Habitat;** Isınmış nehir suları somon gibi soğuk suda yaşayan balıkları strese sokacaktır.

Su, enerji, tarım ve iklim arasındaki ilişki karmaşıktır. İklim değişikliği, su, gıda ve enerji sistemlerinin güvenliğini tehdit etme potansiyeline sahiptir. Örneğin hidroelektrik santrallerle elektrik arzı iklim değişikliği ile birlikte tehlikeye girebilir. Çünkü iklim değişikliği ile yağışların azalması, bazı durumlarda aşırı yağışların görülmesi, yağışın yıl içerisindeki düşüş zamanının değişmesi hidroelektrik enerji üreten barajların yönetilmesini güçleştirir. Bir diğer örnek olarak iklim değişikliği ile birlikte gıda güvenliğinin tehlikeye girmesi verilebilir. Bu tehlike aşırı yağışların getirdiği toprak kaybı ve tuzlanma sonucu toprak veriminin kaybedilmesi ya da yağış azlığı nedeniyle sulama suyunun sağlanamaması gibi birçok parametre ile birlikte ortaya çıkabilir.

Pek çok nehir ve akifer için kalite ve miktar verisinin eksik olması, değişikliklerin değerlendirilmesinde önemli bir engeldir. Yaşadığımız değişimler çeşitli itici güçlere

bağlıdır. Bunlardan bazıları; nüfus artışı, arazi kullanımındaki değişimler, göç, kentleşme ve iklim değişikliğidir. Suyun depolanması ve geleceğin gıda üretiminde önemli payı olan yenilenebilir yeraltı suyu kaynakları hakkında da sınırlı bilgi mevcuttur. Bu nedenle yaklaşımlar küresel değil bölgesel olmalıdır ve mikro ölçekte veri toplanıp modellemeler yapılmalıdır. Uyum stratejileri yerel ölçekte geliştirilmelidir.

Yaşamın vazgeçilmez unsurlarından olan su kaynakları üzerindeki iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi ve uyum/azaltım için gereken tüm çabaların ortaya konması gezegenimizdeki yaşam için hayati önem taşımaktadır.

3. ÜLKE ÖRNEKLERİ

3.1. Brezilya

Yüzey Suları

Brezilya, büyük su mevcudiyetine sahip olmasına rağmen, suyun bölgeler arasındaki dağılımı oldukça farklıdır. Mevcut durumda, kıtlığın nedeni ekonomik gelişmeye rağmen toprak ve su kullanımının yeterince planlanmamış olmasıdır. Örneğin, Brezilya'nın Güneydoğu bölgesi fazla su varlığına sahiptir ancak kontrolsüz kentleşme nedeniyle su kıtlığı ile karşı karşıyadır. Brezilya'da su potansiyeli özellikle yaz aylarında doğrudan iklime bağlıdır. Yağışlı mevsimlerin başlama dönemindeki gecikmeler tarımı ve hidroelektrik üretimini etkileyebilmektedir. Amazon'da 2005 yılında yaşanan kuraklık ve 2009 yılında yaşanan taşkın gibi ciddi etkileri olan ekstrem olayların ekonomiye ve nüfusa büyük etkileri olmuştur. Brezilya'nın bu iklimsel anomalilere karşı kırılgan olduğu ve iklim değişikliğine bağlı olarak görülecek ekstrem hava ve yağış olaylarına karşı kırılgan olmaya devam edeceği belirtilmektedir (Marengo; Tomasella & Nobre, 2017).

Yağış rejimi ve düzenindeki değişiklikler nehir akışlarını da etkileyebilecektir. Mevcut çalışmalara göre en fazla etkilenmesi beklenen nehir São Francisco Nehri'dir. Yağıştaki azalma, deşarjı azaltacak ve ardından sulama ve hidroelektrik üretimini ciddi boyutta etkileyecektir. Uyum ve azaltma konusundaki eylemler ile su kaynaklarında izleme planları, iklim riskleri açısından aciliyet kazanmıştır. İklim değişikliği ve su kaynakları üzerindeki etkileri üzerinde kapsamlı araştırmalara büyük ihtiyaç vardır. Su kaynakları yönetiminde ve su

politikalarının uygulanmasında iklim değişikliği projeksiyonları ve belirsizlikler dikkate alınmalıdır.

Brezilya'da gerçekleştirilen çalışmaların çoğu yüzey sularına odaklanmış; hidroelektrik üretimi ve tarım ele alınmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma Kurulu tarafından yapılan çalışmada (Salati; Schindler; Victoria; Salati; Souza & Villa Nova, 2009) kullanılan senaryoya göre, Brezilya'nın tüm büyük havzalarında su fazlasının azalacağı belirtilmektedir. Çalışmada B1 ve A2 senaryoları için IPCC'nin 15 iklim modelinin ortalaması ile HadRM3P bölgesel modeli kullanılmıştır. Brezilya'nın 8 hidrografik bölgesi için Thornthwaite-Mather Su Dengesi modeli, kalibre edilmiş su dengesi ile birlikte kullanılmış, 1960-1990 döneminde üretilen su fazlası ANA isimli şebeke istasyonu tarafından ölçülen akış değerleri ile uyumlu çıkmıştır. Brezilya'nın Kuzeydoğu bölgesinde, özellikle Sao Francisco Nehir havzasında su fazlasındaki azalmanın önemli derecede olmadığı belirtilmektedir. Tocantins Nehir havzasında da azalma olacağı öngörülmüştür. Kuzeydoğu bölgesinin su kıtlığına karşı aşırı hassasiyeti dikkate alındığında, bu bölgede iklim değişikliğinin tarımsal açıdan ciddi etkileri olması beklenmektedir (Tomasella; Rodriguez; Cuartas; Ferreira, M.; Ferreira, J. & Morengo, 2009). EMBRAPA çalışması (2008) küresel ısınmanın 2020 yılında tarım alanında 7,4 milyar ABD Doları kayba yol açabileceğini ve bunun 2070 yılında 14 milyar ABD Dolarına varabileceğini belirtmektedir. Çalışmaya göre soya üretimi en fazla derecede etkilenecektir. En kötü senaryoya göre 2070 yılında kayıplar %40'a ulaşabilir, bu da 7,6 milyar ABD doları kadar kayıp demektir. Risklerin artması nedeniyle Güneydoğu Brezilya'da kahve üretiminin önemli ölçüde etkileneceği ancak ülkenin güneyinde üretimin artabileceği

öngörülmektedir. Mısır, pirinç, fasülye, pamuk ve ayçiçeği üretiminin Kuzeydoğu bölgesinde önemli derecede azalacağı, şeker kamışı üretiminin ise iki katına çıkabileceği öngörülmektedir.

Hidroelektrik üretimi ile ilgili olarak A2 ve B2 senaryolarına göre sırasıyla %1 ve %2,2 oranında düşüş öngörülmektedir (Schaeffer; Szklo; Lucena; Souza; Borba; Costa vd., 2008). En fazla etkilenecek olan Sao Francisco Nehir havzasında kayıpların %4,3 ile %7,7 arasında olabileceği belirtilmiştir.

Daha detaylı bir çalışmada Tocantins Nehir havzası ve alt havzaları için A1B senaryosu ile ETA modeli (40 km çözünürlük) ve sınır koşullarda küresel HasCM3 modeli kullanılmıştır (EMBRAPA, 2018). 2080-2090 senaryosu için akıştaki azalmanın aylık ortalama cinsinden %30 olacağı, kurak dönemde ise %60'a varabileceği hesaplanmıştır. Etkilerin Araguaia Nehir havzasında daha fazla olacağı öngörülmüştür. Bu çalışma, su yetersizliğinin yıl boyunca aynı olmayacağını ve etkilerin hidrografik havzanın özelliklerine göre değişeceğini göstermektedir.

Yeraltı Suları

Küresel ısınmaya bağlı olarak artan sıcaklığın hidrolojik döngü üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Toplam yağış miktarı ile yağışın zamansal ve mekansal dağılımı değişmektedir (kuraklık ve taşkınların sıklığı). Bu durum, akış ve infiltrasyon gibi hidrolojik süreçleri etkilemektedir. Bu değişiklikler yeraltında su birikmesini ve dolayısıyla akiferlerin beslenmesini etkilemektedir. Bir diğer deyişle, iklim değişikliği akiferlerdeki su seviyesini etkilemektedir. Bu durum, yalnızca insani tüketim için su teminini değil, aynı zamanda

büyük nehirlerin düzenleme kapasitesini de etkileyerek tüm su kullanıcı sektörler için olumsuz koşullar yaratmaktadır (ANA, 2005).

ANA raporuna (2005) göre, ülkedeki yenilenebilir yeraltı suyu rezervlerinin beslenme debisi, ulusal sınırlar içindeki nehirlerin ortalama debisinin %24'ü, kurak mevsimdeki debinin ise %49'u kadardır. Kullanılabilir rezervin, yenilenebilir kaynakların %20'si kadar olduğu dikkate alındığında, ülkede kullanılabilir toplam yeraltı suyu rezervinin 8400 m³/sn olduğu söylenebilir.

Brezilya'da bölgeler arasında dengeli dağılım gösteren ve iyi su potansiyeline sahip önemli akifer sistemleri mevcuttur. Yüzey sularında bolluk olması, yeraltı rezervlerinin sınırlı oranda erişilebilir olduğunu düşündürse de gerçekte durum farklıdır. Pek çok bölgede ve şehir merkezlerinde kullanılan suyun kaynağı yeraltı sularıdır. İnsani tüketim, sanayi ve tarım için kullanılan yeraltı suları, ülkenin pek çok yerinde ana su kaynağını oluşturmaktadır

Sonuç olarak, Brezilya'da iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde zamansal ve mekânsal boyuttaki olası etkilerinin hala tam olarak bilinmediği ve belirsizliklerin su kaynaklarının operasyonel olarak planlanması ve yönetilmesi konusunda engel oluşturduğu belirtilmektedir.

Atılacak ilk adımlardan birisi olarak, iklim değişikliği ile ilgili riskleri değerlendirmek için araştırma ve izleme programları oluşturulması önerilmektedir. Kuzeydoğu ve güneydoğu bölgeleri elektrik enerjisine bağımlılıkları nedeniyle oldukça kırılgan durumdadır. Bu bölgelerde iklim değişikliği, özellikle hava sıcaklığı artışı şeklinde, artan nüfus, kentleşme, sanayileşme ve tarım ve hayvancılıkla ilgili olarak arazi kullanımında meydana gelen

değişiklikler nedeniyle mevcut olan riskleri daha da artırabilir. Amazonlardaki olası problemler ise biyoçeşitlilik kaybı ve hidrolojik döngünün etkilenmesidir.

Bilimsel bulgular, iklim değişikliğinin Brezilya su kaynakları üzerinde ciddi riskler yaratacağını göstermektedir. Son 10 yılda yaşanan kuraklıklar, aşırı yağışlar ve 2009 yılında yaşanan taşkınlar bölgesel ve ulusal ekonomiyi etkilemiş, ciddi boyutta sosyal etkilere yol açmıştır.

İklim değişikliği riskleri altında su kaynaklarının doğru yönetilmesi için suyun mevcudiyeti ve bu mevcudiyetin farklı senaryolara göre nasıl değişeceği üzerine bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Dolayısıyla mevcut çalışmaları geliştirmek ve belirsizlikleri azaltmak önem taşımaktadır. Yüzey suları hakkında yeraltı sularına kıyasla daha fazla bilgi mevcuttur. İklim değişikliği senaryolarında büyük önem taşıyan ekosistemlerin değişime karşı ne kadar dirençli/esnek oldukları konusunda çok az kanıt mevcuttur.

Su kaynakları için bazı uyum eylemleri aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Kanalizasyon ve su temin altyapılarının iyileştirilmesi.
- 2) Kaçak ve sızıntıların azaltılması.
- 3) Su kullanımında sanayicilerin ve toplumun koruyucu önlemler alması.
- 4) Yeni yapı projelerinin onayı için suyun ziyan edilmesini önleyecek önlemler talep edilmesi.
- 5) Sulak alanlardaki doğal ekosistemlerin geri kazanılması.
- 6) Taşkın ve toprak kayması riski ile ilgili olarak risk alanlarının tanımlanmasında iyileştirme sağlanması.

- 7) Hava tahminlerinde uyarı sistemleri ve doğal afetlere karşı hazırlık.
- 8) Taşkın ve toprak kayması için uyarı sistemleri geliştirilmesi.
- 9) Binalarda taşkına karşı korumalı malzeme ve tasarımların teşvik edilmesi.



3.2. Avrupa Birliği

İklim değişikliğinin Avrupa'nın su kaynakları üzerindeki etkileri 2°C'lik artış dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Joint Research Center (JRC) tarafından geliştirilen LISFLOOD su kaynakları modeli kullanılmış, arazi kullanımı değişimi ve su tüketimi değişimleri de dikkate alınmıştır. Çalışmada iki 30-yıllık iklim penceresi ele alınmış ve 1981-2010 dönemi kontrol iklim penceresi ile kıyaslanmıştır (Bisselink; Bernhard; Gelati; Adamovic; Jacobs; Guenther; Mentaschi & De Roo, 2018).

Arazi kullanımı ve su ihtiyacı (2006 yılı) sabit kabul edilerek 1981-2100 arası iklim projeksiyonları hidrolojik bir model ile çalışılmış, 5 farklı iklim değişikliği projeksiyonunda 2°C'lik artış periyodu dikkate alınmıştır. Buna göre, Akdeniz bölgesi haricinde, Avrupa'nın pek çok yerinde yağışın artması, en yüksek artışın ise Alplerde ve Doğu Avrupa'da görülmesi beklenmektedir. Yağıştaki artışlar, çoğunlukla sıcaklık artışı ile ilgilidir; sıcaklık artışı yaz aylarında konvektif fırtınaları tetiklemektedir.

Nehir akışı ve ekstrem olaylar (taşkın ve kuraklık) için gözlenen etkiler aşağıda verilmiştir:

- Avrupa'nın pek çok yerinde yıllık ortalama (medyan) nehir deşarjı artış göstermektedir. Bunun aksine Akdeniz bölgesindeki nehirlerde dört mevsim akış azalması beklenmektedir.
- İklim değişikliğinin sonucu olarak, ekstrem pik deşarjların Akdeniz dahil Avrupa'nın hemen her yerinde artması beklenmektedir. Taşkın zararlarındaki en büyük artışın, iç ülkelerde yaz aylarında meydana geleceği öngörülmektedir. Kıyı bölgeleri ve İskandinav'da ise

taşkınlarla azalma meydana gelecektir. Özellikle büyük nehirlerin yakınlarındaki şehirlerin giderek büyümesi ve taşkın zararlarının artması nedeniyle taşkın risk yönetimi ve planlama konusuna daha fazla dikkat etmek gerekecektir.

- Özellikle Akdeniz bölgesinde (İspanya, Portekiz, Yunanistan) yaz aylarında nehirlerdeki kuraklığın daha ciddi boyutlara varması beklenmektedir. Bu durum, sanayi ve enerji üretimi için ihtiyaç duyulan soğutma suyu temininde, sulama suyu mevcudiyetinde, kritik çevresel akış şartlarında ve hidroelektrik potansiyeli üzerinde etkilere sahip olabilecektir.
- İklim değişikliği projeksiyonlarına göre en ekstrem olaylar; Avrupa'nın doğusunda (Polonya gibi) ve Baltık ülkelerinde yaz aylarında görülmesi beklenen taşkın riski ve Akdeniz bölgesindeki ekstrem kuraklıktır.

Hidrolojik döngüde beklenen değişiklikler, doğrudan su kaynakları göstergelerine yansımaktadır. Özellikle güney Avrupa ülkelerinin artan su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağı öngörülmüştür:

- İklim değişikliği projeksiyonlarına göre, bir yılda nehir akışlarının kritik asgari değer altında olacağı gün sayısı Akdeniz bölgesinde artacak ve kuzey enlemlerde azalacaktır. Özellikle İspanya ve Portekiz'de düşük akış koşulları daha fazladır.
- İklim değişikliği projeksiyonlarına göre, yeraltı su kaynakları güney Avrupa ülkelerinde azalacak, kuzey ülkelerinde ise artacaktır. Güney Avrupa ülkelerinde yeraltı suyundan yenilenebilir kapasitenin ötesinde yapılacak aşırı çekimler kritik derecede derin yeraltı suyu seviyelerine ve

artan pompalama maliyetlerine neden olabilecektir.

- 2°C ısınma senaryosuna göre, Akdeniz bölgesinin hali hazırda stresli olan alanlarında tarımsal ürün veriminin düşmesine sebep olabilen toprak nemi stres şartları artacaktır.
- Güney Avrupa, mevcut su potansiyeline kıyasla hali hazırda daha yüksek olan su tüketimi ile sıcaklık artışından ve tatlı su kaynaklarının azalmasından en çok etkilenecek bölgedir. Aynı zamanda, artan buharlaşma nedeniyle sulama suyu ihtiyacı artacaktır.
- Akdeniz ülkelerinde, özellikle İspanya'da su kaynakları durumu daha sürdürülemez hale gelecektir. Küresel ısınma koşullarında ülkeye giren su yerel ihtiyaçları karşılamak için yeterli olmayacaktır.
- Doğu Avrupa'da bazı bölgelerin yerel su ihtiyaçlarını karşıladığı su kaynakları azalacaktır.

Politika önerileri:

- Avrupa'nın özellikle Akdeniz bölgesinde azalan su mevcudiyetine uyum sağlamak için su tasarrufu zorunlu olacaktır. Bunun için, sulama verimi artırılabilir, kısıntılı sulama uygulanabilir, sanayide ve enerji üretiminde soğutma proseslerinin verimi artırılabilir, bir havzada su kaynakları yıllar arasında daha iyi yönetilebilir (yazın sulamada kullanılacak suyun kışın hidroelektrik santrallerine ait barajlarda depolanması gibi). Su ve tarım politikaları arasında daha fazla sinerjiye ihtiyaç vardır.
- Kullanıcıların su tasarrufu yapması için suyun önemi konusunda farkındalık yaratmak, makul bir su fiyatlandırması yapmak önem taşımaktadır. Su ücretsiz

veya çok ucuz olduğunda tasarruf etmek pek mümkün olmayacaktır.

- Bazı Avrupa ülkelerinde yeraltı sularından aşırı çekimi önlemek için yasal olmayan çekimlerin önlenmesi veya kontrol edilmesi gerekmektedir. Su çekimlerinin daha iyi raporlanması da önemlidir.
- Taşkın zararlarının özellikle şehirlerde artması beklendiğinden, taşkın risk yönetimi, taşkın önleme ve uyum konuları daha büyük zorluklar içerecektir.

3.3. Orta Asya

Orta Asya'daki arazi gözlemlerine göre birkaç on yıldan bu yana ısınma meydana gelmekte ve etkileri günlük yaşamda görülmektedir. Ancak iklim değişikliğinin çevre ve insan yaşamı üzerindeki etkileri konusunda hala yeterli bilgi mevcut değildir. Asya Kalkınma Bankası desteği ile hazırlanan rapora göre, yeni iklim ve hidrolojik modeller Orta Asya'da nehir suyunun kısmen yenilenemeyen kaynak olarak görülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Punkari; Droogers; Immerzeel; Korhonen; Lutz & Venäläinen, 2014). Nehirlerdeki suyun 1/3'ü dağ buzullarından gelmekte ve bu buzullar iklim değişikliği nedeniyle hızla hacim kaybetmektedir. Raporda (Punkari vd., 2014), iklim değişikliğinin ovaları daha sıcak ve kurak yapacağı belirtilmiştir. Gelecekte su kıtlığının ulusal ekonomi ve çevre için önemli bir sorun olacağı, nehir suları azalırken su talebinin artacağı ve bu durumun su yönetiminde anlaşmazlıklara ve insanlar arasında çatışmalara neden olabileceği öngörülmektedir.

Orta Asya'da sıcaklık artışı dağlık alanlardaki permafrostun çözülmesine ve buna bağlı olarak toprak kayması ve çamur seline sebep olabilecektir. Her yıl bu tür afetler yerleşim bölgelerini, tarım arazilerini ve altyapıyı

etkilemektedir. Havzalarda ana su kaynağının eriyen karlar olması nedeniyle bahar taşkınları daha sık görülebilecektir. Orta Asya'nın dağları ve doğası kendine has özelliklere sahiptir. Raporda, iklim değişikliğinin bu ekosistemleri ve biyoçeşitliliği bozacağı, nadir görülen hayvan ve bitki türlerini olumsuz etkileyeceği belirtilmektedir.

Tüm ülkeler, sera gazı emisyonlarını kontrol ederek ve bitki örtüsünü koruyarak iklim değişikliğine karşı iyileştirme sağlayabilecek stratejilere sahiptir. Özellikle Orta Asya'daki ülkelerin iklim değişikliğine uyum sağlama konusunda da stratejileri olmalıdır. Mevcut stratejilerin pek çoğu iklim değişikliğinden kaynaklanan problemi yeterince önemsememiş ve yanlış sonuçlar ortaya koymuştur. Asya Kalkınma Bankası tarafından desteklenen teknik yardım projesinde iklim değişikliğinin Aral Gölü Havzasının hidrolojisi üzerindeki etkilerini belirlemek için arazi gözlemleri ile uydu verileri birleştirilerek modeller geliştirilmiştir. Projede geçmiş zaman sıcaklık ve yağış verileri ile Aral Gölü Havzasının üç boyutlu bir harita matrisi oluşturulmuştur. Gelecek için iklim değişikliği senaryoları IPCC tarafından oluşturulmuş ve pek çok araştırma enstitüsü tarafından projeksiyonlar yapılmıştır. SPHY hidrolojik modeli, geçmişteki ve tahmin edilen iklim verilerini kullanarak yağışı, kar oluşumunu/erimesini ve buzulların kütle dengesini analiz etmiştir. Model çıktıları, tüm nehirlerden su deşarjını detaylı olarak içermiş, su miktarındaki değişimler ve gelecek eğilimleri belirlenmiştir. WEAP çerçevesi kullanılarak her nehir bölgesinde farklı amaçlar için suya duyulan ihtiyacın değişimi, bir su tahsis modeli ile analiz edilmiştir. Su talebinin artacağı, ancak nehir deşarjlarının belirgin oranda azalacağı öngörülmektedir.

Projeksiyonların, IPCC 4. Değerlendirme Raporunda verilen iklim modellerine dayandığı belirtilmektedir (Randall vd., 2007). Orta seviye emisyon senaryosunun 5 farklı modeline ait simülasyonlar kullanılmıştır. 2050 yılına kadar ortalama sıcaklığın yıl boyunca artacağı, yıllık ortalama sıcaklık artışının yaklaşık 3 °C olacağı tahmin edilmiştir. Isınmanın en fazla dağlık alanda ve kuzey enlemlerde olacağı öngörülmüştür.

Yıllık yağışta tahmin edilen değişimler 2050 yılına kadar göreceli olarak az olmakla birlikte, modelden modele farklılık göstermiştir. Bölgenin mevcut durumda kurak olan güneybatı kısımlarının özellikle yaz döneminde daha kurak olacağı tahmin edilmiştir. Diğer yandan, kuzey kesimlerde ve dağlarda yıllık toplam yağışın kış aylarında %5-%10 oranında artacağı tahmin edilmiştir.

Orta Asya'da iklim değişikliği etkilerinin Kazakistan'ın bazı kesimlerinde olumlu koşullar yaratabileceği belirtilmektedir (Lioubimtseva & Hennebry, 2012). Büyüme mevsimi daha uzun olabilecek ve su varlığı iyileşebilecektir. Ancak, mevcut durumda su kıtlığı yaşanan bölgelerde sıcaklık ve buharlaşma artışı ile yağış azalmasına bağlı olarak koşullar daha zor hale gelebilecektir. Bölgede Türkmenistan, Özbekistan ve batı Kazakistan'daki bazı yerlerin daha kurak olacağı belirtilmektedir. Örneğin, Özbekistan'ın ekonomisi Amu Derya nehrinden beslenen sulu tarıma dayanmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarında öngörülen azalmanın, ülke ekonomisi üzerinde ciddi etkilere neden olabileceği belirtilmektedir (Schlüter; Hirsch & Pahl-Wostl, 2010). Tahmin edilen risklere uyum sağlamak için Aral Gölü su sisteminde olduğu gibi Asya ülkeleri arasında koordinasyon gereklidir.

Rapora göre, Orta Asya'da dağlardaki kar kütleleri, buzullar ve küçük buz tabakaları tatlı su varlığında hayati önem taşımaktadır. Buz ve kar örtüsünde beklenen hızlı azalmaya bağlı olarak su mevcudiyetinde ve hidrojen potansiyelinde azalma ile Tien Shan ve Pamir dağlarından gelen erimiş kar sularından beslenen bölgelerdeki akışlarda mevsimsel değişimler beklenmektedir.

Yağışta beklenen değişimlere ek olarak, artan sıcaklıklar da önemli bir faktördür. Büyük ölçekli sulama sistemleri hali hazırda su kıtlığı problemi yaşarken, artan sıcaklık nedeniyle sulanan bitkilerin su ihtiyacı artacaktır. Ek olarak, yüksek sıcaklıklar doğal bitki örtüsünü de etkileyecek ve bu bölgelerde evaporasyon artacak, nehirleri besleyecek daha az su bulunacaktır.

Bölgeler için yapılan değerlendirmeye göre 2050 yılında Siri Derya ve Amu Derya Havzalarındaki su talebi artışının sırasıyla %3-%4 ve %4-%5 olması beklenmektedir. Yüksek talep ve az akış durumunun ortak etkisi, her iki nehir havzasında mevcut olan su kıtlığını iyice artıracaktır. 2050 yılında Siri Derya havzasındaki su kıtlığının toplam talebin %35'i kadar olacağı, Amu Derya havzasında ise bu oranın %50'ye çıkacağı beklenmektedir.

Orta Asya için en uygun maliyetli uyum seçenekleri; tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi, kısıntılı sulama uygulanması, tarımda suyun yeniden kullanılması ve sulanan alanın azaltılması olarak rapor edilmektedir. Genel olarak tarıma uygulanan önlemlerin, evsel su kullanımı ile ilgili olan önlemlere göre daha etkili olacağı belirtilmektedir.



4. TÜRKİYE'DE SU DURUMU

Dünya ülkelerinin su fakirlik indeksine göre sıralandığı bir çalışmada Türkiye 147 ülke arasında 78. sırada yer almıştır (Tablo 2) (Lawrance; Meigh & Sullivan, 2002). Finlandiya 1. sırada yer alırken, kaynak bakımından Türkiye ile aynı puana sahip Birleşik Krallık 11. sıradadır. Su fakirlik indeksinin belirlenmesinde beş farklı

kategoride değerlendirme yapılmıştır; kaynak, erişim, kapasite, kullanım ve çevre. Her bir kategoride ülkelerin 20 puan üzerinden aldığı puanlar, Tablo 3'de verilen göstergeler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre, Türkiye'nin en düşük puana sahip olduğu kategoriler; kaynak, kullanım ve çevredir. Kaynak değerlendirmesi ülke içindeki tatlı su akışı, diğer ülkelerden gelen akış ve nüfusa göre hesaplanmaktadır.

Tablo 2: Su fakirlik indeksine göre çeşitli ülkelerin durumu

Ülke	Kaynak	Erişim	Kapasite	Kullanım	Çevre	Su Fakirlik İndeksi
Finlandiya (1)	12.2	20.0	18.0	10.6	17.1	78.0
Birleşik Krallık (11)	7.3	20.0	17.8	10.3	16.0	71.5
Almanya (35)	6.5	20.0	18.0	6.2	13.7	64.5
Kongo Cumh. (75)	17.1	10.3	11.8	7.3	10.9	57.3
Türkiye (78)	7.8	14.8	13.1	10.7	10.1	56.5
Nijerya (129)	7.4	7.5	8.5	10.4	10.1	43.9

Türkiye'nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 44 milyar m³'ü kullanılmaktadır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2012). Kullanılabilir yüzeysel su potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m³ olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar m³tür. 14 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin

kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olarak verilmektedir (DSİ, 2016). Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen bir projede ise, Türkiye'nin su potansiyeli, birçok kaynaktan verilen 112 milyar m³'e yakın bir değer olarak, yaklaşık 108,5 milyar m³ olarak hesaplanmıştır (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

Tablo 3: Su fakirlik indeksinin hesaplanmasında kullanılan göstergeler

İndeks bileşeni	Kullanılan veri
Kaynak	Ülke içindeki tatlı su akışı, diğer ülkelerden gelen akış, nüfus
Erişim	Temiz suya erişen nüfus yüzdesi, sanitasyona erişen nüfus yüzdesi, sulamaya erişen nüfus yüzdesi (kişi başı su kaynaklarına göre ayarlanmış)
Kapasite	Kişi başı gelir (ppp), 5 yaş altı ölüm oranı, eğitime kaydolma oranları, gelir dağılımının Gini katsayıları
Kullanım	Evsel su kullanımı (lt/gün), sanayi ve tarımsal su kullanım paylaşımı (sektörlerin GSMH paylaşımına göre ayarlanmış)
Çevre	Su kalitesi, su stresi (kirlilik), çevresel mevzuat ve yönetim, enformasyonel kapasite, biyoçeşitlilik (tehlike altındaki türlere dayanan) ile ilgili indeksler

Türkiye, Falkenmark indeksine göre su zengini bir ülke değildir (Tablo 4) ve su tüketimi açısından dünya ortalamasının gerisindedir. Küresel ısınmanın etkileri açısından riskli bir

konumda olan ülkemizde kentsel, endüstriyel ve tarım başta olmak üzere her sektörde önemli düzeyde su eksikliği yaşanması beklenmektedir.

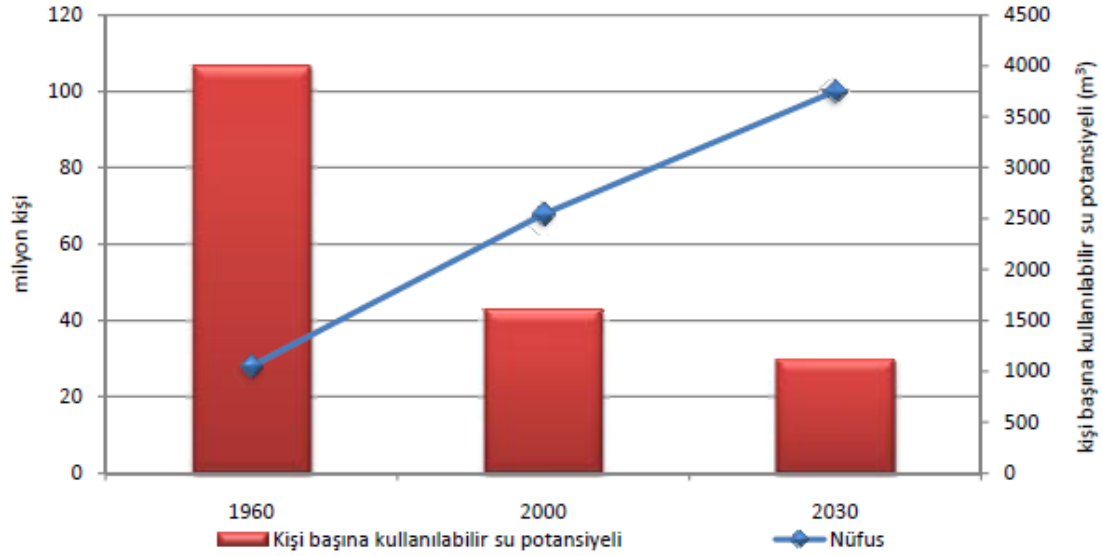
Tablo 4: Falkenmark İndeksine göre Türkiye'nin su durumu

Kategori	Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı	Türkiye
Su Fakirliği	1.000 m ³ 'ten daha az	1120 m ³ /kişi/yıl (2030)
Su Azlığı	2.000 m ³ 'ten daha az	1519 m ³ /kişi/yıl (2008)
Su Zenginliği	8.000-10.000 m ³ 'ten fazla	4000 m ³ /kişi/yıl (1960)

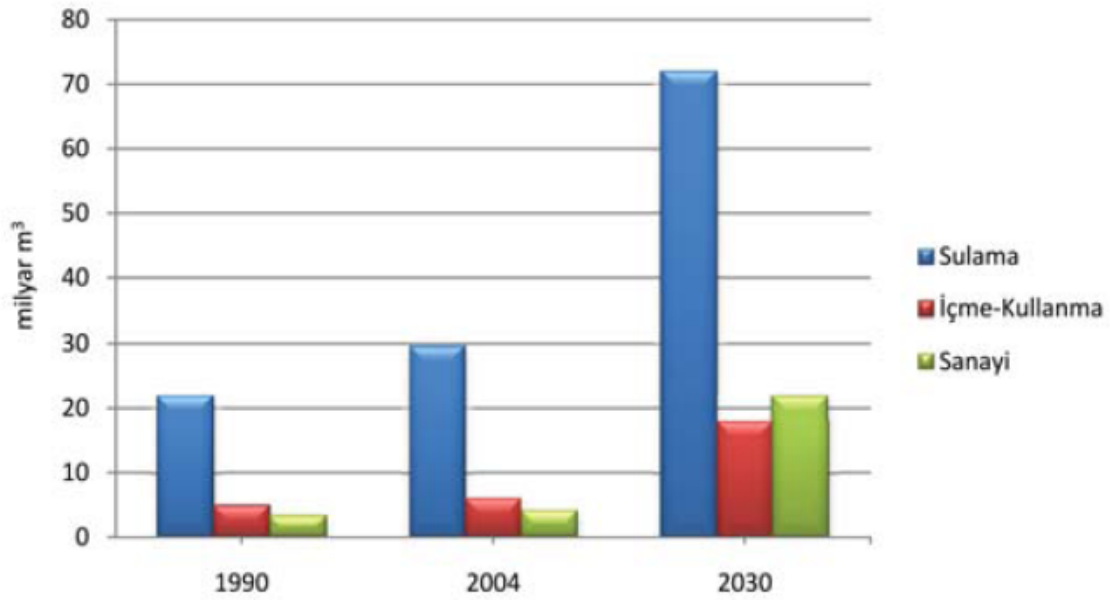
Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli 1960 yılında 4000 m³ idi. 2000 yılında 1600 m³'e düşen su potansiyelimizin, 2030 yılında nüfus artışı hesaba katılarak 1120 m³'e kadar azalacağı öngörülmektedir (Şekil 1) (mülga T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009). Bu gösterge, Türkiye'nin gelecekte su fakiri bir ülke durumuna geleceğinin habercisidir. Suyun ülkemizdeki sektörel dağılımına bakıldığında

ise, 2004 yılı verilerine göre tarımda kullanım (sulama) %74, evsel kullanım (içme-kullanma) %15, endüstriyel kullanım ise %11'dir. Bu oranların 2030 yılında sırasıyla %64, %16 ve %20 olacağı hesaplanmıştır (Şekil 2). Bu verilere göre tarım sektöründe oransal olarak azalma, endüstride ise yaklaşık iki kat artış beklenmektedir.

Şekil 2: Türkiye'nin kişi başı su potansiyeli (mülga T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009).



Şekil 3: Türkiye'de sektörel su kullanımı



Türkiye 25 hidrolojik havzaya bölünmüştür. Su kaynakları açısından dünyanın yarı-kurak bir bölgesinde bulunan Türkiye'nin yağış rejimi, mevsimlere ve bölgelere göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bazı akarsu havzalarındaki su ihtiyaçları, kaynakların potansiyelini aşmış durumdadır.

5. TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU KAYNAKLARINA ETKİLERİ

Türkiye Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir iklim bölgesinde yer almaktadır. Üç yanı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan Türkiye’de, birçok alt iklim tipi belirmiştir. İklim tiplerindeki bu çeşitlilik, Türkiye’nin yıl boyunca, kutup ve tropikal kuşaklardan kaynaklanan çeşitli basınç sistemleri ve hava tiplerinin etki alanına giren bir geçiş bölgesi üzerinde yer almasıyla bağlantılıdır. Güney ve Batı bölgelerinde Akdeniz iklimi hakimdir; yazlar sıcak ve kuru, kışlar serin ve yağışlı geçer. Karadeniz kıyısında iklim daha soğuk ve yağışlıdır. Kuzeydoğu Anadolu’da kara iklimi özellikleri görülür. Kışlar uzun ve sert, yazlar ise kısa ve serindir. Orta Anadolu platosunda ise, yazların kuru ve sıcak kışların ise soğuk geçtiği step iklimi hakimdir (Türkeş, 2008; REC Türkiye 2015).

REC Türkiye tarafından 2008 yılında hazırlanan ve 2015 yılında güncellenen A’dan Z’ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi’nde verildiği üzere; ülkemizde 1941-2003 yılları arasında yapılan gözlemlere göre, özellikle ilkbahar ve yaz mevsimi minimum (gece en düşük) hava sıcaklıkları, Türkiye’nin pek çok şehrinde ısınma eğilimi göstermiştir. Yağışlarda ise önemli azalma eğilimleri ve kuraklık olayları, kış mevsiminde daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Başucu Rehberi’nde 1971-2014 dönemi de sıcaklık ve yağış açısından değerlendirilmiştir. Ülkemizdeki çalışmalar ışığında Türkiye’de tarihsel olarak gözlenen iklimsel değişikliklerden son 42 yılda en dikkat çekici olanları aşağıda verilmiştir:

- Türkiye’nin her yerinde sıcaklıkların artmış olması (Şen, 2013).
- Yağışlarda aynı dönem için belirgin bir değişim gözlenmemiş olması.
- Son 60 yıllık süreçte dağ buzullarında 10 m’lik geri çekilme yaşanması (Sarıkaya, 2011).
- Deniz seviyelerinin yükseliş eğiliminde olması (Demir, 2008).
- Doğal afet sayılarında artış eğilimi gözlenmesi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi’nin geliştirdiği PRECIS Bölgesel İklim Modeli kullanılarak ve IPCC A2 Senaryosu (küresel ortalama sıcaklık artışı 2-5 °C) temel alınarak yürütülen modelleme çalışmalarının sonuçları Tablo 5’de verilmiştir (REC Türkiye, 2015).



Tablo 5: PRECIS Modeli sonuçlarına göre, 1961-1990 ortalamasına kıyasla 2071-2100 döneminde Türkiye’de beklenen iklimsel değişiklikler (REC Türkiye, 2015).

Sıcaklıklar	- Kıyılar dışında ortalama sıcaklık artışı 5-6 °C arasında. - Yaz aylarında batıda, kış aylarında doğuda sıcaklık artışı daha fazla.
Yağış	- Ortalama yağışlarda %40’a varan oranda azalma. - Batıda yağış azalması toplam miktar ve % olarak daha yüksek. - Yaz aylarında Orta Anadolu ve Karadeniz’de belirgin azalma. - Sonbaharda Karadeniz’de yağışlarda artış.
Kar kalınlığı	Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu dağlarında kar kalınlığında 300 mm’ye kadar varan azalma.

Gelecek senaryolarına göre bulgular aşağıda özetlenmiştir (Demir; Kılıç & Coşkun, 2008):

- Sıcaklıklar Türkiye genelinde her yerde ve her mevsim için yükseliş içinde olacak (yaz mevsimindeki artışlar görece olarak daha fazla olacak),
- Türkiye’nin Güney kesimlerinde yağış miktarları azalırken, Kuzey kesimlerinde yer yer artışlar gözlenecek,
- Deniz seviyesi yükselmesi nehir deltalarındaki kıyı şehirlerinin düşük kotlu alanlarını etkileyecek,
- Su kıtlığı ve stresi riskleri Türkiye genelinde artacak,
- Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi’nde artacak yağış miktarı heyelan risklerini arttıracak,
- Kar örtüsünün zayıflaması çığ risklerini arttıracak,
- Kuraklık ve sıcak hava dalgası riskleri artacak, şiddetleri güçlenecek.

IPCC’nin küresel ölçekteki bulgularına paralel olarak Türkiye’de de ortalama yüzey sıcaklıklarında artış eğilimleri gözlenmiştir. Bununla birlikte yağışlarda genel olarak bir artış ya da azalmadan daha çok, yağış rejimlerinde

düzensizlikler, kurak ve nemli bölgeler arasında, yağışlı ve yağışsız periyotlar arasındaki farkların arttığına dair gözlemler rapor edilmiştir (Demir, 2008).

Yağış durumu ile kuraklık arasındaki güçlü ilişkiyi savunan bir diğer çalışmada, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon¹ İndeksi (SPEI) kullanılarak 1971-2000 yılları arasında Türkiye’deki yağış (toplam, en az ve aşırı miktarlar), kurak gün uzunlukları, kurak dönemler ve kuraklık şiddetleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, iklim değişikliğine bağlı olarak yaşanan aşırı yağış ve kurak dönem sıklıkları artacaktır. Yağış durumundaki değişikliklere bağlı olarak, Türkiye’de yaşanacak kurak gün sayısı, kurak dönem sıklığı ve kuraklık şiddeti iki katına çıkabilecektir (Dabanlı, 2019).

Türkiye’de iklim değişikliğinden kaynaklanan yaz sıcaklıklarının artması, kış yağışlarının azalması, yüzey sularının kaybı, kuraklıkların sıklaşması, toprağın bozulması, kıyılarda erozyon, taşkın ve su baskınları gibi etkiler doğrudan su kaynaklarının varlığını tehdit etmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011).

¹ Evapotranspirasyon, evaporasyon ve transpirasyon kelimelerinin birleşmesinden oluşan, bitkinin su tüketimi ve buharlaşma ile birlikte toplam su kaybını ifade eden bir terimdir.

Türkiye’de nehir havzaları bazında iklim değişikliğinin yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarına etkilerini ve uyum faaliyetlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen kapsamlı bir çalışma, 2016 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen ve 2015-2100 yıllarını kapsayan “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi” projesidir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016). Bu projede projeksiyon çalışmalarının ilk aşaması olan iklim projeksiyonları kapsamında, tüm Türkiye’yi kapsayacak şekilde, IPCC’nin 5. Değerlendirme Raporu’nun tabanını oluşturan üç küresel modelin çıktıları ve RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryoları ile RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin çıktıları çalıştırılmıştır. Kullanılan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları IPCC tarafından geliştirilen ve küresel ölçekte en fazla tercih edilen senaryolardır.

Proje kapsamında model simülasyonları aracılığı ile toplam 8 parametre ve ekstrem durumları temsil eden 17 iklim indisine ait projeksiyonlar tüm havzalar ölçeğinde oluşturulmuş, incelenen parametrelerin 1971-2000 yılı simülasyonları olarak kabul edilen referans dönemine göre 2100 yılına kadar farkları 10’ar ve 30’ar yıllık dönemler için mevsimlik ve yıllık ortalamalar halinde hesaplanmıştır. Bu proje ile ilk kez Türkiye için 10 x 10 km çözünürlükte 3 küresel iklim modeli sonuçları elde edildiği belirtilmektedir. Atmosferdeki eşdeğer CO₂ konsantrasyonlarının RCP8.5 senaryosuna göre 1370 ppm, RCP4.5 senaryosuna göre ise 650 ppm dolayına ulaşacağı varsayılarak veriler hesaplamalarda kullanılmıştır.

Projede sektörel etki analizi yapılmış, bu kapsamda Türkiye’de iklim değişikliğinin içme ve kullanma suyu, tarım, sanayi, ekosistem, turizm ve enerji ana sektörleri üzerinde

etkilerinin analizi için metodoloji geliştirilmiştir. Pilot havza olarak seçilen üç havza özelinde iklim değişikliği projeksiyonları dikkate alınarak, suyun sektörlere etkisi analiz edilmiş, havzaların her sektörden etkilenme şiddeti “az etki, orta etki, yüksek etki, çok yüksek etki” kategorileri bazında tespit edilmiştir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

Projede yer alan tüm simülasyonların 2015-2100 döneminde mevsimsel ve yıllık ölçeklerde ülkemizde önemli bir ısınmayı işaret ettiği belirtilmektedir. 2015-2100 periyodunun ilk yıllarında bazı bölgelerde çok daha küçük sıcaklık değişimleri ve hatta bazı yıllarda soğumalar görülmekle birlikte ilerleyen yıllarda sera gazlarındaki artışın sıcaklıkların artışı hızlandıracağı belirtilmektedir. Kış mevsimi sıcaklıklarının 2050 yıllarından sonra 1970-2000 dönemine nazaran en az 1°C fazla seyredeceği de öngörülmüştür. Sıcaklık artışlarının yaz ve ilkbahar mevsimlerinde kış ve sonbahar mevsimlerinden daha yüksek olacağı rapor edilmiştir. 2015-2100 periyodu sürecince sıcaklık artışlarının, Türkiye’nin güneyinden kuzeyine gidildikçe azalmakta olduğu dikkati çekmiştir. En yüksek sıcaklık artışlarının Türkiye’nin Güney Doğusunda ve Akdeniz boyunca meydana geldiği görülmüştür. Sıcaklık artışlarının 2100’lere doğru, özellikle Türkiye’nin doğu ve güneydoğusunda 4-6°C’ye ulaşacağı beklenmektedir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

İklimSu projesinde elde edilen model simülasyonları Türkiye’nin kuzeyinde yer alan havzalarda iklim rejiminin referans döneme göre daha yağışlı olacağını öngörmüştür. Örneğin RCP8.5 senaryosu 2050’li yıllardan itibaren havzalardaki kuraklığın kuzeyden güneye doğru gidildikçe şiddetleneceğini ve havza bazındaki on yıllık ortalama yıllık yağış

toplamlarının 150 mm'lere düşeceğini ortaya koymuştur. Türkiye genelinde 2015-2100 yılları arasında tahmin edilen en düşük yağış değerleri Konya Kapalı Havzası'nda olmuştur. Havzalar bazında yağış değişimleri yıllık toplam yağışın yüzdesi olarak incelendiğinde en fazla değişimlerin azalma yönünde Doğu Akdeniz, Batı Akdeniz ve Ceyhan havzalarında olduğu görülmüştür. RCP4.5 senaryosunda bu havzalardaki yıllık yağış toplamlarındaki azalmalar yüzyılın son on yılında %12-%15 iken, RCP8.5 senaryosunda %20-%25'lere ulaşmıştır. Fırat Dicle Havzası'nda ise her iki senaryodaki yıllık toplam yağışların %3 ila %8 arasında azalacağını beklediği belirtilmiştir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının her üç model üzerindeki etkisi Türkiye'nin batısında yer alan Meriç-Ergene, Marmara Kuzey Ege, Susurluk, Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Havzaları'nda farklılık göstermektedir. RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES ve CNRM-CM5.1 model simülasyonları Marmara, Kuzey Ege, Meriç-Ergene, Küçük Menderes Havzaları iklim rejiminin referans döneminden daha yağışlı olacağını; MPI-ESM-MR ise Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz, Marmara, Yeşilirmak Havzaları'nın daha yağışlı olacağını öngörmüştür (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

Ekstrem hava olayları ile ilgili olarak sıcaklık aşırımları için en önemli göstergelerden biri olan sıcak hava dalgasına (WSDI) ait indis kullanılmıştır. WSDI, her takvim gününün maksimum sıcaklığının referans döneminin %90'ından daha fazla olduğu günleri göstermektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna ait 2015-2040 dönemi indis sonuçları Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında referans dönemi ile büyük ölçüde örtüşmekte olduğu ve

tüm yer sistem modellerinin birbirine benzer olarak sıcak hava dalgalarının Türkiye'nin güney enlemlerinden kuzeye doğru her 30 yıllık periyotta artacağına işaret ettiği belirtilmektedir. Özellikle 2041 yılından sonra RCP4.5 senaryosuna dayalı en yüksek sıcak hava dalgası indis değerleri Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde öngörülmüştür. Son projeksiyon döneminde ise ülkenin tamamen güney bölgelerinde 80-120 gün arasında değişen bu indis değerlerinin hakim olacağı anlaşılmıştır. RCP8.5 senaryosunda ise daha büyük artışlar öngörülmüştür. Maksimum ve minimum sıcaklıkların yüzyılın sonuna doğru artması beklenirken özellikle Akdeniz Bölgesinde, Güney ve Doğu Anadolu Bölgelerinde bu artışların daha yüksek olacağı tespit edilmiştir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

Gündüz sıcaklıklarının yüksek seyretmesi sonucunda sıcak hava dalgası sıklıklarında ve şiddetinde bu bölgelerde artışlar yaratacağı ifade edilmiştir. Buna ek olarak gece sıcaklıklarının da yüksek olması insan ve hayvanların gece rahatlamasını sınırlayacağı için sıcak hava dalgasının yaratacağı zararların artmasına neden olacaktır. Ayrıca gündüze ilave olarak gece de ortam soğutması için kullanılacak enerji talebini de arttıracaktır. Beklenen yağış eksiklikleri ile beraber buharlaşma hızının artması su kaynaklarında ve tarım sektöründe stresi yükseltecektir. Akdeniz kıyı şeridinde ise turizm sektöründe yeni bir yapılanma içine girilmesi gerekliliği rapor edilmiştir (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).

Hidrolojik projeksiyonların da yer aldığı projede, Türkiye'de ilk kez tüm havzaların su potansiyellerinin ortak hidrolojik model ile hesaplandığı belirtilmektedir. Böylece, yağış

değerleri akış değerlerine çevrilmiş, tüm havzalarda yüzey ve yer altı su kaynaklarının mevcut durumu ve projekte edilen dönemler için tahmin edilen durumu dikkate alınarak su potansiyeli modelleme/hesaplama çalışması gerçekleştirilmiştir. Hidrojeolojik projeksiyonlar kapsamında hidrojeolojik rezervde öngörülen değişim havzalar özelinde değerlendirilmiş, Meriç-Ergene ve Fırat-Dicle havzaları Türkiye genelinde en az etkilenen havzalar arasında yer almıştır. Diğer taraftan iklim modellerinin-senaryolarının Türkiye genelinde dikkat çekici şekilde maksimum etkisi Asi Havzası üzerinde görülmüştür. Bu bağlamda en çok etkilenen diğer havzalar da özellikle Türkiye'nin batı ve orta bölümlerindeki Burdur, Kuzey Ege, Batı Akdeniz ve Akarçay havzaları olarak çoktan aza doğru sıralanmıştır.

Hidrolojik projeksiyonlar da Türkiye'de toplam akışın referans döneme göre azalacağını öngörmüştür. HadGEM2-ES iklim modeli çıktılarına dayalı hidrolojik modelleme ile 2015-2100 dönemindeki 3 alt dönem için medyan brüt su potansiyellerinin, referans dönemi medyan değerine göre %40-45 azalacağı, MPI-MSM-MR iklim modeli çıktılarıyla gerçekleştirilen hidrolojik model projeksiyonlarına göre ise azalma oranının %15-20 aralığında kalacağı tahmin edilmiştir. Bütün dönemlerde en kayda değer su açığının gözleendiği havzalar Fırat Dicle, Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzası olmuştur (Şekil 3-5). Konya Kapalı Havzası'nda RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES modeli 2015-2100 dönemi için yağışta 10 ile 30 mm arasında değişen düşüşler öngörmüştür.

HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosuna göre, tüm dönemlerde su fazlası olan havzalar Doğu Karadeniz ve Çoruh Havzaları olarak rapor edilmiştir. Benzer şekilde tüm projeksiyon

dönemlerinde Marmara, Susurluk, Kuzey Ege, Batı Karadeniz, Yeşilırmak, Antalya, Aras ve Van Gölü Havzalarında da öngörülen net su miktarının tahmini su kullanımları için yeterli olduğu gözlenmiştir. Fırat-Dicle havzasının projeksiyon dönemi başlangıcından itibaren, Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzalarında ise, özellikle 2041-2100 döneminde hissedilir derecede su açığı yaşanmasının muhtemel olduğu belirtilmiştir. Diğer havzalarda ise tüm dönemlerde düşük mertebede su açıkları gözlenebileceği rapor edilmiştir. Ülke genelinde su mevcudiyeti açısından en kritik 30 yıllık projeksiyon döneminin, 2041-2070 arası olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4: Havzaların su açığı/fazlası projeksiyonları (2015-2040) (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016)



Fırat Nehri Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır.
Dicle Nehri Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır (DSİ verisi).

Şekil 5: Havzaların su açığı/fazlası projeksiyonları (2041-2070) (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016)



Fırat Nehri Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır.
Dicle Nehri Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır (DSİ verisi).

Şekil 6: Havzaların su açığı/fazlası projeksiyonları (2071-2100) (mülga T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016)

Fırat Nehri Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır.
Dicle Nehri Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır (DSİ verisi).

Projede kar projeksiyonları genel olarak değerlendirilmiştir. Türkiye genelinde kar yağış miktarlarının her iki senaryoda da 2015-2100 yılları arasında giderek azalacağı öngörülmüştür. Sıcaklıkların artması sonucu yağışların tipinin kar şeklinde olması hidrolojik açıdan önem arz etmektedir çünkü biriken kar bir su rezervuarı işlevi görmektedir ve özellikle bahar ve yaz aylarının başlarında eriyerek nehir sistemlerine su girişi sağlamaktadır. Dolayısıyla yüksek alanlardaki kar örtüsü bölgesel hidrolojik döngüde önemli bir role sahiptir. İklimSu Proje sonuçlarına göre, özellikle Doğu Anadolu bölgesinde ve Doğu Toroslar'da kar örtüsündeki azalmanın Fırat Dicle Havzası'nın hidrolojik döngüsünü değiştireceği beklenmelidir. Her üç model çıktılarına göre, Fırat-Dicle havzasında 2015 -2100 döneminde 2-12 milyar m³/yıl'a ulaşan mertebelerde su açığı beklenmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin daha önce havzadan mansap ülkelere bırakmayı taahhüt ettiği su miktarları ile ilgili yeni bir değerlendirme yapması gerektiği de raporda ayrıca belirtilmiştir.

Bozkurt ve Şen tarafından (2013) Fırat-Dicle Havzası ile ilgili daha önce yapılan bir çalışmada, havzada meydana gelecek iklim

değişikliklerini tespit etmek amacıyla, iki Otuz yıllık periyod için GCM iklim simülasyonları yapılmıştır (2041-2070; 2071-2099). Çıktılar IPCC'nin sonuçlarını destekler şekilde kış ayları sıcaklıklarının artacak olması nedeniyle karla kaplı alanların azalacağını ve erken eriyen karın yüzey akışına katılıp toprağı besleyemeden gideceğini göstermektedir. Bu yüzyılın sonuna doğru havzada özellikle dağlık alanlarda kış yağışlarının %20 ile %30 arasında azalacağı belirtilmektedir. Bütün simülasyonlara göre havzanın kuzey ve dağlık kesimlerinde yağış azalışı beklenirken, havzanın güney kısımlarında yağış artışı beklenmektedir. Terleme yoluyla buharlaşma (evapotranspirasyon) yağışların azalışına bağlı olarak azalacaktır. Referans dönemi 1961-1990 yılları olarak alınan çalışmaya göre yüzey sıcaklıklarının tüm havza boyunca 1.5 °C - 5 °C artması beklenmektedir. Sıcak hava dalgaları nedeniyle zaten hassas olan havzanın, yaz aylarında aşırı sıcakların etkisi altına girmesi beklenmektedir. Doğu Anadolu dağlarında yıllık toplam yüzey akışın %25 - %55 oranında azalması, sıcaklık artışları nedeniyle yüzey akışı zamanlamasının ise 18-39 gün erken olması beklenmektedir.

Çalışmada (Bozkurt & Şen, 2013) 2007-2008 kış aylarındaki kuraklık nedeniyle Fırat-Dicle havzasındaki tarımsal üretimin 2008 yılında ciddi şekilde etkilendiği belirtilmiştir. Gelecekte bu kuraklık dönemlerinin artması ve Fırat-Dicle havzasında arazi kaybı, çölleşme gibi iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin görülmesi beklenmektedir. Jeolojik değişiklikler nedeniyle kaya eğim dengesinin değişeceği ve kar örtüsünün azalmasının devam edeceği, buna bağlı olarak heyelan riskinin artacağı rapor edilmiştir. Taşınan materyallerden dolayı su kalitesinin olumsuz etkileneceği, nihayetinde iklim değişikliğinin etkisiyle erişilebilir su miktarının azalacağı ve su kaynaklarının üzerindeki baskının artacağı belirtilmiştir. Yüzey akışı zamanının değişmesi nedeniyle su kaynaklarını korumak için daha fazla baraj inşası gerekebilecektir.

Ertürk ve diğerleri (2014) ise Köyceğiz-Dalyan havzasında yeraltı su kaynakları üzerinde iklim değişikliğinin etkilerini incelemiş, yeraltı su kaynakları kalitesinin düşmekte olduğunu ve bununla birlikte yeraltı su kaynaklarına bağlı ekosistemin tehlikede olduğunu belirtmiştir. Kalitenin düşmesi azalan yağış miktarı yüzünden yeraltı sularının geri beslenmesinin azalmasına bağlanmıştır. Ekosistemdeki bozulma toprak ve suyun değişkenindeki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Bu duruma artan yaz sıcaklıkları ve bitkisel terleme eklendiğinde bölgedeki bitki varlığının ve buna bağlı olan vahşi yaşamın tehlikeye gireceği rapor edilmiştir. Ayrıca sulama suyundaki azalmanın tarım sektörünü kötü yönde etkileyeceği ve su kaynakları üzerindeki stresi artıracığı belirtilmiştir (Ertürk; Ekdal; Gürel; Karakaya;Guzel & Gönenç, 2014).

İklim değişikliğinin ülkemizde göllere olan etkisine bakıldığında göllerin miktar ve kalite

yönünden olumsuz etkilendiğini görülebilir (Yüksel; Sandalcı; Çeribaşı & Yüksek, 2011). Örneğin Tuz gölünün yüzölçümü 1987 yılında 92562 hektar iken 2005 yılında 32552 hektara düşerek yaklaşık %35 azalmıştır. Tatlı su gölü olan Beyşehir Gölü'nde ise kuraklık ve tarımsal sulamanın etkisiyle su potansiyeli yaklaşık %23 düşmüştür. Aynı şekilde Eğirdir, Manyas, Ladik, Van, Sapanca göllerinin de su miktarı ve yüzölçümleri ciddi şekilde düşmüştür.

İklim değişikliğinin yerel düzeyde etkilerinin değerlendirdiği bir projenin bulguları su kaynaklarının olumsuz olarak etkilendiğini göstermektedir (TEMA-WWF Türkiye, 2015). Akdeniz bölgesinde hava sıcaklıkları mevsim normallerinin üzerinde seyrettiği için su kaynaklarında azalma ve kuraklık görülmektedir. Deniz ekosisteminde kaymalar gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak turizm sektörünün bu durumdan kötü etkilenebileceği söylenebilir. Ayrıca tarımsal ürün çeşidi ve miktarı azalarak tarım sektörü, ormanların tahrip olması ve biyolojik çeşitliliğin azalması ile bunlara bağlı olan kerestecilik, avcılık, doğal yaşam turizmi gibi ekonomik sektörler zarar görebilecektir.

İç Anadolu bölgesinde Konya örneği incelendiğinde, mevsimlerin değişmesi ve su kaynaklarının azalması ile tarımsal verimin düştüğü ve gıda fiyatlarının arttığı görülmüştür. Tarım sektörünün zarar görmesi iç göçü tetiklemiştir. Ayrıca iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada kritik öneme sahip olan sulak alanlar azalmış ve kuraklık, erozyon gibi afetler artmıştır. Güney Doğu Anadolu bölgesinde Diyarbakır örneği incelenmiş, burada da su kaynaklarında azalma, kış kuraklığı gözlenmiş, buna bağlı olarak derin kuyulardan su çekme ihtiyacı enerji talebini artırmıştır. Doğu Anadolu bölgesinde iklim değişikliğine

bağlı olarak kış turizmi, tarım, bitki deseni ve mera hayvancılığı olumsuz etkilenmiştir. Karadeniz bölgesinde aşırı hava olaylarının sayısı ve şiddetindeki artış bölge nüfusunun azalmasına, çay ve fındık üretiminde verimin düşmesine, toprak kayması gibi afetlerin sıklığının artmasına neden olmuştur. Ayrıca deniz sıcaklığının artması ile istilacı türlerin Karadeniz'e geldiği ve balıkçılık sektörünün olumsuz etkilendiği yörede yaşayanlar tarafından ifade edilmiştir. Ege bölgesi ve Marmara bölgesinde su kaynakları üzerindeki stresin artmasına bağlı olarak şehirlere su arzının sağlanması zorlaşmış, tarım, hayvancılık, balıkçılık gibi sektörler olumsuz etkilenmiştir. Etki değerlendirmesi anketlerine göre; katılımcıların %70'i enerji, %74'ü tarım, %60'ı da turizm sektörlerinde iklim değişikliğinin etkilerini bölgelerinde gözlemlendiğini belirtmiştir (TEMA-WWF Türkiye, 2015).

Ülkemizde önemli bir sektör olan turizmin de iklim değişikliğinden olumsuz etkilenmemesi için önlemler alınmalıdır. Örneğin, Bodrum yarımadasında halihazırda yaşanan su problemlerinin iklim değişikliği ile daha da şiddetleneyeceği söylenebilir. Yarımada ile ilgili yapılan bir çalışmaya göre (Koç, Bakış & Bayazıt, 2017); konut, tarım ve endüstriyel su kullanım sektörleri arasındaki rekabet yaz aylarında turizm sektörünün etkisi ile daha da artmaktadır. Yaz nüfusunun günlük en fazla su talebi kış nüfusunun günlük su talebinden yaklaşık 2 kat fazladır. 2000 ile 2060 yılları arasında günlük su ihtiyacı 6 kat artacaktır. DSİ tarafından 2011 yılında başlatılan Acil İçme Suyu Projesi ile yarımada 2040 yılına kadar içme suyu sağlanması hedeflenmektedir.

Tarımsal üretimde yağışın büyük etkisinin olduğu Batı Akdeniz Havzası'nda yürütülen bir çalışmaya göre (Erçin; Pilevneli & Çapar, 2019) kuraklığın verim üzerinde ciddi etkileri olacaktır. Korkuteli, Milas, Acıpayam, Elmalı ve Fethiye, tarımın su ayak izinin en yüksek olduğu ilçelerdir; dolayısıyla kuraklık riskine karşı en kırılgan bölgeleri temsil etmektedir. Bölgede kuraklığın şiddeti mevcut durumda "düşükten ortaya" derecesindedir. İklim değişikliği, tarım sektörünün kuraklık karşısındaki kırılganlığını %40 oranında artıracaktır. Kuraklık riski 2030-2040 yıl aralığı için en fazla oranda artacaktır. Kullanılan iki iklim senaryosu (RCP 2.6 ve RCP 6.0) 2050 yılına kadar kuraklık şiddeti açısından bölgede benzer eğilimler göstermiştir. Kurak dönemlerde yüzey suyu akışı daha az olacak, su kaynaklarında kirlilik artacaktır.

Trakya bölgesinde yürütülen bir çalışmada (Konukcu; Albut & Altürk, t.y.) ise, 1971 yılından günümüze kadar taşkınlara neden olan yağışlar ve sıklığı belirlenmiş, hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal kuraklık indisleri hesaplanmıştır. Tarımsal yapı, üretim potansiyeli ve problemleri ortaya konmuştur. MapShed Modeli Naipköy Barajı için 1987 ve 1997 yılları arasında, Kırklareli Barajı için ise 1970 ve 1985 yılları arasında çalıştırılmıştır. Kırklareli ve Naipköy Barajlarında toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarının nasıl değişeceği her bir model ile ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki su kütlelerinde de trofik seviyenin hipertrofik² düzeye kadar çıkacağını göstermiştir. Besin maddelerinin su kütlelerine ulaşmasının engellenmesi ve iyileştirmeye yönelik yöntemlerin uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

² Trofik seviye; Bir su kütlelerinin besin maddesi konsantrasyonu, klorofil-a, fitoplankton biyokütlesi ve ışık geçirgenliği göz önünde bulundurularak belirlenen su kalitesi durumunu ifade etmektedir. Trofik sınıflandırma sistemi için OECD sınır değerine göre, toplam

azot 750-1200 ug/L, fosfor 900 ug/L'den az, klorofil-a 100-150 µg/L aralığında ve secchi derinliği 0,4-0,5 m olan göller hipertrofik olarak adlandırılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynakları üzerindeki baskıların nasıl azaltılacağı, mevcut büyüme hızı, değişen su tüketim alışkanlıkları ve artan su talebi karşısında su kaynaklarının yıllar sonrasına tahrip edilmeden nasıl aktarılacağı ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerine nasıl uyum sağlanacağı yüzyılımızın en önemli insanlık sorunları arasındadır.

Ülkemiz açısından önemli olan ana sektörler; içme ve kullanma suyu, tarım ve sanayidir. Bu sektörlerin iklim değişikliğine karşı alabilecekleri başlıca önlemler kapsamında gerçekleştirilmesi muhtemel uyum faaliyetleri; içme ve kullanma suyu için kayıp/kaçak oranlarının azaltılması, yağmur suyu hasadı, duş ve sifonlarda tasarruflu ekipmanların kullanılması ve evsel atıksuların yeniden kullanılması sayılabilir.

Tarım sektöründe; iklim değişikliğine uygun ürün deseni seçilmesi, vahşi sulamadan tamamen vazgeçilmesi ve damla sulama gibi verimli sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, uygun durumlarda kısıntılı sulama uygulanması, organik tarım ve iyi tarım uygulaması olarak sıralanabilir. Tarımda sulama verimliliği ve çiftçinin bilinçlendirilmesi de önem taşımaktadır.

Endüstriyel tesislerde temiz üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması, tesis içi kontrollerin artırılması, sıfır deşarj yaklaşımının yerleştirilmesi ve atıksuların geri kazanılarak proses suyu ve benzeri amaçlarla yeniden kullanılması gerekmektedir.

Ülkemiz havza temelli bütünleşik su yönetimine geçmiştir, bu iklim değişikliğine uyum kapsamında önemli bir adımdır. 25 havzada yönetim planlarının hazırlanması iklim değişikliğini göz önünde bulundurarak tamamlanmalı, izleme ve geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Havzalarda yapılacak örgütlenmelerin yanı sıra, il ve bölge bazında da yönetim planları uygulanmalıdır. Bütün sektör öncüleri ve paydaşların bir araya gelerek su yönetiminin karar süreçlerinde yer almaları faydalı olacaktır.

2015-2100 periyodunda gerek sıcaklık artışları Türkiye'nin diğer bölgelerine nazaran daha fazla olduğu için gerek sıcak hava dalgalarının olası etkilerinin fazlalığı nedeniyle Güneydoğu Anadolu'da kuraklık ile mücadele çalışmaları geliştirilmelidir. Ağaçlandırma çalışmalarına hız vererek, su kullanımında tasarrufa giderek bu duruma karşı konmalı, halk beklenen etkiler konusunda bilinçlendirilmelidir. Olası mağduriyetleri engellemek için bu durumun tarım ürünleri, hayvancılık ve halk sağlığı alanlarındaki etkileri bilimsel olarak incelenmeli ve bu doğrultuda önlemler alınmalıdır.



Fırat Dicle havzasının Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölümleri beklenen 4-6 C° sıcaklık artışının tehdidi altındadır. Ortalama yıllık yağış miktarları aynı zamanda bu bölgelerde azalacaktır, ama asıl önemli sorun bilindiği gibi yağışların kar şeklinde daha az düşüyor oluşudur. Kullanılabilir su kaynaklarının miktarı bu doğrultuda yağışın olmadığı dönemlerde aşırı azalacaktır. Fırat ve Dicle nehirleri sınır aşan su özelliği gösterdiğinden, kıyıdaş ülkelerle olası sorunları önlemek için bilgi paylaşımı yapılmalı, bu durumun yaratabileceği sorunlara karşı iş birliği yapılmalıdır. Ayrıca Güney Doğu ve Doğu Anadolu bölgesinde halk değişen yağış zamanı, yağış şekli, nehir akış zamanı hakkında bilgilendirilmelidir. Bitki deseninin değişmesi beklendiği için katma değeri yüksek yeni tarım ürünleri araştırılmalı, mera hayvancılığının göreceği olası zarar karşısında önlemler alınmalıdır.

Türkiye’de hidrolojik rezervin en çok değişeceği havza Asi havzasıdır. Tarihsel olarak Asi havzasında yukarı kıyıdaş Suriye tarafından su miktarının çok veya az gönderilmesinin olumsuz etkileri ülkemizde gözlenmiştir. Bu etkilerin daha da kötüleşmesi iklim değişikliği ile birlikte kaçınılmazdır. Bu yüzden yukarı kıyıdaş ülke Suriye ile iş birliğine gidilmeli, Hatay’da bu konuyla ilgili eylem planı hazırlanmalıdır. Su kaynağının miktar olarak azalması kirliliğin artmasına ve bölgede tarım ürünlerinde verimin düşmesine sebep olabilecektir. Suyun yayabileceği hastalıklar ile ilgili araştırma yapılmalı ve önlem alınmalıdır.

Doğu Karadeniz ve Batı Karadeniz bölgeleri ile Çoruh havzası Türkiye’de yağışın çok düştüğü ve iklim değişikliği ile birlikte daha fazla yağışın beklendiği bölgelerdir. Bu alanlarda sel ve heyelan gibi felaketlerin daha sık yaşanması ve toprağın aşırı yıkanmasından dolayı verimini

kaybetmesi beklenmektedir. Önlem olarak taşkın ve heyelan riski bulunan alanlarda yerleşim yerlerinin bulunmaması ve su yollarının üzerindeki diğer engellerin kaldırılması sayılabilir. Toprağın yıkanma ile verimini kaybetmemesi için bitki örtüsünün korunması büyük önem taşıdığı için, ağaç kesim faaliyetleri kontrollü olmalıdır. Halk beklenen değişiklikler konusunda bilinçlendirilmeli, sel ve heyelana dayanıklı evler yapılmalıdır. Dik yamaçların önüne barikat yapımı arttırılmalı, olası can kayıplarına karşı yollarda uyarı sistemleri kurulmalıdır.

Ülkemizde birçok konuda hazırlanan eylem planları kullanılan politika ve amaçlara ışık tutmaktadır. Örneğin İstanbul için hazırlanan iklim değişikliği eylem planı kapsamında iklim değişikliğine karşı uyum çalışmaları belirlenmiştir. Sıcak hava dalgalarında esnek çalışma saatlerine geçilmesi, yüksek enerji tasarruflu yeni belediye binalarının kullanılması, yaz aylarında büyük şemsiyelerin kullanılması, binaların yüksek standartta izole edilmesi, çevre dostu altyapı yatırımları gibi stratejik, geçici, teknik, ekolojik, yönetsel vb. gibi uyum politikaları benimsenmiştir. Bu çalışmada artan nüfus ve iklim değişikliğinin etkisi ile (yağıştaki olası azalma, buharlaşma-terlemedeki olası artış) İstanbul’da su kaynakları üzerindeki baskının artacağı, bu yüzden Melen projesinde olduğu gibi uzaktan su transferine, özellikle yağışın bol olduğu Batı Karadeniz bölgesinden devam edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca İstanbul’un kendi su kaynaklarını korumak için su tüketimini azaltması, atık su arıtımı ve geri kullanımının yaygınlaştırılması önerilmiştir. İstanbul’da yağış azalışını durdurmak için, orman alanlarının arttırılması gerektiği belirtilmiştir (İklim Senaryoları Raporu, 2019).

Türkiye’de gelecek yıllarda yaşanması beklenen su sıkıntısı karşısında, tüm sektörlerdeki su talebinin karşılanabilmesi için ciddi önlemler alınması ve akılcı planlar yapılması gerekmektedir. Ülkemizde iklim değişikliği ile uyumlu su yönetiminin geliştirilmesi konusunda yapılması gereken başlıca çalışmalar arasında; toprak ve su kaynakları ile ilgili kamu yönetiminin güçlendirilmesi, evsel, endüstriyel ve tarımsal su kullanımında verimli tekniklerin yaygınlaştırılması, suyun değerli ve sınırlı bir doğal kaynak olduğu bilincinin yerleştirilmesi için bir eğitim seferberliği başlatılması sayılabilir. Ayrıca, su konusunda araştırma, geliştirme ve eğitim çalışmaları yapan üniversiteler ile kamu kuruluşları ve özel sektör arasında koordinasyon sağlanması ve sivil toplum kuruluşlarının güçlendirilmesi de önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- ANA. (2005). Cadernos de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA. 134 p.
- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Jacobs, C., Mentaschi, L. & De Roo, A. (2018). Impact of changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin. EUR 29228EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Bozkurt, D. & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. Journal of hydrology, 480, 149-161.
- Dabanlı, İ. (2019). A Climate Change Impact: Variation In Precipitation Patterns, And Increased Drought Risk In Turkey. Sakarya University Journal of Science, 23(2), 193-202.
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International, 35(8), 1225-1233.
- Demir, İ. (2008). PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için İklim Öngörülleri," IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. (2008). PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için İklim Öngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu, IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Demuth S. (2017). Assessment of Climate Change on Water Resources and How to Adapt, UNESCO, Paris.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2012). <http://www.dsi.gov.tr/> adresinden erişildi.
- EMBRAPA. (2008). Aquecimento global e a nova Geografia da produção agrícola no Brasil. Brasília: Embaixada Britânica. 84 p.
- Erçin E., Pilevneli T., Çapar G. (2019). Türkiye'de Tarım Sektörünün İklim Değişikliğine Karşı Hassasiyeti Üzerine Kapasite Geliştirme Projesi. TR2013/0327.05.01-02/059.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., & Gönenç, E. (2014). Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. Science of the Total Environment, 499, 437-44.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Org., Geneva, Switzerland, 32 pp.
- İklim Haber. (Aralık 2018). COP24 Bilgi Notu: BM İklim Müzakereleri ve Türkiye. <https://www.iklimhaber.org/wp-content/uploads/2018/12/BM-%C4%B0klim-M%C3%BCzakereleri-ve-T%C3%BCrkiye.pdf> adresinden erişildi.
- İklim Senaryoları Raporu. (Temmuz 18, 2019). <https://www.iklim.istanbul/raporlar/adresinden-erisildi>.

- Koç, C., Bakış, R., & Bayazıt, Y. (2017). A study on assessing the domestic water resources, demands and its quality in holiday region of Bodrum Peninsula, Turkey. *Tourism Management*, 62, 10-19.
- Konukcu F., Albut S., Altürk B. (t.y.). Trakya Bölgesinde İklim Değişikliği ile Mücadele ve Adaptasyon için Kapasite Artırımı (CBCCMA) Projesi.
- Köse. (2018). İ. İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci, Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, p.55 -81.
- Lawrance P., Meigh J., Sullivan C. (2002). The Water Poverty Index: an International Comparison. *Keele Economics Research Papers*, Keele University.
- Lioubimtseva, E., and G. Hennebry. (2012). "Grain Production Trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New Opportunities in an Increasingly Unstable World?" *Frontiers Earth Science* 6(2): 157-66.
- Marengo, Jose & Tomasella, Javier & A. Nobre, Carlos. (2017). Climate Change and Water Resources. 10.1007/978-3-319-41372-3_12.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2018). <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=kuresel> adresinden erişildi.
- NASA. (Ağustos 28, 2019a). Carbon Dioxide. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> adresinden erişildi.
- NASA. (Ağustos 28, 2019b). Global Temperature. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> adresinden erişildi.
- NASA. (Ağustos 28, 2019c). Ice Sheets. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/> adresinden erişildi.
- NASA.(Ağustos 28, 2019d). Sea Level. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> adresinden erişildi.
- NASA, (Ağustos 28, 2019e). The Effects of Climate Change. <https://climate.nasa.gov/effects/> adresinden erişildi.
- Punkari, M.; Droogers, P.; Immerzeel, W.; Korhonen, N.; Lutz, A.; Venäläinen, A.. (2014). Climate Change and Sustainable Water Management in Central Asia. © Asian Development Bank. <http://hdl.handle.net/11540/1296>. License: CC BY 3.0 IGO.
- Randall et al. (2007). "Climate Models and Their Evaluation." In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- REC Türkiye(Bölgesel Çevre Merkezi). (2015). A dan Z ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi. ISBN: 978-975-6180-43-3. https://recturkey.files.wordpress.com/2016/11/adanzye_iklim_degisikligi_basucurehberi.pdf adresinden erişildi.
- Salati, E., Schindler, W., Victoria, D. C., Salati, E., Souza, J. C. S., & Villa Nova, N. A. (2009). Economics of climate change in Brazil: Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). 89 p.
- Sarıkaya, M.A. (2011) Türkiye'nin güncel buzulları. *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistemik ve Bölgesel (içinde)*, İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, 6: 527-544.
- Schaeffer, R., Szklo, A. S., Lucena, A. F. P., Souza, R. R., Borba, B. S. M. C., Costa, I. V. L., et al. (2008). Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Rio de Janeiro: Nova Brasileira, COPPE-UFRJ. 67 p.

- Schlüter, M., D. Hirsch, and C. Pahl-Wostl. (2010). "Coping with the Change: Responses of the Uzbek Water Management Regime to Socio-Economic Transition and Global Change." *Environmental Science and Policy* 13(7): 620-36.
- Şen, O. L. (2013). A holistic view of climate change and its impacts in Turkey. İstanbul Policy Center, İstanbul.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2009). Çevresel Göstergeler Kitapçığı.
- <https://webdosya.csb.gov.tr/gm/dosyalar/belgeler/belge385/Cevresel%20Gostergeler%202009.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019). Kyoto Protokolü. <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/Kyoto.aspx?sflang=tr> adresinden erişildi.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Yönetici Özeti.
- TEMA-WWF Türkiye. (Mart, 2015). İklim Değişikliğinin Yerel Etkileri Raporu. ISBN: 978-975-7169-77-2. http://www.tema.org.tr/folders/14966/category1docs/97/Yerel%20Etkiler%20Analizi_v11.pdf adresinden erişildi.
- Tomasella, J., Rodriguez, D. A., Cuartas, L. A., Ferreira, M., Ferreira, J. C., & Marengo, J. (2009). Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na bacia do rio Tocantins. Convênio de Cooperação Técnico-Científica INPE-VALE. 70 p.
- TÜİK. (Nisan 13, 2018). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri (2016). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27675> adresinden erişildi.
- Türkeş, M. (2008). REC Türkiye Öncülerin Eğitimi Ders Notları, http://www.rec.org.tr/dyn_files/32/285-Turkes1-REC-IDOE-IKKuresel-Iklimdeg.pdf adresinden erişildi.
- Union of Concerned Scientists. (2018). Each Country's Share of CO₂ Emissions <https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/each-countrys-share-of-CO2.html#.XDwoHlwzblU> adresinden erişildi.
- Yüksel, İ., Sandalcı, M., Çeribaşı, G., & Yüksek, Ö. (2011). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri, Ulusal 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 21-23.
- Water Calculator (2018). The Impact of Climate Change on Water Resources. <https://www.watercalculator.org/water-use/climate-change-water-resources/> adresinden erişildi. Son Güncelleme: 02.07.2019.
- WWF. (2019). Küresel İklim Değişikliği Nedir?. https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/iklim_degisikligi/ adresinden erişildi.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
Mustafa Kemal Mah. Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı) 9. Km No:278 Çankaya / Ankara
Tel: +90 (312) 410 10 00

Bu yayın Avrupa Birliğinin maddi desteği ile hazırlanmıştır. İçerik tamamıyla WEglobal Danışmanlık A.Ş.'nin liderliğindeki konsorsiyumun sorumluluğu altındadır ve Avrupa Birliğinin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir.



iklimin.org



facebook.com/iklimin



twitter.com/iklimin



[iklimIN Projesi](https://www.youtube.com/channel/UCklimIN)



instagram.com/ikliminprojesi