

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ,
TÜRKİYE YERALTI
VE
YÜZEYSEL SU KAYNAKLARI**

**CLIMATE CHANGE AND GROUNDWATER AND SURFACE
WATER RESOURCES OF TÜRKİYE**

*Esra ŞILTU
Lütfi AKCA*

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, TÜRKİYE YERALTI VE YÜZEYSEL SU KAYNAKLARI

Esra ŞILTU

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

Lütfi AKCA

Türkiye Su Enstitüsü Başkanı

Özet

İklim değişikliğinin, hidrolojik döngü ve su kaynakları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır ve bu etkiler son yıllarda dünya genelinde daha fazla hissedilmektedir. Tüm dünyada iklim değişikliğine uyum çabalarının çoğunluğunu su kaynaklarına ilişkin yatırımlar ve tedbirler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin Türkiye’de su kaynakları üzerindeki etkileri, uyum, dayanıklılık ve azaltım faaliyetleri ile yapılması gereken çalışmalara ilişkin öneriler ele alınmaktadır. Bu kapsamda, dünyada ve Türkiye’de su kaynaklarının durumu, kullanımı ve suya ilişkin sorunlara değinilmiş, su kaynaklarında iklim değişikliğine uyum ve dayanıklılık çalışmaları ile su yatırımlarının iklim değişikliği azaltım faaliyetlerine katkıları özetlenmiş ve su-gıda-enerji ekseninde iklim değişikliğine uyum, dayanıklılık ve azaltımın artırılması ve su, gıda ve enerji arz güvenliğinin sağlanması için yapılması gereken ilave çalışmalara ilişkin öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

İklim değişikliği, Türkiye su kaynakları, İklim değişikliğine uyum

CLIMATE CHANGE AND GROUNDWATER AND SURFACE WATER RESOURCES OF TÜRKİYE

Esra ŞILTU

General Directorate of State Hydraulic Works

Lütfi AKCA

President of Turkish Water Institute

Abstract

Impacts of climate change are even more considerable in the recent years globally and it has significant implications on hydrological cycle and water resources. In global scale, majority of the climate change adaptation and resilience efforts are concentrated on water resources and water investments. In this study, implications of climate change on water resources in Türkiye were discussed along with adaptation, resilience and mitigation studies related to water resources. In this context, state and usage of water resources around the globe and specifically in Türkiye were addressed as well as water-related problems. In addition to these, climate change adaptation and resilience activities in the context of water resources management and contributions of water investments to climate change mitigation were presented. Finally, suggestions on actions needed to enhance climate change adaptation, resilience and mitigation of water resources and ensure water, energy and food supply security in water-food-energy nexus were put forward.

Keywords

Climate change, Water resources of Türkiye, Climate change adaptation

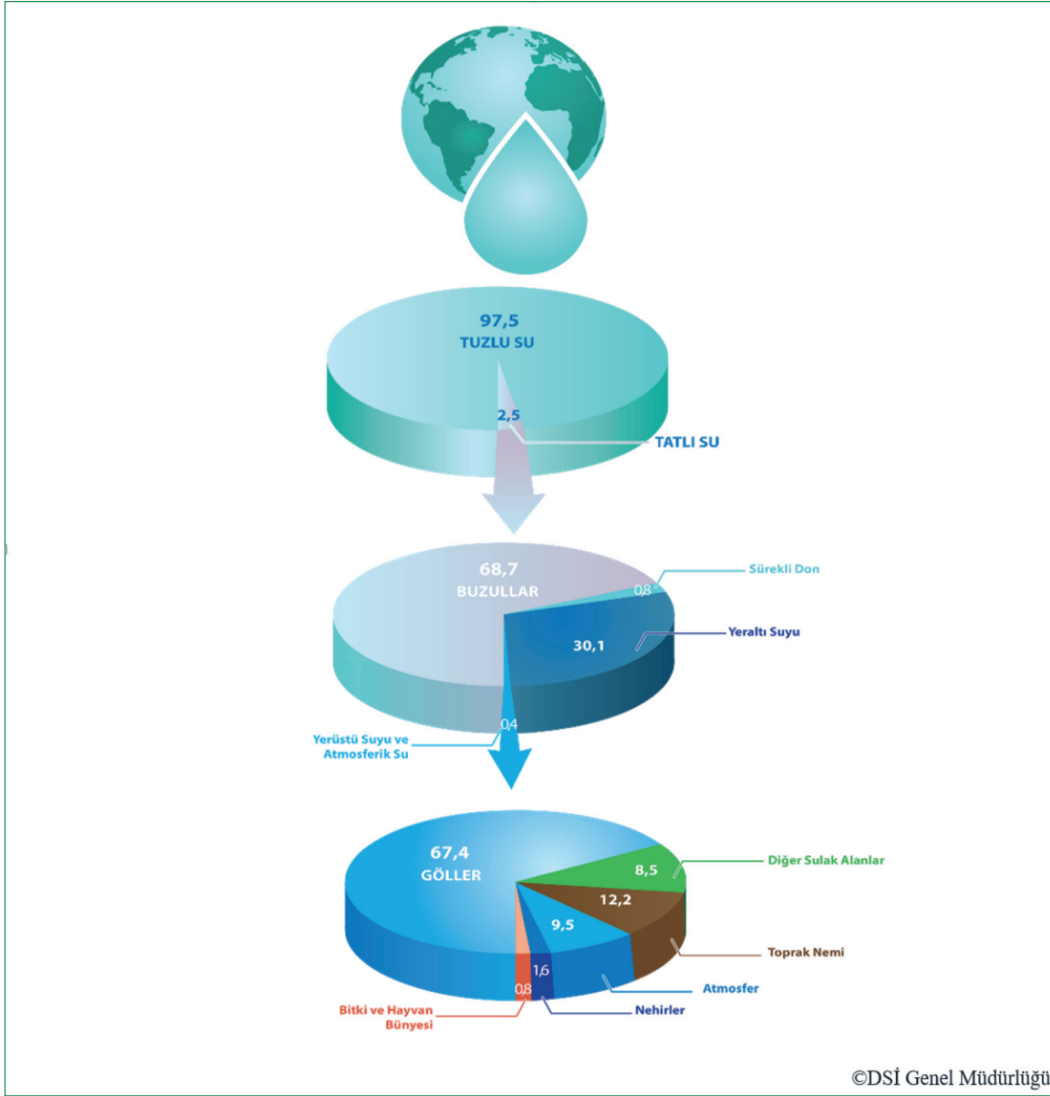
1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, hidrolojik döngü ve su kaynakları üzerinde yadsınamayacak etkilere sahiptir. Dünya ısındıkça hidrolojik döngü hızlanmakta ve yağış rejimindeki değişimler neticesinde tatlı su ekosistemleri üzerindeki baskı artmaktadır (Oki ve Kanac, 2006, s. 1068). İklim değişikliğine bağlı olarak, tuzlu su miktarı, tatlı su rezervlerine kıyasla artarken, arazi kullanımları değişmekte, buzullar ve kar kütleleri erimekte, yeraltı sularının kullanımı aşırı seviyede artmakta, kıtalar kuraklaşırken deniz seviyeleri yükselmektedir (Bates vd., 2008, s. 15). Dünyanın bazı bölgeleri geçmişe kıyasla daha az yağış alırken bazı bölgeleri daha fazla yağış almakta, yağış ve sıcaklık rejimleri tahmin edilemeyen şekilde değişmektedir. Bu nedenle, dünya genelinde suya bağlı afetlerin sıklığı ve şiddetinde önemli artışlar gözlenmektedir. Birleşmiş Milletler verilerine göre 2001-2018 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen afetlerin %74'ü su kaynaklıdır ve son 20 yılda taşkınlar ve kuraklık nedeniyle 166 binden fazla insan hayatını kaybetmiş ve yaklaşık 700 milyar dolar ekonomik zarar oluşmuştur (UNESCO&UN Water, 2020). Bununla birlikte, 733 milyonu yüksek ve kritik seviyede olmak üzere 2,3 milyar insan su stresi deneyimlenen ülkelerde yaşamaktadır (UN Water, 2021). Diğer taraftan, su kaynaklarının kalitesi gittikçe bozulmakta, her yıl yaklaşık 1,4 milyon kişi patojenler ile kontamine olmuş içme suyu kullanımı ve atıksuların uygun şekilde arıtılmaması nedeni ile hayatını kaybetmektedir (UN Environment, 2019). Tüm bu gerçekler, iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha da fazla hissedildiği günümüzde, su kaynakları yönetimine her zamankinden daha fazla önem verilmesi gerektiğini gözler önüne sermektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, su kaynakları yönetiminde bilimsel ve teknik gelişmelerden daha çok, iyi bir su yönetimi anlayışına ihtiyaç vardır (Boretti ve Rosa, 2019).

Bu çalışmada, Türkiye'nin mevcut su varlığı ve su yönetimine ilişkin uygulamaları iklim değişikliği etkileri göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve yeni bir su politikasına duyulan ihtiyaç ve öneriler ortaya konulmuştur.

2. Dünyada Su Kaynaklarının Dağılımı ve Kullanımı

Yeryüzünün büyük bir çoğunluğu sularla kaplıdır. Bilim insanlarınca, dünyanın toplam su varlığını tahmin eden birçok çalışma yayımlanmıştır (Kotwicki, 2009; Shiklomanov, 2000). Bununla birlikte, bu çalışmalar varsayımlar ve tahminlere dayalı olduğundan belirsizlikler içermektedir. Yine de, literatürde en çok kabul gören çalışmaların verileri dikkate alınarak yeryüzünün yaklaşık %71'inin suyla kaplı olduğunu söylemek mümkündür (USGS, 2019). Buna rağmen, kullanılabilir tatlı su kaynaklarının toplam su varlığına oranı oldukça düşüktür. Şekil 1'den anlaşıldığı üzere toplam su kaynaklarının büyük bir kısmını insani tüketim amacıyla kullanılmayacak durumda olan su kaynakları oluşturmaktadır. Shiklomanov (2000), yaptığı çalışmada toplam su kaynaklarının %97,5'ini tuzlu suların, geriye kalan %2,5'lik kısmını ise tatlı suların oluşturduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 1. Dünyada su kaynaklarının dağılımı (UNESCO World Water Assessment Report 2'den uyarlanmıştır.)

Bununla birlikte, tatlı suların büyük kısmının (%68,7) buzullar ile dağlık bölgelerde bulunan buz kütlelerinden oluştuğunu, %29,9'luk kısmının yeraltı sularında, yalnızca %0,26'lık kısmının ise, nehir, göl ve rezervuar sistemlerinde bulunduğunu öngörmektedir (Shiklomanov, 2000). Bu çalışmanın geliştirilmesi neticesinde suyun yerkürede dağılımına ilişkin daha detaylı veriler elde edilmiş olup, bu veriler Şekil 1'de gösterilmektedir (Shiklomanov ve Rodda, 2003 aktaran UNESCO-WWAP, 2006, s. 121). Bununla birlikte, dünya genelinde tatlı su kaynakları ile nüfus doğru orantılı olarak dağılmamaktadır. Nüfusun fazla olduğu Asya ve Afrika kıtalarında tatlı su kaynakları kısıtlıdır. Bu durum, söz konusu bölgelerde su sorunlarının vahametini ve iklim değişikliği etkilerine karşı kırılganlığı artırmaktadır.

Tablo 1. Falkenmark İndeksi

Yıllık Kişi başına Düşen Su Miktarı (m ³ /Yıl/Kişi)	Durum
>1700	Su stresi yok
1000-1700	Su stresi
500-1000	Su kıtlığı
<500	Mutlak su kıtlığı

Son 100 yılda, küresel tatlı su kullanımını 6 kat artmış olup, 1980'den beri her yıl kabaca %1 oranında artmaya devam etmektedir (United Nations, 2021). Dünya ortalamasına bakıldığında, yıllık bazda su tüketiminin %69'unu tarımsal kullanım oluşturmaktadır. Bunun yanında, küresel olarak suyun %19'u sanayide, %12'si ise insani tüketim amacıyla kullanılmaktadır (United Nations, 2021).

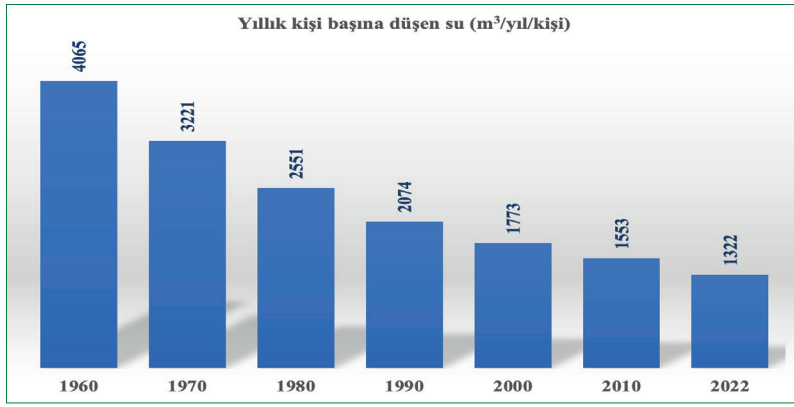
OECD (2012), 2050 yılında su kullanımında 2000 yılına göre %50 artış olacağını öngörmektedir. Bununla birlikte, 2021 yılı verilerine göre dünya genelinde 2 milyar kişi dönemsel ya da sürekli su kıtlığı yaşamaktadır (United Nations, 2021). Ayrıca, iklim değişikliğinin de etkisiyle su varlığındaki dönemsel değişimlere bağlı olarak su arzı daha kararsız ve belirsiz olmakta ve su arz güvenliğinin sağlanması zorlaşmaktadır.

3. Türkiye'de Su Kaynaklarının Durumu

Türkiye'nin yıllık toplam yağış miktarı 450 milyar m³, yıllık ortalama alansal yağış miktarı ise 574 mm'dir. Yıllık ortalama yüzey akış miktarı (doğal akım) 185 milyar m³'tür. Bununla birlikte, yıllık kullanılabilir yerüstü suyu miktarı 94 milyar m³, yeraltı suyu emniyetli rezervi 18 milyar m³, yıllık toplam kullanılabilir su miktarı ise 112 milyar m³'tür. Buna göre Türkiye'nin 2022 yılı kişi başına düşen su miktarı 1.322 m³'tür. Bu değer, Falkenmark indeksine (Falkenmark, 1989 aktaran Brown ve Matlock, 2011) göre değerlendirildiğinde ülkemizin su stresi yaşayan ülkeler arasında olduğunu göstermektedir. Falkenmark indeksi limitleri Tablo 1'de yer almaktadır.

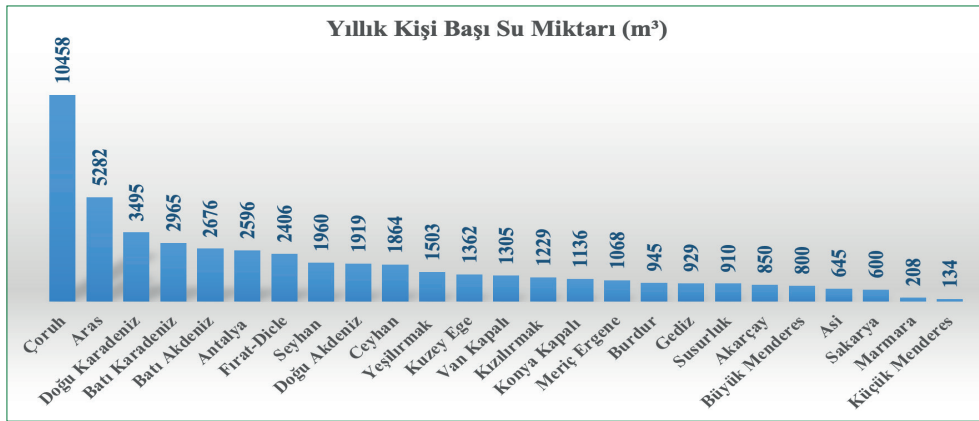
Bununla birlikte, Türkiye'nin yıllık kişi başına düşen su miktarının 1960 yılından 2022 yılına kadar olan değişimi Şekil 2'de gösterilmektedir.

Şekil 2’de anlaşıldığı üzere, nüfus artışı, sanayileşme, tarımsal üretimdeki artış, su kullanım alışkanlıklarındaki değişimler ve iklim değişikliği etkisiyle yağışların azalması neticesinde, Türkiye’nin kişi başına düşen yıllık su varlığı yıllar içinde ciddi oranda azalmıştır. Bu durum, su kaynakları yönetiminde iklim değişikliğine uyumu artıracak politikalara ihtiyaç duyulduğunu gözler önüne sermektedir. Diğer taraftan, ülke genelinde yağışlar ve su potansiyeli, nüfus yoğunluğu ve su ihtiyacı ile orantılı olarak dağılmamaktadır. Nüfusun, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olmadığı Doğu Karadeniz Bölgesinde yağışlar ve su potansiyeli yüksekken, üretim faaliyetleri ile nüfusun yoğun olduğu Ege ve Marmara Bölgelerinde su potansiyeli düşüktür. Türkiye’nin 25 su havzasında kişi başına düşen su miktarının dağılımı Şekil 3’te gösterilmektedir.



Şekil 2. Türkiye’de kişi başına düşen su miktarının yıllara göre değişimi

Şekil 3’te görüldüğü üzere Marmara ve Küçük Menderes Havzaları mutlak su kıtlığı kategorisinde olup, kişi başına düşen su miktarı oldukça düşük seviyelerdedir. Sanayi faaliyetleri ile tarımsal üretim açısından önemli bölgeler olan Burdur, Gediz, Susurluk, Akarçay, Büyük Menderes, Asi ve Sakarya Havzalarında da kişi başına düşen su miktarının su kıtlığı seviyesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Havzalarda yıllık kişi başına düşen su miktarı

Bununla birlikte, 2022 yılı verilerine göre Türkiye genelinde tahsis edilen yeraltı suyu toplam miktarı yaklaşık 17,80 milyar m³tür. Bu suyun %64'ü tarımsal sulama, %24'ü içme-kullanma, %9'u ise sanayi maksatlı kullanılmakta olup, emniyetli rezervin neredeyse tamamı hâlihazırda tahsis edilmiş durumdadır. Mevcut yerüstü suyu potansiyelinin ise %43'ü tahsis edilmiş durumdadır. 2022 yılında kullanılan yerüstü suyu miktarı yaklaşık 41 milyar m³tür. Tahsis edilen yerüstü ve yeraltı suları toplamının %77'si tarımsal sulamada, %23'ü ise içme-kullanma ve sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır.

4. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri

Literatürde, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların birçoğu iklim değişikliğinin bölgesel etkileri üzerine odaklanmaktadır (Abbaspour vd., 2009; Görgüner vd., 2019; Piao vd., 2010). Ancak, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 2022 yılında yayımlanan raporunda geniş bir kapsamda ele alınmaktadır. Buna göre, kabaca dünya nüfusunun yarısının-8 milyar kişi- en azından yılın bir bölümünde iklimsel ya da iklimsel olmayan nedenlere bağlı olarak ciddi su sıkıntısı çekeceği tahmin edilmektedir. 1970'li yıllardan günümüze, tüm afetlerin %44'ü taşkınlar ile ilişkilidir. Bununla birlikte, iklim değişikliğine uyum çalışmalarının %60 gibi büyük bir kısmı su kaynaklı zararlar ile ilgilidir. Ayrıca, iklim değişikliği nedeniyle hidrolojik döngüde ortaya çıkan yoğunlaşma, diğer sosyoekonomik faktörlere bağlı olarak oluşan mevcut su sıkıntılarını daha da vahim bir hale getirmektedir. Yaklaşık yarım milyar insan alışılmadık seviyede -uzun dönem ortalama yağışların eskiye kıyasla yalnızca 6 yılda bir görülen seviyede yüksek olduğu- yağışlı alanlarda yaşamaktadır. Diğer taraftan, 163 milyon insan ise alışılmadık seviyede kurak bölgelerde yaşamaktadır.

Şiddetli yağışların yoğunluğu dünyanın birçok bölgesinde 1950'li yıllardan itibaren artmıştır. Yıllık maksimum bir günlük yağış şiddetinin düştüğü bölgelerde yaşayan insan sayısına kıyasla (yaklaşık 86 milyon kişi), yıllık maksimum bir günlük yağış şiddetinin arttığı bölgelerde yaşayan insan sayısı (yaklaşık 709 milyon kişi) çok daha fazladır. Aynı zamanda, 1950'den beri, daha uzun kurak dönemlerin yaşandığı bölgelerde yaşayan insan sayısı (yaklaşık 700 milyon kişi), daha kısa kurak dönemlerin yaşandığı bölgelerde yaşayan insan sayısından fazladır. Yüksek derece kuzey enlemlerinde akarsu akışlarında açık bir artış eğilimi olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, yoğun yağışlar ve taşkın olayları neticesinde tropik bölgelerde yer alan akiferlere daha fazla dönemsel besleme olduğu belirlenmiştir. İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin etkisiyle, etkili taşkınlarla ve kuraklıklara neden olan aşırı hava olaylarının ortaya çıkma sıklığı ve şiddeti artmaktadır.

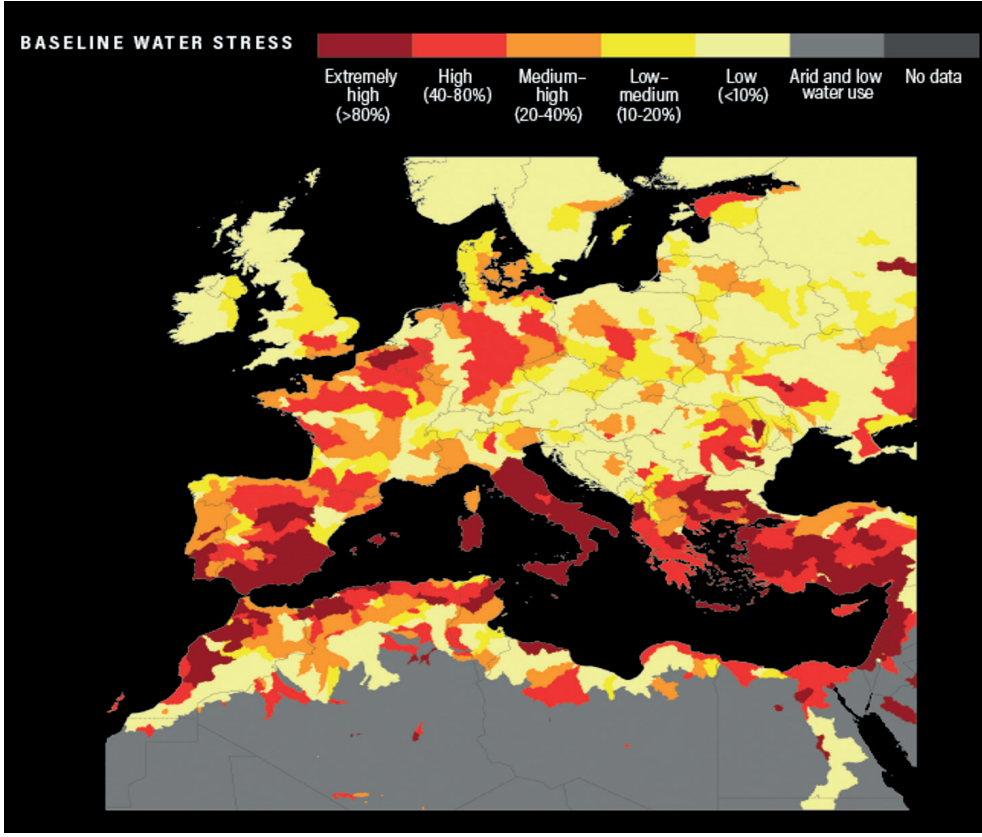
İnsan kaynaklı iklim değişikliği, özellikle tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların meydana gelme ihtimalini ve şiddetini artırmıştır. 1970 ve 2019 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen afetlerin %7'si, afet kaynaklı ölümlerin (çoğunluğu Afrika kıtasında) %34'ü ise kuraklık kaynaklıdır. Batı Avrupa, Çin, Japonya, ABD, Peru, Brezilya ve Avustralya'da yaşandığı gibi

yakın dönemde dünya genelinde ciddi taşkınlara neden olan aşırı yağış olaylarının sıklığı insan kaynaklı iklim değişikliğinin etkisiyle artmaktadır. Son 40-60 yılda yaşanan ısınmaya bağlı olarak, her 10 yılda bir bahar taşkınlarının 10 gün öne geldiği ortaya konulmuştur. 1970-2019 yılları arasında ortaya çıkan ekonomik kayıpların %31'ine taşkınlar sebep olmuştur. İklim değişikliğinin insanlar ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinin, kırılgan topluluklarca daha fazla hissedildiği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, tarımsal üretim ve enerji üretiminin de hidrolojik döngüdeki olumsuz değişikliklerden etkilendiği yadsınamaz bir gerçektir. 1983-2009 yılları arasında, dünya genelinde ekilen alanların 4'te 3'ünde (yaklaşık 454 milyon hektar) meteorolojik kuraklık nedeniyle rekolte kaybı yaşanmış olup, toplam üretim kaybının ekonomik değeri 166 milyar dolara ulaşmaktadır. Bununla birlikte, 1980'den bu yana elde edilen uzun dönemli verilere göre küresel termoelektrik ve hidroelektrik enerji üretimi, tesis yararlanım oranlarının kuraklık nedeniyle %4-5 oranında düşmesi neticesinde azalmıştır. İklim değişikliği, tatlı su ekosistemlerini de olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, aşırı yağışlar ve aşırı hava olayları, su kaynaklı salgın hastalıkların sıklığını artırmaktadır. Suya bağlı zararlarda ortaya çıkan değişimler, özellikle güney yarım kürede yaşayan yoksullar, kadınlar, çocuklar, yerel halk ve yaşlılar gibi kırılgan grupları, tarihsel, sosyo-ekonomik ve politik şartlara bağlı mevcut sistemsel eşitsizlikler nedeniyle daha fazla etkilemektedir (IPCC, 2022).

Birleşmiş Milletler tarafından 2020 yılında yayımlanan Dünya Su Gelişim Raporu'na göre iklim değişikliği etkisiyle dünya genelinde dönemsel su kıtlığı yaşanma ihtimali ve ısı dalgaları, daha önce görülmemiş şiddette yağışlar, fırtınalar ve fırtına dalgası gibi aşırı hava olaylarının görülme sıklığının artacağı tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, iklim değişikliği etkisi ile su ısısı yükselecek, çözülmüş oksijen seviyeleri düşecek ve buna bağlı olarak tatlı su ekosistemlerinin özümleme kapasiteleri azalacaktır. Bu nedenle, iklim değişikliği su kalitesi üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Bunun yanı sıra iklim değişikliği, taşkınlar sonucu kirletici ve patojenlerin su kaynaklarına taşınımı ile kuraklık dönemlerinde artan kirletici konsantrasyonları gibi su kalitesi sorunlarına da neden olabilmektedir. İklim değişikliği orman ve sulak alan ekosistemlerini de etkilemektedir. Ekosistemlerin zarar görmesi yalnızca biyoçeşitliliğin azalmasına değil suların temizlenmesi, karbon yakalama ve depolama, doğal taşkın koruma ile tarım, su ürünleri üretimi ve rekreasyon için su temini gibi su ile ilişkili ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesini de etkileyecektir (UNESCO, UN-Water, 2020).

5. İklim Değişikliğinin Türkiye'de Su Kaynaklarına Etkileri

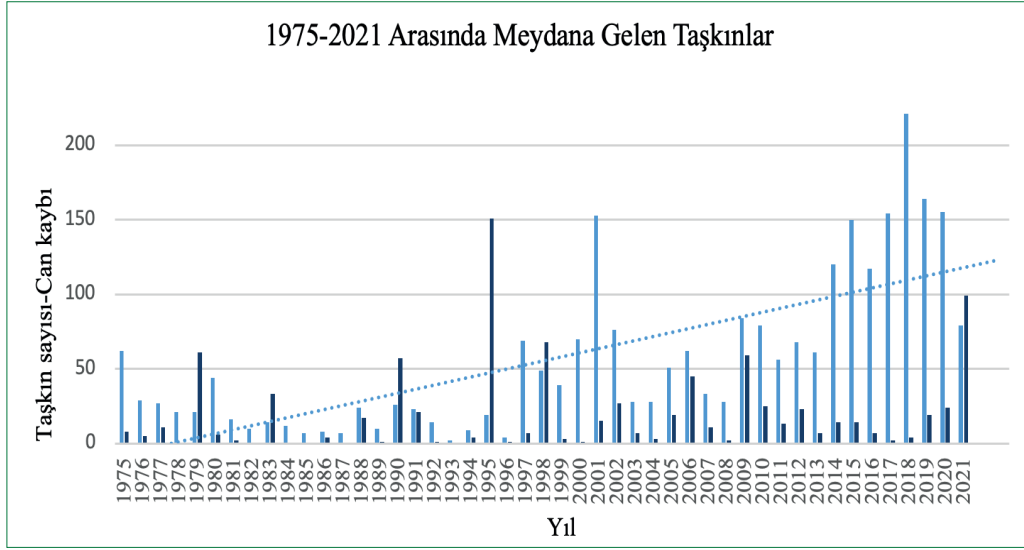
Türkiye, iklim değişikliği etkilerinden yoğun olarak etkileneceği tahmin edilen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. "Taban su stresi", yıllık toplam su çekimlerinin, yıllık kullanılabilir su miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır (Hofste vd., 2019a). Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Orta Doğu ve Kuzey Afrika'nın dünya üzerinde taban su stresinin en şiddetli yaşanacağı bölgeler olduğu tahmin edilmektedir (Hofste vd., 2019b). Şekil 4'te Orta Doğu'da ve Kuzey Afrika'da taban su stresi seviyesi gösterilmektedir.



Şekil 4. Orta Doğu ve Afrika bölgelerinde taban su stresi seviyesi (Hofste vd., 2019b)

İklim değişikliğinin etkisi ile Türkiye’de su stresinin daha da artacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, değişen iklim koşulları nedeniyle nehir havzalarının da birçok riskle karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Bunlardan birisi, ülkenin iç ve güney kesimlerinde, özellikle de Fırat-Dicle Havzası’nda yağışların azalmasıdır. Diğeri ise özellikle kış mevsiminde olmak üzere ortalama sıcaklıkların artmasıdır. Ortalama sıcaklıkların artması neticesinde kış boyunca alınan yağışlar kardan çok yağmur şeklinde oluşur. Bu da yıl boyu su kaynaklarını besleme potansiyeline sahip kar örtüsünün azalmasına neden olmaktadır. Sıcaklıkların yükselmesi aynı zamanda bahar aylarında karların daha erken erimesine neden olmaktadır. İklim değişikliğine bağlı bir diğer etki ise Kuzey ve Batı Anadolu’da yaz döneminde yağışların artmasıdır.

Artan yağışlara bağlı olarak bu bölgelerde taşkınların yaşanma ihtimali de artmaktadır (Demircan vd., 2017, s. 36). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye’de 1975-2021 yılları arasında yaşanan taşkınların ve buna bağlı can kayıplarının sayısı Şekil 5’te gösterilmektedir.



Şekil 5. Türkiye’de 1975-2021 yılları arasında meydana gelen taşkınlar ve can kaybı sayısı

Şekil 5 incelendiğinde, taşkınların oluşumunda artış eğilimi olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, iklim değişikliğine bağlı olarak yağış rejiminin değişmesi ile yağışların süre ve şiddetinin artmasının etkisi büyüktür. Diğer taraftan, iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklıkların da süresi ve şiddetinin artması suyun depolanmasının önemini ve depolama tesislerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Gediz Havzası’nda yer alan Demirköprü Barajı giriş akımları ve depolanan su hacmi üzerinde iklim değişikliği etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, giriş akımlarının geçmiş yıllara göre artacağı tahmin edilse de 21. yüzyıl boyunca iklim değişikliği etkisi ile azalacağı değerlendirilmektedir (Görgüner vd., 2019). Bu bulgu, yeni depolama tesislerine duyulan ihtiyacı kanıtlar niteliktedir.

Diğer taraftan, Türkiye genelinde kuraklık oluşumu ihtimalinin SPI (Standart Precipitation Index) değerleri üzerinden değerlendirildiği bir çalışmada, Akdeniz kıyı kesimi ile Suriye sınır hattının SPI değerlerinin sıfırdan küçük olma ihtimalinin, diğer bir deyişle bu alanların kurak olma ihtimalinin %50’den yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, aynı bölgelerin aşırı kurak ($SPI \leq -2$) olma ihtimalinin ülkenin diğer kısımlarından yüksek olduğu bulunmuştur. Akçakale ve Harran ovalarının, aşırı kuraklık yaşanma ihtimali en yüksek alanlar olduğu tespit edilmiştir. Aşırı kuraklık durumunun yaşanma ihtimali güney ve doğu bölgelerden kuzeye doğru azalmaktadır (Türkeş, 2020). Türkeş (2017) tarafından yapılan bir çalışmada 81 ilin kuraklığa karşı kırılganlığı “Sosyal Kırılganlık Endeksi (SVI)” kullanılarak analiz edilmiştir. Buna göre, kuraklığa karşı kırılganlığı en düşük olan illerin Trakya Bölgesi’nde Edirne ve Kırklareli, Batı Karadeniz Bölgesi’nde Bilecik, Bolu, Karabük, Zonguldak ve Bartın, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Giresun, Trabzon, Rize ve Artvin, Doğu Anadolu Bölgesi’nde ise Erzincan, Bayburt, Tunceli, Elazığ, Erzurum ve Ardahan olduğu belirlenmiştir.

Kuraklığa karşı kırılganlığı en yüksek olan illerin ise İstanbul ve çevre illeri, Bursa, Afyonkarahisar, İzmir, Antalya, Adana, Hatay, Kahramanmaraş ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan illerin neredeyse tamamı olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise, 81 il için "Kuraklık Zarar ve Afet Riski" SPI değerleri kullanılarak analiz edilmiştir (Türkeş, 2017). Bu çalışmanın çıktılarına göre, "Kuraklık Zarar ve Afet Riski" en yüksek olan il İzmir olmakla birlikte, en yüksek skoru alan iller Ege Bölgesi'nde Manisa, Aydın, Muğla, Akdeniz Bölgesi'nde Antalya, Mersin, Adana, Osmaniye ve Kahramanmaraş, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Kilis, Gaziantep, Adıyaman, Siirt ve Batman, Doğu Anadolu Bölgesi'nde Hakkari, Van ve Muş, İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara, Eskişehir, Konya, Aksaray, Karaman, Niğde ve Kayseri, Marmara Bölgesi'nde ise İstanbul, Çanakkale ve Balıkesir'dir.

Türkiye'de yağışın değişiminin incelendiği bir çalışmada, 2021-2050 periyodunda oluşabilecek yağışlar 1971-2000 periyoduna kıyasla, IPCC RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları baz alınarak tahmin edilmiştir (Türkeş vd., 2020). Buna göre, 2021-2050 döneminde Türkiye'nin özellikle güneybatı bölgelerinde kış yağışlarının önemli ölçüde azalacağı öngörülmektedir. Diğer taraftan, ülkenin kuzey kesimlerinde ise yağışların artacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, RCP4.5 senaryosuna göre ülkenin batı ve güney kesimlerinde yağışlı gün sayısının yakın bir zamanda ortalama 20 gün kadar düşmesi beklenmektedir. Karadeniz kıyı kesiminde ise yağışlı gün sayısının en az 10 gün artması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise ülke genelinde yağışlı gün sayısının düşmesi beklenmektedir. Yağışlı gün sayısındaki en önemli düşüşün ise Orta Toroslar Bölgesi olacağı tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra, RCP4.5 senaryosuna göre, ülke genelinde yıllık ortalama maksimum günlük yağışların 5 mm/gün kadar düşeceği öngörülmektedir. Bu düşüşün en çok Trakya, kıyı Ege ve Akdeniz Bölgelerinde olacağı değerlendirilmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise, yıllık ortalama maksimum günlük yağışların Karadeniz kıyı şeridinde az miktarda artacağı, ülkenin diğer kesimlerinde ise ortalama 2 mm/gün kadar düşeceği tahmin edilmektedir.

Bununla birlikte, Türkiye genelinde iklim değişikliği etkilerinin Aridite İndisi üzerinden değerlendirildiği bir çalışmada, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Türkiye'nin yakın gelecekte daha kurak olacağı değerlendirilmektedir (Türkeş, 2020, s. 483). Bu çalışmanın bulgularına göre, Türkiye'nin geçmişte yarı kurak olan bölgelerinin yakın zamanda biraz genişleyeceği ve İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde 2021-2050 döneminde yarı kurak ve kurak yarı-nemli iklim şartlarının hüküm süreceği tahmin edilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkisiyle, çölleşmeye yatkın araziler genişlerken, çölleşmeye yatkın olmayan arazilerin ise küçüleceği öngörülmektedir.

Yukarıda zikredilen veriler, su kaynaklarının planlanmasında hayati öneme sahiptir. Su kaynakları planlaması ise gerek gıda gerekse enerji arz güvenliği ve su güvenliğinin sağlanmasının temelidir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin yağış rejimi üzerindeki etkileri detaylı olarak analiz edilmeli ve bu çalışmalar yaygınlaştırılmalıdır.

6. Su Kaynakları Yönetiminde İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları

Türkiye’de iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki en önemli etkilerini yağış rejimlerindeki değişikliklere bağlı olarak şiddeti ve sıklığı artan kuraklık ve taşkın olayları oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye’de su kaynaklarının yönetimi bakımından iklim değişikliğine uyum ve dayanıklılığın artırılması çalışmalarının temelini Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yapılan faaliyetler oluşturmaktadır. Bu faaliyetler temel olarak arz yönetimi ve talep yönetimi başlıkları altında değerlendirilebilir.

Arz yönetimi, kurak dönemlerde su temininin devamlılığının sağlanması amacıyla su arzının artırılmasına yönelik olarak depolama kapasitesinin artırılması ile sulama tesislerinin ve içme suyu arıtma tesislerinin inşası ve artırılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin çalışmaları kapsamaktadır. DSİ’nin faaliyete başladığı 1954 yılından günümüze toplamda maksimum 183 milyar m³ kapasiteye ulaşan depolama tesisleri inşa edilmiştir. 2025 yılı sonuna kadar işletmeye alınacak tesisler ile depolama hacminin 8,0 milyar m³ artırılması hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra, inşa edilen yeraltı suyu suni besleme tesisleri ile su kaynaklarının bankası işlevi gören ve kuraklık dönemlerinde hızlı ve güvenli içme suyu temini sağlayabilecek yeraltı suyu kaynakları da iyileştirilmektedir. Hâlihazırda işletmeye alınan 101 adet tesis ile 33 milyon m³’lük ilave depolama ve 20 milyon m³’lük ilave içme suyu sağlanmıştır.

Bununla birlikte, DSİ tarafından inşa edilen içme suyu arıtma tesisleri ile 5 milyar m³ içme suyu arıtılmakta ve 49 milyon kişiye hizmet verilmektedir. Diğer taraftan, alternatif su kaynakları oluşturulması kapsamında atıksuların sulamada yeniden kullanımının araştırılmasına yönelik proje çalışmaları sürdürülmektedir.

Talep yönetimi ise su talebinin optimum seviyede tutulmasına yönelik akım tahmin ve baraj işletme çalışmaları, optimum su tahsisi ve arazi toplulaştırma çalışmaları ile su verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak tarımsal sulamada su kaybını azaltan modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması çalışmalarını kapsamaktadır. Bu amaçla, işletmede olan tüm barajlar için işletme planları hazırlanarak su kaynaklarının çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan en uygun şekilde tahsisi ve kullanımının sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca, DSİ tarafından yapılan arazi toplulaştırma çalışmaları neticesinde tarım arazilerinde %2 arazi kazanımı, yakıt ve ilaçlamadan tasarruf ve yapılan tarla içi geliştirme hizmetleri ile verim artışı sağlanmaktadır. 1954-2022 yılları arasında 6,77 milyon hektar tarım alanında toplulaştırma işlemleri tamamlanmıştır. 2023 yılında ise ilave 1,06 milyon hektar alanın toplulaştırılması hedeflenmektedir.

Ayrıca, ilk etapta 1 milyon hektar eski tip sulama sistemlerinin yağmurlama sulama ve damla sulama sistemleri gibi sulama randımanı yüksek (sırasıyla %70-75 ve %90) sistemlere modernizasyonu ile 5 milyar m³ su tasarrufu sağlanabilecektir. Türkiye’de 2003 yılı öncesinde basınçlı borulu sistemlerle tarım yapılan alanlarının oranı %6 iken, bu oran 2003 sonrası DSİ tarafından yapılan yatırımlar ile %31’e çıkarılmıştır. Yapılacak çalışmalar ile bu oranın daha da artırılması hedeflenmektedir.

Diğer taraftan, iklim değişikliğine uyum çalışmalarının önemli bir bölümünü ise taşkın ve rüsubat kontrolü çalışmaları oluşturmaktadır. Bu kapsamda, 2022 yılı sonu itibariyle, 68 adedi taşkın maksatlı depolama tesisi, 10.332 adedi taşkın kontrol tesisi olmak üzere toplam 10.400 adet tesis inşa edilerek işletmeye alınmış ve yaklaşık 2 milyon hektar üzeri alanda taşkın kontrolü sağlanmış, afet riskleri azaltılmıştır.

Yukarıda özetlenen iklim değişikliğine uyum ve dayanıklılık çalışmalarının yanı sıra DSİ tarafından inşa edilen hidroelektrik santraller ve güneş enerjisi santralleri, yenilenebilir enerji üretimini artırarak iklim değişikliği azaltım çabalarına önemli katkı sağlamaktadır. 2022 yılı verilerine göre Türkiye’de faaliyette olan hidroelektrik santrallerin toplam kurulu gücü 31.712 MW, enerji üretimindeki oranı ise %31’dir. İnşa edilecek yeni tesisler ile toplam kurulu gücün 2030’a kadar 40.000 MW’a çıkarılması hedeflenmektedir. Ayrıca, su kaynakları üzerine kurulacak yüzer güneş enerji santralleri ile de yenilenebilir enerji üretimi artırılarak fosil yakıt tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

Tüm bu çalışmalar ile iklim değişikliğine bağlı olarak su arzında yaşanabilecek kararsızlıkların azaltılması, su arz güvenliğinin sağlanması ve böylece iklim değişikliğinin gıda ve enerji arz güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmaların yanı sıra Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından havza bazında hazırlanan Kuraklık Yönetim Planları ve Taşkın Yönetim Planları ile kuraklık ve taşkın risklerinin azaltılmasında alınacak tedbirler belirlenmektedir. Bununla birlikte, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen projeler ile iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde olası etkileri, çeşitli iklim değişikliği senaryoları altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, belediye şebekelerinde su kayıp ve kaçaklarının azaltılması amacıyla da çalışmalar Su Yönetimi Genel Müdürlüğü’nce sürdürülmektedir.

7. Sonuç ve Öneriler

Farklı iklim değişikliği senaryoları çerçevesinde, iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkilerinin boyutları birbirinden farklı olsa da iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu ve bu etkilerin git gide daha fazla hissedileceği yadsınamaz bir gerçektir. Tüm dünyada yaşanan ekonomik sorunlar ve savaşlar da iklim değişikliği etkilerinin daha fazla hissedilmesine neden olmakta, ulusal ve uluslararası politikaların ve kalkınma planlamalarının geliştirilmesinde su-gıda-enerji ekseninin önemini artırmaktadır. Bu nedenle, su kaynakları yönetiminde de iklim değişikliğine uyum, dayanıklılık ve azaltım çalışmalarının da ivme kazanması gerekmektedir.

Bu kapsamda, Türkiye’de öncelikle su yönetiminde arz ve talep yönetiminin birlikte ele alınmasını sağlayacak;

- Bütüncül
- Katılımcı
- Havza ölçekli
- Veriye dayalı

yeni bir su yönetimi politikasının ortaya konulması ve uygulanması elzemdir.

Bunun yanında, yağışlı dönemlerde suyun teknik olarak mümkün olan en üst seviyede depolanmasını sağlayacak yatırımların hayata geçirilmesi ile kurak dönemlerde su arz güvenliğinin sağlanması, öncelikle yerüstü sularının tahsisi ile yeraltı sularının “su kaynaklarının bankası” olarak korunması ve ancak yerüstü sularının kullanımının yetersiz kaldığı durumlarda yeraltı suyu kullanımına izin verilmesi, suyun taşıdığı yerde değil düştüğü yerde tutulması anlayışıyla, taşkın yönetiminde üst havza tedbirlerinin alt havza tedbirleri ile birlikte uygulanması, su kayıp kaçaklarının azaltılması ile ülke genelinde tüm sektörlerde kabul edilebilir seviyelere çekilmesi ve su verimliliğinin artırılması, alternatif su kaynaklarının kullanımının özendirilmesi ve teşviki önem arz etmektedir.

Bununla birlikte, su kaynaklarının miktar ve kalitesinin düzenli olarak ölçülmesi ile suya ilişkin verilerin iyileştirilmesi, böylece planlama ve projeler ile projeksiyonların kalitesinin artırılması, havza su bütçelerinin oluşturulması ve tüm havzalarda hidrolojik dengenin sağlanması gerekmektedir.

Ayrıca, mutlak su kıtlığı yaşanan Marmara ve Küçük Menderes Havzaları öncelikli olarak ele alınmak üzere, su kıtlığı olan havzalarda kısa vadede alınabilecek tedbirler hızlıca belirlenmeli ve hayata geçirilmelidir. Su baskısı altında olan havzalarda ise kişi başına düşen su miktarının artırılmasına yönelik orta ve uzun vadeli tedbirler ortaya konulmalıdır.

Diğer taraftan, iklim değişikliği etkilerinin daha yüksek doğrulukla tahmin edilebilmesi için kamu kurumları ve üniversitelerin işbirliği ile bilimsel çalışmalar yürütülmelidir. Bu çalışmalar ile iklim değişikliğinin havza bazlı etkileri irdelenmeli, kamu kurumlarının yürüteceği planlama çalışmalarına güvenilir altlıklar oluşturulması sağlanmalıdır.

Teşekkür

Türkiye’nin su kaynakları ve yatırımlarına ilişkin verilerin elde edilmesi ve derlenmesinde emeği geçen Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Bölge Müdürlüklerinde görevli tüm personele teşekkür ederiz.

8. Kaynaklar / References

- Abbaspour, K. C., M. Faramarzi, S. S. Ghasemi, & H. Yang (2009), Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resour. Res.*, 45, W10434, doi:10.1029/2008WR007615.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu & J.P. Palutikof, Eds. (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 1-6.
- Brown, A. & Matlock, M.D. (2011). *A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies*. White Paper #106. The Sustainability Consortium.
- Demircan, M., Gürkan, H. , Eskiođlu, O. , Arabacı, H. & Coşkun, M. (2017). Climate change projections for Türkiye: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1 (1), 22-43. doi: 10.31807/tjwsm.297183
- Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., Farzaneh, M. R., Zehnder, A. J., Srinivasan, R., & Yang, H. (2013). Modeling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. *Journal of Hydrology*, 480, 85-101.
- Gorguner, M., Kavvas, M. L., & Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Türkiye by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Science of the Total Environment*, 648, 481-499.
- Hofste, R., S. Kuzma, S. Walker, E.H. Sutanudjaja, et al. (2019a). *Aqueduct 3.0: Updated Decision Relevant Global Water Risk Indicators. Technical Note*. Washington, DC: World Resources Institute. Erişim adresi: <https://www.wri.org/publication/aqueduct-30> Erişim tarihi: 16.02.2023
- Hofste, R., Reig, P., Schleifer, L. (2019b). *17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress*. World Resources Institute. Erişim adresi: <https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress> Erişim tarihi: 16.02.2023
- Kotwicki, V. (2009). Water balance of Earth / Bilan hydrologique de la Terre. *Hydrological Sciences Journal*, 54(5), 829-840, DOI: 10.1623/hysj.54.5.829
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- OECD. (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. Key Facts and Figures*. Paris, OECD Publishing. www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49910023.pdf.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. 13(5790), 1068-1072.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T., & Fang, J. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7311), 43-51.

- Shiklomanov, I.A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources, *Water International*, 25(1), 11-32.
- Türkeş, M. (2020). Climate and Drought in Türkiye. *Water resources of Türkiye* (ss. 85-125). Springer, Cham.
- Türkes, M., Turp, M. T., An, N., Ozturk, T., & Kurnaz, M. L. (2020). Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Türkiye. *Water resources of Türkiye* (ss. 467-491). Springer, Cham.
- UNESCO-WWAP (2006). The United Nations World Water Development Report 2: Water A Shared Responsibility. Paris, UNESCO.
- UNESCO, UN-Water; (2020). United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
- United Nations. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris.
- UN Environment (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi. DOI 10.1017/9781108627146.
- UN-Water. (2021). Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all. Version: July 2021. Geneva, Switzerland.
- USGS. (2019). *All of Earth's water in a single sphere*. Retrieved on 27.07.2022 from: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>

Yazarlar Hakkında / About Authors

Esra ŞILTU | Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü |
esrasiltu[at]dsi.gov.tr | ORCID: 0000-0003-2541-953X

Esra Şiltu, kamu sektöründe 10 yılı aşkın deneyime sahip kıdemli bir çevre mühendisi ve su kalitesi uzmanıdır. Lisans derecesini 2011 yılında, yüksek lisans derecesini ise 2014 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nde uzman olarak çalışmış ve halen Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nde görev yapmaktadır. Su kalitesi uzmanı olarak, su kaynaklarında ortaya çıkan kimyasalların araştırılması, su kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü konularında birçok projede görev almıştır. Aynı zamanda Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde doktora adayıdır. Çalışmaları su kalitesi, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisi, su politikasının geliştirilmesi konularına odaklanmaktadır.

Esra ŞILTU | General Directorate of State Hydraulic Works |
esrasiltu[at]dsi.gov.tr | ORCID: 0000-0003-2541-953X

Esra Şiltu is a senior environmental engineer and water quality expert with more than 10 years of experience in government sector. She got his B.S. degree in 2011 and M.Sc. degree in 2014 from Environmental Engineering Department of Middle East Technical University. She worked as an expert in DG Water Management in the Ministry of Agriculture and Forestry and she is currently working in General Directorate of State Hydraulic Works. As a water quality expert, she participated in many projects on investigation of emerging chemicals in water resources, prevention and control of water pollution. She is also a PhD candidate in Middle East Technical University, Ankara Türkiye. Her studies focuses on water quality, impact of climate change on water resources, development of water policy.

**Prof. Dr. Lütfi AKCA | Türkiye Su Enstitüsü |
lutfiakca[at]dsi.gov.tr | ORCID: 0000-0003-4098-9442**

Prof. Akça, lisans derecesini 1981 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden, yüksek lisans ve doktora derecelerini ise sırasıyla 1983 ve 1986 yıllarında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Su kaynaklarının geliştirilmesi, entegre su kaynakları yönetimi, su ve atıksu arıtımı konularında 40 yıllık deneyime sahiptir. 2007-2010 yılları arasında Çevre Yönetimi Genel Müdürü, 2010-2011 yılları arasında Çevre ve Orman Bakanlığı Müsteşarı olarak görev yapmıştır. Ardından 2011-2016 yılları arasında Orman ve Su İşleri Bakanlığı Müsteşarı Müsteşarı, 2022 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürü olarak görev yapmıştır. Halen Türkiye Su Enstitüsü Başkanlığı görevini yürütmektedir. Ayrıca 2018-2023 yılları arasında T.C. Cumhurbaşkanlığı Yerel Yönetim Politikaları Kurulu üyeliği yapmıştır. Çok sayıda hakemli makalesi, kitap bölümü ve konferans bildirisi bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Lütfi AKCA | Turkish Water Institute |
lutfiakca[at]dsi.gov.tr | ORCID: 0000-0003-4098-9442**

Prof. Akca got his B.S. degree from İstanbul Technical University Civil Engineering Department in 1981 and got his M.Sc. and PhD degrees from Environmental Engineering Department of İstanbul Technical University in 1983 and 1986, respectively. He has 40 years of experience on water resources development, integrated water resources management and water and wastewater treatment. He served as Director General of Environmental Management between State Hydraulic Works. Currently, he is the President of Turkish Water Institute.. Moreover, he was a member of Turkish Presidency Local Administration Policies Council between 2018 and 2023. He has numerous peer-reviewed articles, book chapters and conference proceedings.