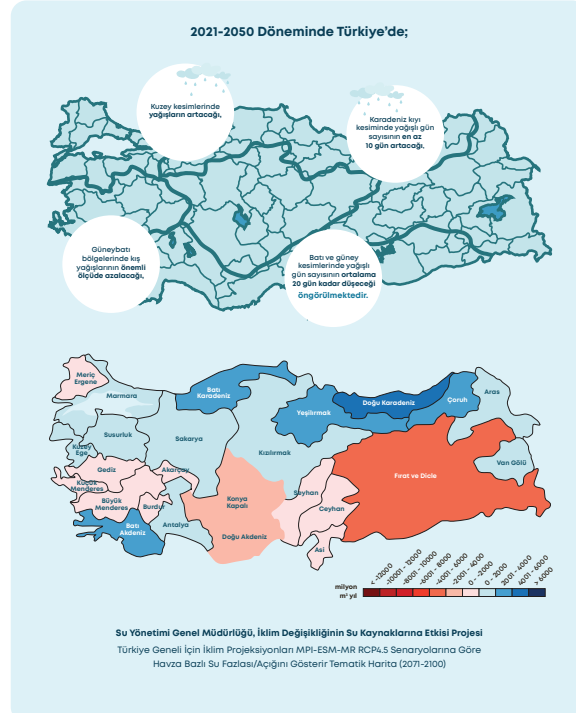


İklim Değişiyor, Su Varlıklarımız da...

Suyun Geleceği – İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi



İklim değışikliğı, "nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda ve/ya da değışkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değışiklikler" biçiminde tanımlanmaktadır¹. Günümüzde sözü edilen küresel iklim değışikliğı ise, fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değışiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı (H_2O (su buharı), CO_2 , CH_4 , O_3 , N_2O , CFC-11, HFC, PFC, SF_6) birikimlerindeki hızlı artışın doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi sonucunda yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışı ve iklimde oluşan değışiklikleri ifade etmektedir². Bu kapsamda Birleşmiş Milletler İklim Değışikliğı Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) iklim değışikliğı: "karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değışikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan bir değışiklik" biçiminde tanımlanmaktadır.³

Küresel ısınma sonucu ortaya çıkan küresel iklim değışikliğı, hidrolojik çevrimdeki sistemler ve süreçler arasındaki mevcut dengeyi etkilemektedir. Genel olarak, iklim değışikliğinin su kaynakları üzerinde yaratacağı önemli etkiler havzaların bulunduğu bölgelere bağılı olarak; yüzeysel su potansiyellerinde azalma ya da artış, yer altı akiferlerinin beslenmelerinde dolayısıyla boşalmalarında değışim, ekstrem akımların (taşkınlar ve kuraklık) sıklıklarında, görölme mevsimlerinde ve büyüklüklerinde değışim, değışen yağış rejimi, bitki örtüsü ve arazi kullanımlarının neden olduğu erozyon sorunları, kar suları ile beslenen akarsuların akış rejimlerinde farklılaşma, tarımsal su gereksinimlerinde artış şeklinde özetlenebilir⁴.

İklim değışikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri, Hükümetlerarası İklim Değışikliğı Paneli'nin (IPCC) 2022 yılında yayımlanan raporunda geniş bir kapsamda ele alınmaktadır. Buna göre, kabaca dünya nüfusunun (8 milyar kişi) yarısının en azından yılın bir bölümünde iklimsel ya da iklimsel olmayan nedenlere bağılı olarak ciddi su sıkıntısı çekeceğı tahmin edilmektedir. İnsan kaynaklı iklim değışikliğinin etkisiyle, etkili taşkınlara ve kuraklıklara neden olan aşırı hava olaylarının ortaya çıkma sıklığı ve şiddeti artmaktadır. İnsan kaynaklı iklim değışikliğı, 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 değışikliğinin etkisiyle artmaktadır. Son 40-60 yılda yaşanan ısınmaya bağılı olarak, her 10 yılda bir bahar taşkınlarının 10 gün öne geldiğı ortaya konulmuştur. 1970-2019 yılları arasında ortaya çıkan ekonomik kayıpların %31'ine taşkınlar sebep olmuştur. İklim değışikliğinin insanlar ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinin, kırılgan topluluklarca daha fazla hissedildiğı değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, tarımsal üretim ve enerji üretiminin de hidrolojik döngüdeki olumsuz değışikliklerden etkilendiğı 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 değışikliğı, tatlı su ekosistemlerini de olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, aşırı yağışlar ve aşırı hava olayları, su kaynaklı salgın hastalıkların sıklığını artırmaktadır. Suyu bağılı zararlarda ortaya çıkan değışimler, 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).⁵

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, çözünmüş 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).⁶

Türkiye, iklim değişikliği etkilerinden yoğun olarak etkileneceği tahmin edilen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır⁷. Türkiye üzerinde iklim değişimi çeşitli yönleri ile pek çok farklı çalışmada değerlendirilmiştir. Gerek yapılan analizler, gerekse geleceğe yönelik tahmin çalışmalarının büyük çoğunluğu en önemli iklim parametreleri olan sıcaklık, yağış ve ekstrem olaylar üzerine odaklanmıştır (Kadioğlu, 1997; Şen Z. , 1997; Türkeş, 1998; Türkeş, 1999; Önal & diğ., 2006; Önal & Semazzi, 2009; Bozkurt & diğ., 2011; Demir, 2011; Önal, 2012; Ünal & diğ., 2012; Toros, 2012; Şen & diğ., 2013; Kurnaz, 2014; Karaca & diğ., 2000; Tan & Ünal, 2003; Önal & Ünal, 2003; Ünal Y. , 2006; Ünal & Montes, 2006; Ünal & diğ., 2010; Ünal & diğ., 2013). İklim projeksiyonları, sıcaklık artışlarının içinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna kadar çok daha yükseleceğini ortaya koymaktadır.⁸

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).⁹

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 Bölgesinde 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.¹⁰

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). 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.¹¹

Türkiye'de iklim değişikliğinin su kaynaklarına, yer altı ve yer üstü sularına etkisi üzerine bir çalışma da Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığının "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi" kapsamında yapmış olduğu çalışmalarla ortaya konulmuştur. Projenin uygulama alanı tüm Türkiye'yi kapsayan 25 nehir havzası olup, projeksiyon dönemi 2015 ve 2100 yılları arasındadır. Projeksiyon çalışmalarının ilk aşaması olan iklim projeksiyonları kapsamında, tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 5. Değerlendirme Raporu'nun tabanını oluşturan CMIP5 arşivinden seçilmiş üç küresel modelin çıktıları ve RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları ile RegCM4.3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır. 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. İlk kez bu projede Türkiye için 10x10 km çözünürlükte 3 küresel iklim modeli sonuçları elde edilmiştir. Projeksiyon çalışmalarının ikinci aşaması olan hidrolojik projeksiyonlar kapsamında, Türkiye'de ilk kez tüm havzaların su potansiyellerinin ortak hidrolojik model ile hesaplanması sağlanmıştır. İklim modellerinin çıktılarıyla hidrolojik modeller çalıştırılarak, 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.¹²

Üç küresel iklim modeline ve her iki emisyon senaryosuna dayalı simülasyonların tamamının 2015-2100 projeksiyon döneminde mevsimsel ve yıllık ölçeklerde Türkiye üzerinde önemli bir ısınmayı işaret ettiği görülmektedir. 2015-2100 periyodunun ilk yıllarında bazı bölgelerde çok daha küçük sıcaklık değişimleri ve hatta bazı yıllarda soğumalar görülmekle birlikte ilerleyen yıllarda sera gazlarındaki artışın yarattığı iklim zorlamaları bölgesel iklim değişkenliğinden daha baskın şekilde sıcaklıkların artışını hızlandırmaktadır. Her iki senaryo durumunda da kış mevsimi sıcaklıklarının 2050 yıllarından sonra 1970-2000 dönemine nazaran en az 1°C fazla seyredeceği, her üç model tarafından da öngörülmektedir. Türkiye üzerinde özellikle 2091-2100 yılları arasında RCP4.5 senaryosunda sıcaklık artışları HadGEM2-ES, MPI-ESMMR ve CNRM-CM5.1 modelleri ile kast

edilen RegCM4.3 için sırasıyla 3,4°C, 2°C ve 2,5°C olarak bulunmuştur. Daha yüksek emisyon senaryosu olan RCP8.5 de ise bu sıcaklık artış değerleri sırasıyla 5,9°C, 4,5°C ve 4,3°C'dir. Türkiye genelinde sıcaklık artışları RCP8.5 senaryosunda 2050'li yıllara kadar RCP4.5 senaryosunun biraz üzerinde seyretmesine karşın 2050'li yıllardan sonra RCP8.5 senaryosu daha yüksek sıcaklık artışlarını göstermektedir. Sıcaklık artışları yaz ve ilkbahar mevsimlerinde, kış ve sonbahar mevsimlerinden daha yüksektir.¹³

Hidrolojik açıdan değerlendirildiğinde; Her üç iklim modeli ve iki senaryo sonuçlarına göre Türkiye'de toplam akışın referans döneme (referans dönemi yüzey akışı 186 milyar m³/yıl) göre azalacağı öngörülmektedir. 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 tahmin edilmektedir. Aynı şartlarda MPI-MSM-MR iklim modeli çıktılarıyla gerçekleştirilen hidrolojik model projeksiyonlarından elde edilen medyan, brüt su potansiyeli azalma oranının %15-20 aralığında kalacağı tahmin edilmektedir. MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre bütün dönemlerde en kayda değer su açığının gözlemlendiği havzalar ise genel itibarıyla Fırat Dicle, Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzalarıdır. Konya Kapalı Havzası'nda RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES modeli 2015-2100 dönemi için yağışta 10 ile 30 mm arasında değişen düşüşler öngörmüştür. Model simülasyonları Türkiye'nin kuzeyinde yer alan havzalarda iklim rejiminin referans döneminden daha yağışlı olacağını öngörmektedir.¹⁴

Model sonuçlarına göre, sadece HadGEM2-ES iklim modeli çıktılarıyla yönetilen simülasyonlarda, en az 3 on yıllık dönemde su açığı ~6.000 milyon m³/yıl düzeyinde olabileceği tahmin edilmektedir. HadGEM2-ES modeli ile RCP8.5 senaryosu için yürütülen hidrolojik modelleme simülasyonlarında da, asgari 6 on yıllık dönemde ~7.000 milyon m³/yıl düzeyinde su açığı beklentisi bulunmaktadır. MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin her iki senaryo için ürettiği sonuçlar benzerlik göstermekte ve 2015-2100 döneminde ülkemizin toplam su ihtiyacının karşılanabileceği ve su açığı olmayacağı öngörülmektedir. Su potansiyeli değişimi havzalar özelinde değerlendirildiğinde ise, tüm senaryolar ve projeksiyon dönemlerinde önemli oranda su açığı tahmini ile Fırat-Dicle Havzası öne çıkmaktadır. Öte yandan tüm dönemlerde olmasa dahi en kayda değer su açığının gözlemlendiği havzalar ise genel itibarıyla Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzalarıdır. Türkiye'nin Fırat-Dicle Havzasından mansap ülkelerine su bırakmayı taahhüt ettiği miktarlar da dikkate alınarak, su açığı/fazlası durumunu değerlendirildiğinde, Fırat-Dicle havzasında 2015-2100 döneminde 2-12 milyar m³/yıl'a ulaşan mertebelerde su açığının beklendiğini görülmektedir.¹⁵

Projede, 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.¹⁶

Tarım ve Orman Bakanlığınca iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi kapsamında yakın dönemli etkileri açısından yapılan açıklamalara göre ise 2030'lu yıllara gelindiğinde Türkiye su

potansiyelinde %20 mertebelerinde azalış olacağı, su potansiyelinin 112 milyar m³/yıl'dan 91 milyar m³/yıl mertebelerine gerileyeceği ifade edilmektedir.¹⁷

Kaynaklar:

- 1.MGM, 2015. Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf
2. İklim Değişikliği Başkanlığı, 2024. Küresel İklim Değişikliği nedir? <https://iklim.gov.tr/sss/temel-kavramlar>
3. İNHAK, 2024. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi. https://inhak.adalet.gov.tr/Resimler/Dokuman/2312020100208bm_41.pdf
4. Fıstıkoglu, O., Biberoglu, E., 2008'e atfen Karaman, S. Gökıap, Z. 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/412801>
5. Türkiye Bilimler Akademisi, 2023. İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-56-6.pdf
6. Türkiye Bilimler Akademisi, 2023. İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-56-6.pdf
7. Türkiye Bilimler Akademisi, 2023. İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-56-6.pdf
8. OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
9. OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
10. Türkiye Bilimler Akademisi, 2023. İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-56-6.pdf
11. Türkiye Bilimler Akademisi, 2023. İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-56-6.pdf
12. OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
13. OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
- 14.OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
15. OSB, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu. www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
16. ÇŞB, 2019. Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği. <http://suyonetimi.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/88/2019/10/iklimin-Projesi-Egitim-Serisi-Modul-8.pdf>
17. TOB, 2023. Su Verimliliği Seferberliği, Su Verimli Kentler Sunumu. <https://www.suverimliliği.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/08.pdf>