

21. YÜZYILIN EN BÜYÜK TEHDİDİ: KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Dr. Serhat ŞENSOY

Giriş

Hava durumu belirli bir yerde ve kısa bir süre içinde etkin olan atmosfer koşullarıdır. Bir yerdeki hava durumu tanımlanırken en üstün ve etkin olan iklim faktörü öne çıkar. Örneğin, soğuk hava denildiğinde bu terim bulutluluk, rüzgâr vb. de kapsayabilir. Ancak o andaki üstün olan faktör düşük sıcaklıktır. (Şensoy, Demircan, Ulupınar ve Balta, 2008).

İklim, geniş bölgelerde ve çok uzun zaman için aynı kalan ortalama hava şartlarıdır ve bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini tayin eder. Ancak bu genel karakterleri belirtirken önemli günlük hava ekstremlerini de göz ardı etmemek gerekir (Şensoy vd, 2008). Örneğin, Ankara’da bir yaz gününde sabah hava açık ve sakın olduğu halde, öğle saatlerinde sıkıcı bir sıcak ortalığı basar, hava bulutlanır, öğleden sonra fırtınalı orajlı bir yağış görülür. Genellikle dolu yağar. Bu orajlı bir hava tipidir. Fakat bu hava tipi yaz boyunca hâkim olan tip değildir. Ankara’da yazlar genel olarak açık, az bulutlu, sıcak ve kuzeyden hafif rüzgârlı geçer. Bu iklim karakterini belirtmek için “Ankara yazın sıcak ve kuraktır” denilir. Orajlı hava iklimin içinde bir ekstrem hava halidir (Şensoy vd, 2008).

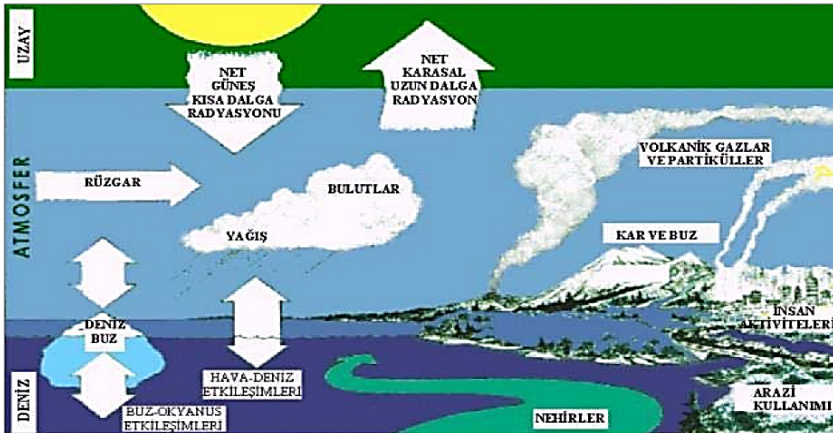
Ekvatorial bölge iklimleri dikkate değer ölçüde monoton karakter gösterir. Günlük hava durumları, hatta iklim tam bir isabetle tahmin edilebilir. Bu bölgelerde öğleden sonra bulutlar oluşur ve yağmur yağar, gece hava tekrar açar. Bu durum bütün bir yıl aynı olduğu gibi

yıllar arasında da çok fazla değişiklik olmaz. Yani ekvatorial bölgelerde hava durumu ile iklim birbirine benzemektedir. Bununla birlikte bu bölgelerde bazen kısa süreli tropikal siklonlar (tayfun) çok zararlı olabilir. (Şensoy vd, 2008).

Hava durumu ve iklim arasındaki farkı belirtmek bakımından orta enlemler veya ılıman kuşak daha belirgin bir örnek teşkil eder. Bu kuşakta ortalamalar, iklimin ne fazla sıcak ne de soğuk olduğu hissini uyandırır. Bu nedenle orta enlemlere ılıman kuşak adı verilmiştir. Ancak buralarda günlük hava şartları o kadar zıt ve değişkendir ki çok kısa bir süre içinde kurak ve sıcak günleri çok soğuk ve yağışlı günlerin takip ettiği, sonra yine havanın açıp ısındığı görülür. Bu 3-5 günlük karışık hava durumları özellikle bahar aylarında ülkemizde de görülür. Bu kuşağın iklimini tarif ederken uzun yıllara ait ortalama şartların ılıman olduğunu söylemek yeterli değildir. Zıt ve değişken hava tiplerinin de bu iklimin karakteri olduğunu eklemek gerekir (Şensoy vd, 2008). İklim değişikliği ise karşılaştırabilir zaman periyotlarında gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucu iklimde oluşan ilave değişikliklerdir UNFCCC (1992).

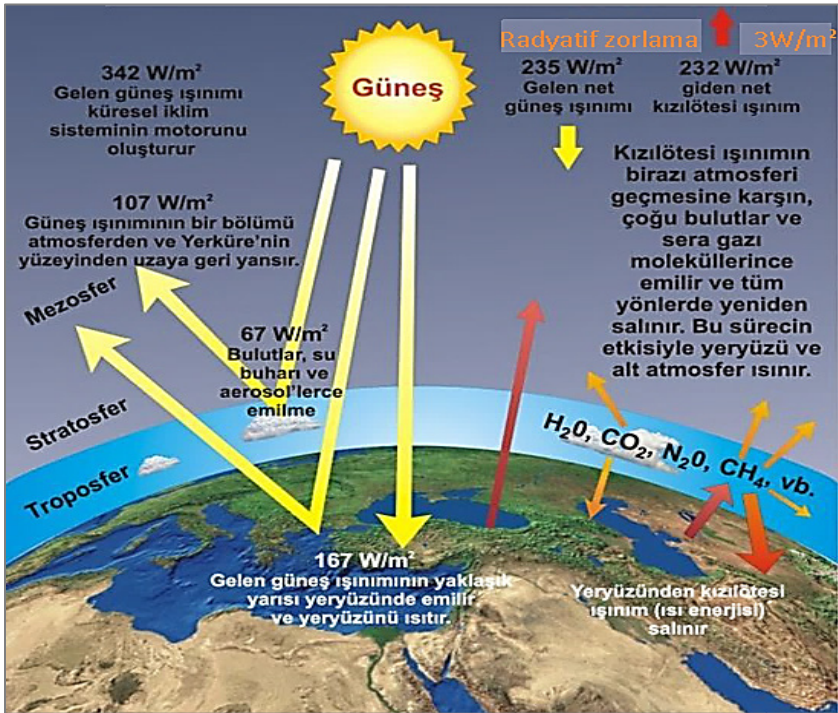
İklim sistemimiz, iç ve dış kuvvetlerle birlikte, Atmosfer, Kriosfer, Biyosfer, Hidrosfer ve Litosfer arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan etkileşimlerden oluşur (Şekil 1).

Şekil 1. İklim Sistemi (Şensoy vd, 2008).



Güneşten gelen enerji dünya iklim ve havasını kontrol eder. Isınan yer yüzeyi, aldığı enerjinin bir kısmını atmosfere geri verir. Atmosfer, kısa dalga güneş radyasyonu için geçirgendir, bu ışınların bir kısmı ise bulutlardan ve kar örtüsünden albedo olarak uzaya geri yansır. Genel olarak, yüzeyin güneş enerjisiyle ısınması, tropik bölgelerde yüksek, kutup bölgelerinde ise düşüktür. Fakat farklı türdeki kara ve su yüzeylerinin dağılımı, önemli bölgesel farklılıklara sebep olur. Yüzey enerjisinin bir kısmı biyolojik işlemler için kullanılırken, büyük bir kısmı da iletim ve konveksiyon ile üstteki atmosferin doğrudan ısıtılması ve suyun buharlaşması yoluyla uzun dalga radyasyon olarak atmosfere geri verilir (Şekil 2).

Şekil 2. Sera etkisi, bileşenleri ve çalışma şekli (Türkeş, 2010).



Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Kloroflorokarbonlar (CFC) ve Nitröz oksit (N₂O) gibi atmosferik sera gazları (GHG) ile bulutlar giden uzun dalga radyasyonunun bir kısmını hapsederek doğal sera

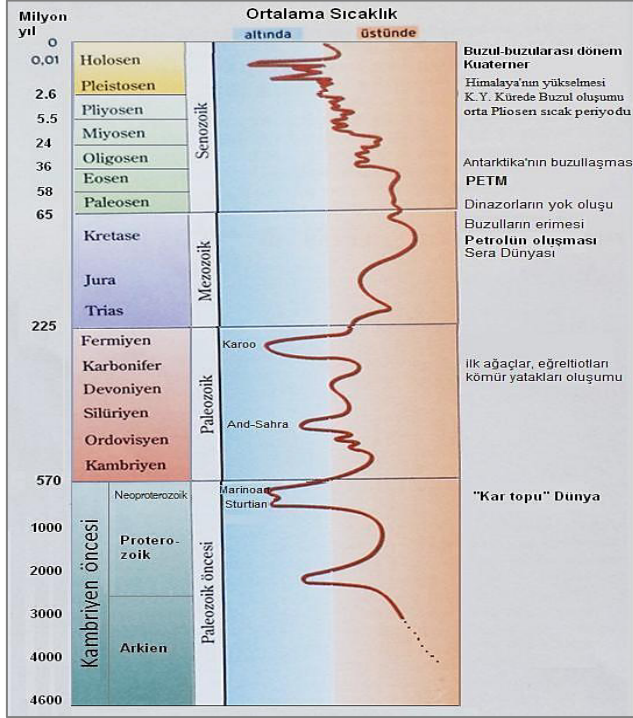
etkisi sağlarlar. Sera etkisi dünya için gerekli bir mekanizmadır, onsuz dünya sıcaklığı -18°C olacaktı. Sera gazları atmosfere kaçan enerjinin bir kısmını yakalayarak Dünya ortalama sıcaklığını sanayi öncesi döneme (1850-1900) göre yaklaşık 14°C civarında tutar. Bu dengein korunabilmesi için Dünya üzerine gelen net güneş radyasyonu ile giden kızılötesi radyasyon miktarlarının birbirine eşit olması gerekir. Günümüzde olduğu gibi gelen ışın giden ışıdan fazla ise, pozitif radyatif zorlama söz konusu olur (Şekil 2). Sanayi öncesi dönemde 280 ppm olan atmosferik CO_2 seviyesi günümüzde insan etkinlikleri sonucu 415 ppm'e ulaşmıştır (URL 1). Atmosfere salınan ilave sera gazları dünyanın enerji dengesini bozarak ($235-232=3\text{W/m}^2$) pozitif radyatif zorlamaya sebep olmuştur. Bunun sonucu olarak dünya ortalama sıcaklığı sanayi öncesi döneme göre $1,2^{\circ}\text{C}$ ısınarak $15,2^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır.

Geçmişten Günümüze Dünyada İklim Değişikliği

Vekil (*proxy*) kayıtlardan dünyanın yaklaşık 4,5 milyar yıl önce oluştuğu düşünülmektedir. Binlerce ya da milyonlarca yıl önce herhangi bir yerde Dünya'nın günlük hava durumunun tam olarak nasıl olduğu bilinmemekle birlikte kayalarda, buzullarda, ağaçlarda, mercanlarda ve fosillerde kalan vekil deliller geçmişte Dünya'nın iklimi konusunda bilgiler vermektedir. Vekil ipuçları Dünya ikliminin daha önce de birçok kez değiştiğini göstermektedir (Şekil 3).

Jeolojik dönemlerden Paleozoik öncesi ve Paleozoik dönemlerinde Dünya dört kez büyük buzul dönemleri geçirmiştir. Yine bu dönemde ilk ağaçlar, eğreltiotları ve kömür yatakları oluşmuştur. Mezozoik döneminde ise Dünya sera gibi ısınmış, buzullar erimiş, petrol yatakları oluşmuş, Güney Amerika'ya çarpan büyük bir meteor sonucunda dünya birkaç yıl toz bulutunda kaldığı için dinozorlar besin bulamamışlar ve nesilleri yok olmuştur. 2,6 milyon yıl öncesinden günümüze kadar süren Kuaterner döneminde ise dünya buzul-buzularası denen yüzlerce soğuk ve sıcak dönemler geçirmiştir.

Şekil 3. İklim Kronolojisi (Denhez, 2007).



Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Sentez Raporundan elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir (IPCC, 2014):

- İklim sistemi üzerindeki insan etkisi açıktır ve sera gazlarının son antropojenik emisyonları tarihteki en yüksek emisyonlardır. Son iklim değişikliklerinin insan ve tabii sistemler üzerinde yaygın etkileri olmuştur.
- İklim sistemindeki ısınma şüphesizdir. Birleştirilmiş kara ve okyanus yüzey sıcaklığı verileri 1880-2012 yılları arası sıcaklık eğiliminin 0,85°C olduğunu göstermektedir. Kar ve buz miktarları azalmış ve deniz seviyesi yükselmiştir.
- 1850 yılı itibariyle Dünya yüzeyinde son üç on yılın her biri, önceki on yıldan daha sıcak olmuştur. Kuzey Yarımkürede, 1983-2012 yılları arası son 1400 yılın en sıcak 30 yılı olmuştur. Okyanus ısınması, iklim sisteminde depolanan enerji artışını

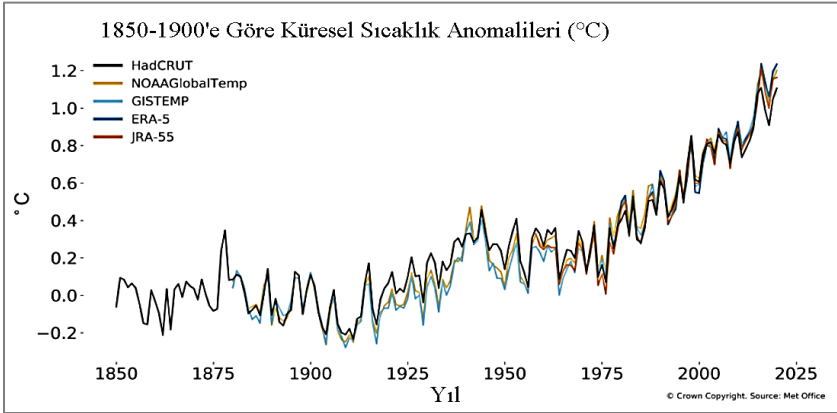
tetiklemektedir. 1971-2010 yılları arasında biriken enerjinin %90'ı okyanuslarca tutulmuştur.

- Son yirmi yılda, Grönland ve Antarktika buz tabakaları kütle kaybetmektedir. Buzullar neredeyse bütün dünyada küçülmeye devam etmekte ve Arktik deniz buzu ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsünün boyutları azalmaya devam etmektedir.
- 1901'den 2010'a kadar olan dönemde, küresel ortalama deniz seviyesi 19 cm artmıştır. Deniz seviyesi yükselme oranı önceki iki bin yıldan daha büyük olmuştur.
- Karbondioksit konsantrasyonları, sanayi öncesi zamanlardan bu yana, öncelikle fosil yakıt emisyonlarından ve ikincil olarak arazi kullanım değişikliği sebebiyle %40 artmıştır. Okyanuslar insan kaynaklı CO₂'nin yaklaşık %30'unu emmekte fakat bu da okyanusları asitleştirmektedir.
- Sanayi öncesi döneme (1850-1900) kıyasla, küresel yüzey sıcaklık değişiminin 21. yüzyıl sonlarına doğru (2081-2100) 2°C'yi aşması beklenmektedir. Bu durum iklim sisteminde ciddi hasarlara sebep olması muhtemeldir.
- 1950'den bu yana birçok aşırı hava ve iklim olayında önemli artışlar gözlemlenmiştir. Bu değişikliklerin bazıları, soğuk hava şartlarında azalma, sıcak hava uç değerlerinde artış, deniz seviyelerinde artış ve şiddetli yağışlarda artış şeklindedir. Bu değişikliklerden bazıları insan etkileriyle ilişkilendirilmiştir.
- İklim değişikliğinin gıda güvenliğini etkilemesi beklendiğinde ve insanları göç etmek zorunda kalabilir.
- Karbon bütçemizin (1900 Gt CO₂) %65'i 1870 ile 2011 yılları arasında kullanılmış ve 2°C'ye ulaşmak için sadece 1000 Gt kalmıştır.
- Yıkıcı sonuçları durdurmak için hızlı hareket etme ihtiyacı vardır. Muhtemel ısınmayı 2°C ile sınırlandırmak için gereken emisyon azaltımlarını elde edecek tedbirler mevcuttur (2050'ye kadar %40-70 azaltım ve 2100'de net sıfır emisyon).

Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından yapılan küresel iklim analizlerinin ilk sonuçlarına göre, 2020 yılı rekor seviyedeki en

sıcak üç yıldan biri olmuştur. 2020 yılında küresel ortalama sıcaklık yaklaşık 14,9°C olarak kayıtlara geçmiştir. Bu değer ile 2020 yılı sanayi öncesi (1850-1900) döneme göre 1,2 ($\pm 0,1$)°C daha sıcak gerçekleştirmiştir (Şekil 4).

Şekil 4. Küresel Ortalama Sıcaklık Sapması (WMO, 2021).



WMO tarafından incelenen beş farklı merkeze ait küresel veri setlerinin tamamında, 2011-2020 döneminin en sıcak on yıl olduğu ifade edilmiştir. En sıcak altı yıl 2015'ten günümüze kadar gerçekleşmiş olup 2016, 2019 ve 2020 yılları ilk üç sıralamada yerini almıştır. Sibirya'da meydana gelen sıcak hava dalgaları ile orman yangınları, düşük Arktik deniz buzul hacmi ve rekor kıran Atlantik kasırga sezonu 2020'nin öne çıkan iklim olayları arasında bulunmaktadır. Sıcaklık artışı, iklim değişikliğinin göstergelerinden sadece biridir. İklim değişikliğinin diğer göstergeleri sera gazı konsantrasyonları, okyanus ısı kapasitesindeki ve okyanusun asitlik (pH) seviyesindeki değişim, küresel ortalama deniz seviyesi, buzul kütlesi, deniz buz hacmi ve aşırı iklim/meteorolojik olaylar olarak sıralanabilir. Özellikle son dönemde tropik fırtınaların, şiddetli yağış ve sellerin, sıcak hava dalgaları ile kuraklıkların ve orman yangınları gibi ekstrem (aşırı) iklimsel ve meteorolojik olayların şiddet ve sayıları artmıştır.

Dünyada İklim Değişikliği Krizi

Hızla artan Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,6 milyara ulaşması beklenmektedir. Daha fazla insan gıda, temiz su ve barınma talep

etmektedir. Buna karşın Dünyada tarım alanları daralmaktadır. İnsan baskısı küresel çevreyi de değiştirmektedir. Ormanlar tarım arazilere dönüşmekte, taşkın vadilerine bile şehirler yapılmaktadır. İnsan faaliyetleri, çölleşme, ormansızlaşma, tuzlanma ve toprak erozyonu gibi olumsuz etkilere neden olmakla birlikte yeniden ağaçlandırma, sulama ve peyzaj yönetimine de katkıda bulunmaktadır. İnsan kaynaklı arazi kullanım değişiklikleri, mevcut ve gelecekteki çevremizi kaçınılmaz olarak değiştirecektir (Şensoy, Coşkun, Türkoğlu ve Çiçek, 2018).

IPCC projeksiyonlarına göre, önümüzdeki on yıllarda iklim değişikliği, özellikle Akdeniz, Avustralya, Güney Afrika, Güney Amerika ve Karayipler’de 10 yıl veya daha uzun süren büyük kuraklıkları tetikleyecektir. İklim değişikliğinin tarım ve su kaynakları gibi kilit ekonomik sektörler üzerindeki etkileri, gıda güvenliği üzerinde derin etkilere sahip olabilir. İklim değişikliği, Covid-19 ve çoğunlukla kuraklık, küresel tarımsal arzı şimdiden etkiliyor ve muhtemelen gıda fiyatlarını arttıracaktır. Küresel gıda uzmanları, iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar gıda fiyatlarını iki katına çıkarabileceği konusunda uyardı. İklim değişikliği gıda güvenliğini beş boyutta etkileyecektir: Uygunluk, erişilebilirlik, kullanım, üretim ve dağıtım kanalları, değişen satın alma gücü ve pazar akışları. Daha sık ve daha yoğun olacak ekstrem olaylarının gıda güvenliği üzerine uzun vadeli olumsuz etkileri olacaktır (Şensoy vd. 2018).

Mercan Üçgeni (*coral triangle*) olarak bilinen Endonezya, Filipinler, Malezya, Papua Yeni Gine, Solomon Adası, Doğu Timor’da yaklaşık 384 milyon insan balıkçılık yapmaktadır. Okyanus sıcaklığının yükselmesi ve CO₂ Emilimi sonucu deniz suyunun asitleşmesi nedeniyle son yıllarda beyazlayan ve yok olan mercan resifleri nedeniyle balıklar azalmaktadır. İnsanlar balık bulamazlarsa, bu onları yerinden olmaya zorlayacaktır. Mercan Üçgeni de dünyanın büyük bir krizi olabilir. Halen gıda güvensizliğine karşı savunmasız olan tarıma dayalı geçim sistemleri, artan mahsul yetmezliği, yeni ortaya çıkan zararlı ve hastalıklar, uygun tohum ve ekim malzemesi eksikliği ve çiftlik hayvanlarının kaybı gibi nedenlerle acil risk altındadır. Kıyı bölgelerinde, taşkın ovalarında, dağlarda, kurak alanlarda ve Kuzey

Kutbu'nda yaşayan insanlar en fazla risk altındadır. Dolaylı bir etki olarak, kentsel alanlardaki düşük gelirli insanlar, gıda güvensizliği riski altında olacaktır. Gıda sistemi, iklim değişikliğinin tetiklediği olası iç ve uluslararası göç, çatışmalar ve sivil huzursuzluklardan da etkilenecektir. İklim değişikliğine uyum ve zarar azaltma önlemlerinin genel üretim ve dağıtım mekanizmasına entegre edilmesi gerekmektedir (Şensoy vd., 2018).

Yakın tarihli bir araştırma, Sahra altı Afrika'nın artan nüfusunu beslemek için 2050 yılına kadar üç kattan fazla tarımsal üretime ihtiyaç duyulacağını ortaya koyuyor. Bu ulaşılması zor hedef, su arzının düşeceği tahmin edilen Güney Afrika ve batı Sahra gibi yerlerde daha da zorlaşacaktır (Şensoy vd., 2018). Su kıtlığı 2050 yılına kadar tropik ve orta enlemlerde Gayri Safi Yurt İçi Hasılayı %6 azaltabilecektir (WB, 2021).

İklim Değişikliği ve Göç

1990 yılından bu yana yayınlanan IPCC raporlarına göre iklim değişikliğinin en büyük etkilerinden biri de insan göçü olacaktır. Günümüzde bu etki iklim mültecisi sorunu olarak ortaya çıkmıştır. Ancak Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği'ne (UNCHR) göre, iklim değişikliği nedeniyle sınırların ötesine taşınan insanlar, "zulüm, savaş veya şiddet nedeniyle ülkesinden kaçmak zorunda kalan kişiler" şeklindeki mülteci tanımına uymayabilir. 2021 yılının başlarında, zorla yerinden edilenlerin sayısı 82,4 milyona ulaştı (UNCHR, 2021). Ayrıca, ülke içinde yerinden edilmiş milyonlarca insan sınırı geçmemiş, evdeymiş gibi varsayılıyor. Uluslararası Göç Örgütü (IOM) çevresel olarak yerinden edilmeyi, "ağırlıklı olarak çevrede, yaşamlarını veya yaşam koşullarını olumsuz yönde etkileyen ani bir değişiklik nedeniyle, alıştıkları evlerini terk etmek zorunda kalan veya başka bir yerde yaşamayı tercih eden kişi veya kişi grupları" olarak tanımlamaktadır (IOM, 2021). Peki, göçlere neden olan iklim faktörleri nelerdir?

- Barınma ve geçim kaynaklarını tahrip eden ve insanların yer değiştirmesine neden olan kasırga ve siklon gibi ekstrem olayların yoğunlaşması,

- Tarımsal üretimi (bitkiler, hayvancılık) etkileyen, temiz su ve gıda güvenliğini azaltan artan ısınma ve kuraklık,
- Yükselen deniz seviyeleri nedeniyle yaşanmaz hale gelen kıyı bölgeleri. Alçak rakımlarda 600 milyondan fazla insan yaşamaktadır.
- Doğal kaynaklar üzerindeki rekabet, şiddetli çatışma riski.

İnsanlar bu durumlara uyum sağlamaya çalışırlar ancak birçoğu hayatta kalmak için başka bir yere taşınacaktır. UNHCR'ye göre, 2008'den bu yana her yıl 26,4 milyon kişi aşırı olaylar nedeniyle yerinden edildi. Ülke İçinde Yerinden Edilme İzleme Merkezi (IDMC), 2015 yılında 27,8 milyon kişinin çatışma, şiddet ve afet nedeniyle yerinden edildiğini açıkladı (IOM, 2021). Bu, neredeyse her saniye bir kişinin bir felaket nedeniyle yerinden edildiği anlamına gelmektedir. 2011'den 2012'ye kadar Somali'de kuraklık, 2010-2012 yılları arasında Pakistan'da sel felaketleri, 2015'te Nepal'de deprem, çok sayıda insanı evsiz, temiz sususuz ve temel ihtiyaçlarından yoksun bıraktı. Filipinler'de 2013'te meydana gelen Haiyan Tayfunu nedeniyle 4 milyon kişi yerinden edildi (Şensoy vd., 2018).

Hareketlilik, Aralık 2010'da Cancun'da düzenlenen UNFCCC'nin 16. COP'si tarafından kabul edildiği gibi, iklim değişikliğine uyum sağlamanın bir şeklidir. Karar, üç tür hareketlilik tanımlamıştır: İklim değişikliğine bağlı yerinden edilme, göç ve planlı yer değiştirme. Göçün gönüllü olduğu varsayılırken, 'yerinden olma' terimi zorlamayı ima eder; insanlar evlerini terk etmek zorunda kalmaktadır. Adaptasyon ve Afet Riski Azaltma (DRR), insanların göç etme ihtiyacını azaltmaya yönelik adımları içerebilir. Ulusal Uyum Eylem Programları (NAPA), en temel olarak küçük ölçekli projeler aracılığıyla Az Gelişmiş Ülkelerin (LDC'ler) uyum ihtiyaçları belirlenmekte ve uyum sorunlarına sınırlı da olsa çözüm aranmaktadır.

Yer değiştirme, şiddeti ve hatta çatışmayı tetikleyebilecek güvenlik riskleri oluşturacaktır. Deniz seviyesinin yükselmesinden etkilenen Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri, uluslararası hareketi de içeren yeniden yerleşim planına ihtiyaç duymaktadır. Kaynaklar kısılaştıkça, diğer ülkelere göç etme baskısı artacaktır. İklim değişikliğinin olumsuz etkileri nedeniyle Tuvalu, Kiribati, Samoa, Solomon

Adaları, Maldivler, Mauritius, Haiti, Marshall Adaları gibi Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri'nde tüm arazi yüzeyinin yok olma riski bulunmaktadır (Şensoy vd., 2018).

Tuvalu-Yeni Zelanda anlaşması, uluslararası göç hareketlerine güzel bir örnektir. Tuvalu, Pasifik Okyanusu'nun güneybatısında yer almaktadır. Dünyanın en küçük ve en izole ada devletlerinden biridir. Toplam arazi alanı 26 km² ve nüfusu yaklaşık 11.000 kişidir. Adaların ortalama yüksekliği 2 m'den azdır. Akarsu veya nehir yoktur. Toplam yağış miktarı 3000 mm'den fazladır. Tuvalu'lar balıkçılığa çok bağımlıdır, ancak mercanların beyazlaması nedeniyle balıkçılık risk altındadır. Tuvalu'lar da deniz seviyesinin yükselmesi riskiyle karşı karşıyadır. Bu riskler nedeniyle Tuvalu, iklim değişikliğine uyum projesi kapsamında Yeni Zelanda ile anlaşma imzaladı. Yeni Zelanda, iklim mültecisi olarak yılda 75 Tuvalu'yu alan 30 yıllık bir göçmenlik antlaşmasını kabul etmiştir (Şensoy vd., 2018).

Yüzyılın En Büyük Tehdidi: Küresel İklim Değişikliği

Sanayi Devrimi sonrasında gelişen ve 20. yüzyılın son çeyreğinden günümüze ivme kazanan iklim değişikliklerinin başlıca göstergeleri şu şekilde özetlenebilir:

- Küresel ortalama sıcaklıklar sanayi öncesi dönem ortalamalarına (1850-1900) göre yaklaşık 1,2°C artmıştır.
- 1980'lerden günümüze, küresel her 10 yılın ortalama sıcaklığı, bir önceki 10 yıldan daha sıcak olmuştur. En sıcak 6 yıl 2015-2020 arasındadır.
- Atmosferdeki CO₂ seviyesi 417 ppm ile tarihteki en yüksek seviyesine ulaşmıştır.
- Buzullardaki erimenin en önemli göstergesi olan Arktik deniz buzulları, 1979'da 7,05 milyon km² bir alana sahipken, 2020 yılında 3,92 milyon km² alana kadar gerilemiştir.
- Küresel deniz seviyesi 1993'ten günümüze yaklaşık 95 mm yükselmiş olup, yıllık artış oranı yaklaşık 3,3 mm. dolayındadır (WMO, 2021).

IPCC 6. Değerlendirme Raporuna 1. Çalışma Grubu (WGI) Katkısı olan "İklim Değişikliği 2021: Fiziksel Bilim Temeli" Raporu 9 Ağustos

2021 tarihinde bir basın toplantısı ile dünya kamuoyuna açıklanmıştır. 66 ülkeden 234 yazarın 5 yıllık çalışmasının sonucu olan raporda, 14.000 bilimsel makale değerlendirilmiş olup 3949 sayfadan oluşmaktadır. Raporun en önemli bulguları şunlardır:

- İklimdeki değişimin daha önceki bin yıllarda benzeri görülmemiş şekilde geniş çaplı, hızlı ve yoğunluğunu artırıcı bir şekilde olduğu,
- İnsan faaliyetlerinin sebep olduğu iklim değişikliğinin sıcak hava dalgaları, şiddetli yağışlar ve kuraklıkların daha sık ve şiddetli olmasına sebep olduğu,
- İklim sisteminde gerçekleşen deniz seviyesinin yükselmesi gibi bazı değişikliklerin geri dönüşü olmamakla birlikte, ısınmayı sınırlandırarak bazı değişikliklerin yavaşlatılabilir ya da durdurulabilir olduğu,
- İklim değişikliği kutuplardan, dağların tepesine ve ormanlardan okyanusların dibine birçok alanı çeşitli yollarla etkilediği, değişikliklerin daha fazla ısınma ile daha da artacağı,
- Acil ve geniş çaplı sera gazı emisyon azaltımı yapılamaz ise sıcaklık artışını 1,5°C'de sınırlandırmanın mümkün olmayacağı,
- Soğuk mevsimlerin kısalacağı, yaz mevsimlerinin uzayacağı,
- Kuzey Kutbu' nun 2050'den önce en az bir kez Eylül ayında buzsuz kalabileceği,
- İklim değişikliği kaynaklı afetlerin sayısı önümüzdeki on yıllarda daha yaygın görüleceği, şeklindedir (IPCC, 2021).

Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye'ye Olası Etkileri

Ülkemiz iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en fazla görüldüğü Akdeniz Havzasında yer almaktadır. Günümüzde bütün Dünyada olduğu gibi ülkemizde de iklim değişikliğinin etkileri görülmeye başlanmıştır. Küresel iklim değişikliği su, sağlık, tarım ve gıda güvenliği, enerji, turizm, ulaştırma vb. sektörleri etkilemesi yanında sıcak hava dalgaları, şiddetli yağış, sel, kuraklık gibi şiddetli hava olaylarının frekans ve şiddetini de artırarak ülkemizdeki doğal kaynakları ve yaşamımızı aşağıdaki şekillerde, olumsuz yönde etkilemeye devam edecektir:

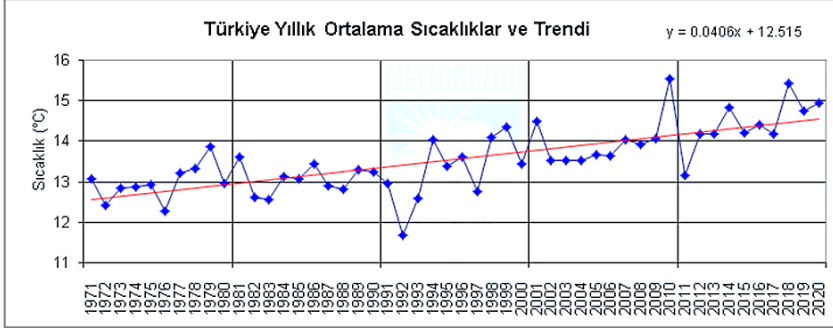
- Karadeniz Bölgesi hariç kış yağış miktarlarında azalma, buharlaşma miktarlarında artışlar,
- Yağışların mevsimsel dağılımı (kışın azalırken yazın artmaktadır) ve şiddetlerinde değişiklikler, ani sellerde, özellikle şehir sellerinde artışlar,
- Akarsuların debilerinde azalma, pik zamanlarında değişiklik,
- Ülke genelinde kuraklığın sıklığı ve şiddetinde artışlar, ağaç yaş halkalarında daralma
- Su stresinde artış, yerel su kaynağının paylaşımında sorunlar,
- Yüksek basınç kuşağının kuzeye kayması ile ülkemizde uzun süreli kuraklıklar, orman yangınlarında, sıtma ve kene gibi hayvanlardan insanlara bulaşan (zoonoz) hastalıklarda ve tropikal hastalıklarda artışlar,
- Kuş Cenneti ve benzeri milli parklarda ekosistem farklılaşması, kuşların göç yolları ve konaklama yerlerinin değişmesi,
- Ağrı, Cilo, Süphan ve Kaşgar dağlarındaki buzulların giderek azalması, Erciyes ve Aladağlardaki buzulların ise yok olma tehlikesi,
- Sıcak havayı ve suyu seven tropikal bitki ve balık türlerinde artışlar,
- İklim göçleri ve mülteci problemleri,
- Sanayi, fosil yakıt ve ulaşımdan kaynaklanan hava kirleticilerinde artışlar.

Sonuç olarak, ülkemiz coğrafyasında su azalmakta, Karadeniz Bölgesi dışında yağışların miktar ve dağılımı düzensizleşmekte, bunun sonucu olarak da; büyükşehirlerin ve tarımsal üretimin ihtiyacı olan su miktarının karşılanmasında zaman zaman sıkıntılar yaşanmaktadır. İçme, kullanma ve sulama suyu kalitesi, gün geçtikçe artan sanayi ve diğer çevre kirleticileri nedeniyle düşmektedir. Küresel ısınmanın önüne geçilememesi durumunda Ülkemiz, kuraklığın şiddetini çok yakın bir zamanda bugünkünden çok daha fazla hissedecektir (ÇŞİDB, 2016).

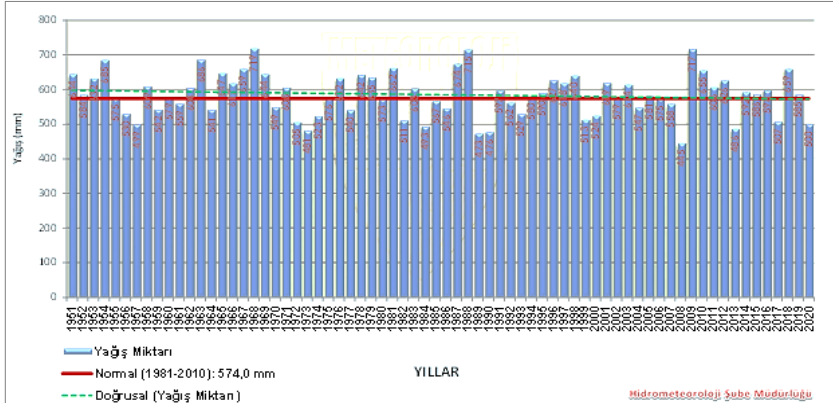
Türkiye Sıcaklık ve Yağış Değişimleri

Son 50 yılda Türkiye yıllık ortalama sıcaklıkları 12,5°C' den 14,5°C' ye yükselmiştir. Ülkemiz yıllık ortalama sıcaklıklarında 4°C/100 yıl şeklinde artış eğilimi söz konusudur. Özellikle 1998 yılından itibaren ortalama sıcaklıklarda artış yaşanmaktadır (Şekil 5) (TBMM, 2021). Ülkemizde 1951-2020 dönemini kapsayan 70 yıllık yağış değişimleri incelendiğinde ise, yaklaşık 10-12 yılda bir yağışlardaki azalmaya bağlı olarak farklı seviyelerde meteorolojik açıdan kurak periyodun yaşandığı gözlemlenmektedir. Yağışlarda 36mm/100 yıl şeklinde azalış eğilimi söz konusudur (Şekil 6) (TBMM, 2021).

Şekil 5. Türkiye Yıllık Ortalama Sıcaklıklarının Zamansal Dağılımı ve Eğilimi



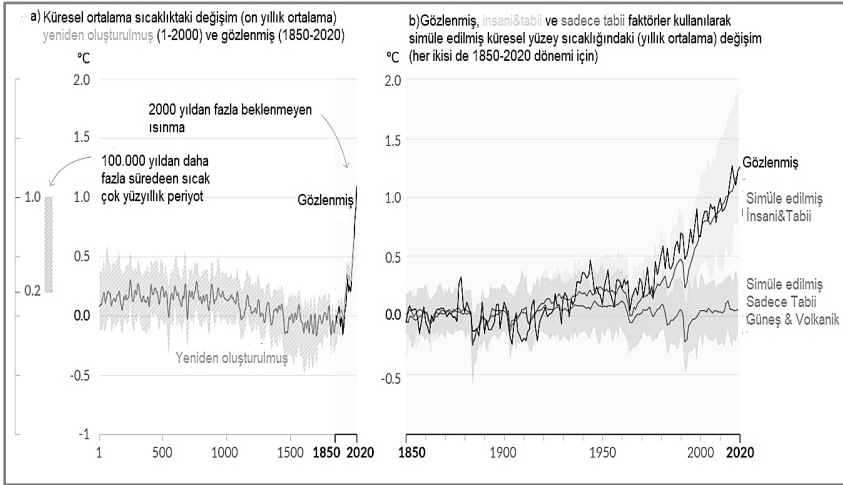
Şekil 6. Türkiye Geneli Yıllık Alansal Yağışların zamansal dağılımı ve eğilimi



IPCC'nin 2021 yılında yayınlanan 6. İlerleme Raporunda son 100.000 yıldaki sıcaklık değişimlerine bakıldığında son dönemdeki 1,2°C'lik

sıcaklık artışının bundan önceki 100.000 yılın hiçbir döneminde gözlenmediği görülmektedir (Şekil 7a). Sadece tabii süreçlerin etkili olduğu şartlarda son yıllardaki gibi fazla bir sıcaklık artışı beklenmezdi. Ancak, insan etkileriyle atmosfere salınan sera gazları sebebiyle Dünya şu an sanayi öncesi döneme (1850-1900) göre 1,2°C ısınmış durumdadır. IPCC'nin 2013 yılında yayınladığı değerlendirme raporunda insan etkisini “%95 son derece muhtemel (extreme likely)” ifadesiyle değerlendirirken, 6. İlerleme Raporunda ise insan etkisi %100 olarak ifade edilmiştir (Şekil 7b) IPCC, (2021).

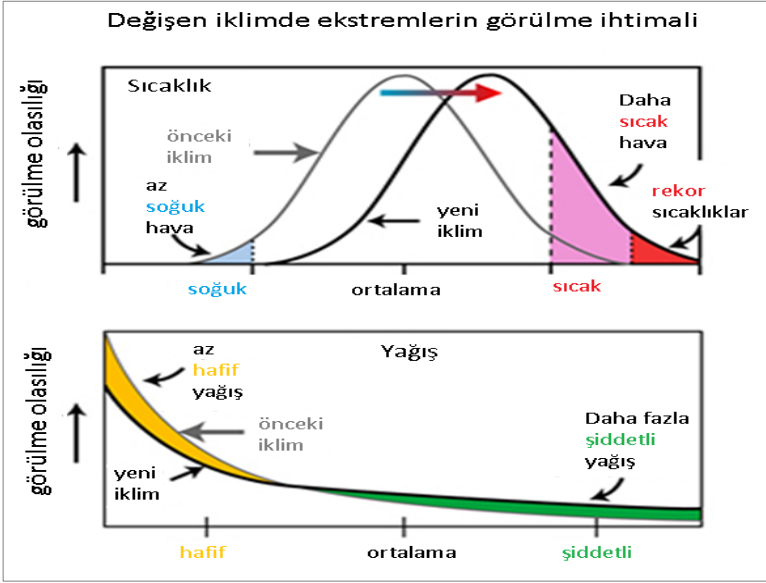
Şekil 7. Küresel Sıcaklıktaki Ortalama Değişimin Tarihi Sebepleri (IPCC, 2021)



Küresel İklim Değişikliği ve Afet İlişkisi

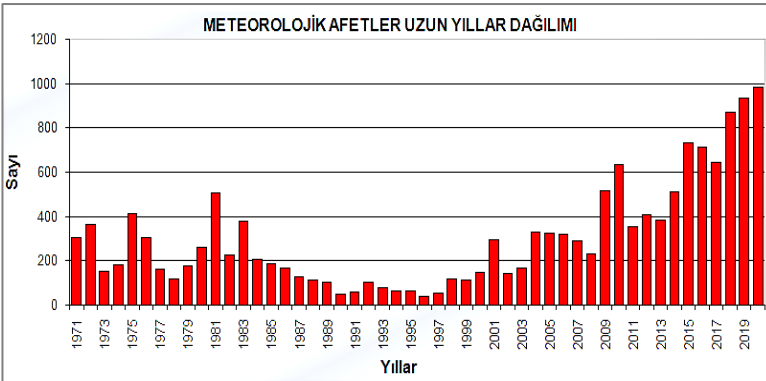
Değişen iklimin istatistiksel gösteriminde, ortalama sıcaklıklar arttığında, çan eğrisinin temsil ettiği sıcaklık dağılımı sağa kayar. Alışılmadık derecede yüksek olan sıcaklıklar daha yaygın hale gelirken, uç veriler de normalimiz haline gelir. Sıcaklık artışının başta sağlık olmak üzere, tarım, turizm ve enerji sektörleri üzerine olumsuz etkileri söz konusudur. Yağışta ise şiddetli yağış olayları için dağılımın tek bir kuyruğu vardır. Daha fazla atmosferik su buharı olan daha sıcak bir iklimde, daha şiddetli ve yoğun yağış olayları yaygın hale gelir. Son gözlemler aşırı yağış olaylarının daha sık hale geldiğini desteklemektedir (Şekil 11).

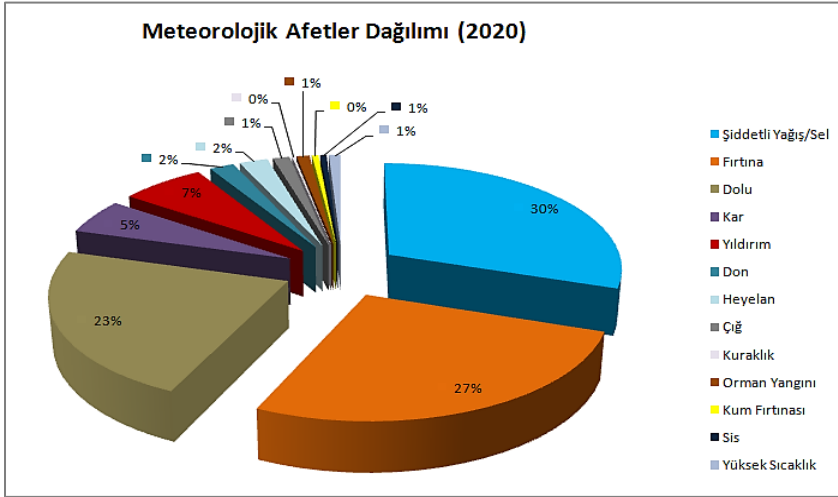
Şekil 11. İklim değişikliği ekstrem olay ilişkisi (CCSP, 2008)



Türkiye, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en fazla görüldüğü Akdeniz Havzasında yer almaktadır. Günümüzde bütün Dünyada olduğu gibi ülkemizde de iklim değişikliğinin etkileri görülmeye başlanmıştır. 2020 yılı 984 ekstrem olay sayısı ile en fazla ekstrem olay yaşanan yıl olmuştur. Ekstrem olay trendlerinde özellikle son yirmi yılda artış eğilimi vardır (Şekil 12).

Şekil 12. Türkiye yıllık ekstrem olay sayıları MGM, (2021).



Şekil 13. 2020 Ekstrem olayların oransal dağılımı (MGM, 2021).

2020’de kaydedilen ekstrem olayların çoğu %30 ile şiddetli yağış/sel, %27 ile fırtına ve %23 ile dolu olmuştur. Diğer olaylar ise %7 ile yıldırım, %5 ile kar %2 ile heyelan, don ve %1 ve daha az oranlarda çığ, orman yangını, kum fırtınası, yüksek sıcaklık ve sis olarak gerçekleşmiştir (Şekil 13). Manavgat ilçesinde dört ayrı noktada çıkan orman yangını yerleşim yerlerine sıçradı. AFAD, yangından birçok kişinin etkilendiğini açıkladı (Şekil 14).

Şekil 14. 28 Temmuz 2021 günü Manavgat orman yangınından bir görüntü

Kastamonu il ve ilçelerinde 2021 Ağustos ayında aşırı kuvvetli sağanak yağış meydana gelmiştir. Yağışlar sebebiyle meydana gelen sel olaylarında çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır (Şekil 15).

Şekil 15. 10 Ağustos 2021 günü Bozkurt selinden bir görüntü



İklim Değişikliği Senaryoları

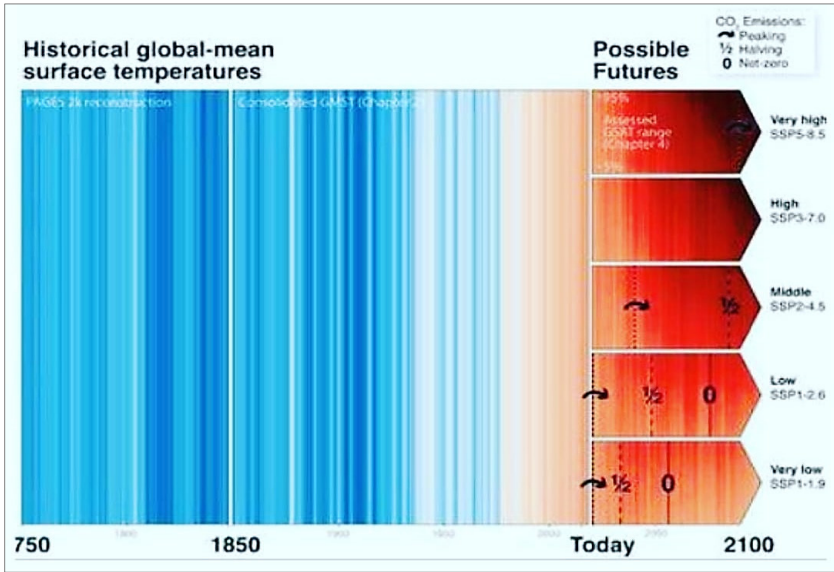
İklimde meydana gelen değişiklikler insanoğlu ve tüm canlıların yaşamını doğrudan etkilemektedir. Gelecekte görülmesi muhtemel iklimin tahmin edilmesinde en önemli araç iklim modelleridir. Sanayi devrimiyle birlikte insan faaliyetleri nedeniyle küresel olarak iklimde meydana gelen değişiklikleri önleyebilmek, azaltabilmek ve iklim değişikliği ile ilgili çalışmaları küresel manada koordine edebilmek adına 1988 yılında Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Bu kurumların oluşturdukları emisyon senaryoları, sera gazları ve aerosoller gibi yer yüzünün radyasyon dengesini düzenleyen maddelerin gelecekteki konsantrasyonlarının tahmin edilmesi için üretilir.

Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) IPCC'nin en son yürürlükte olan senaryosudur. En yaygın olarak kullanılan iki senaryo RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarıdır ve 4,5 ile 8.5 Watt/m² ışımsal zorlamaya karşılık gelirler. İklim projeksiyonları, bölgesel iklim modellerinin küresel model verisini bu

senaryolar ile ölçek küçültme (downscaling) metodu kullanılarak çalıştırılmasıyla üretilirler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü RegCM4 bölgesel iklim modelini kullanarak HadGEM, MPI, GFDL küresel verilerini RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile ölçek küçültme yaparak, Türkiye için 2100 yılına kadar 20 km çözünürlükte iklim projeksiyonu çıktılarını üretmiştir (Akçakaya vd., 2015).

Model sonuçları, başlangıç verilerindeki hatalar ve belirli matematiksel formüller kullanıldığı için bir miktar hata içerir fakat bu hatalar model geriye doğru çalıştırılarak gözlem verileri ile kalibre edilirler. IPCC yeni SSP senaryolarına göre 2100'e kadar sıcaklık değişimleri Şekil 17'de verilmiştir.

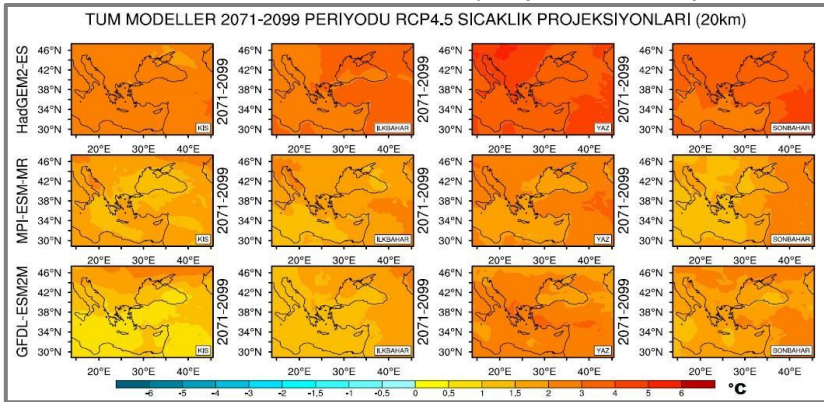
Şekil 17. IPCC Paylaşımlı Sosyo-ekonomik Rota (SSP) senaryolarına göre 2100'e kadar sıcaklık değişimleri (IPCC, 2021).



Meteoroloji Genel Müdürlüğü HadGEM, MPI ve GFDL küresel model verileriyle RegCM4 bölgesel iklim modeli altında ölçek küçültme yöntemini kullanarak, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile 20x20 km çözünürlüklü sıcaklık ve yağış projeksiyonlarını üretmiştir. Sıcaklık projeksiyonları mevsimlik, yıllık, onar yıllık ve havza bazlı olarak hazırlanmıştır Akçakaya vd. (2015).

2041-2070 periyodunda HadGEM2-ES modeli projeksiyonlarına göre yaz mevsiminde sıcaklık artışı 2-3°C iken, kış mevsiminde Doğu bölgelerimizde 2-3°C, ülkemizin diğer bölgelerinde ise 1,5-2°C'dir. MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M projeksiyonlarına göre sıcaklık artışının yurt genelinde kış mevsiminde normallerinin 1°C üzerine diğer mevsimlerde 1,5°C üzerine çıkacağı; hatta yaz ve sonbahar mevsiminde özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 2°C üzerine çıkacağı dikkat çekmektedir.

Şekil 20. 2071–2099 Mevsimlik Sıcaklık Projeksiyonları (Akçakaya vd, 2015)



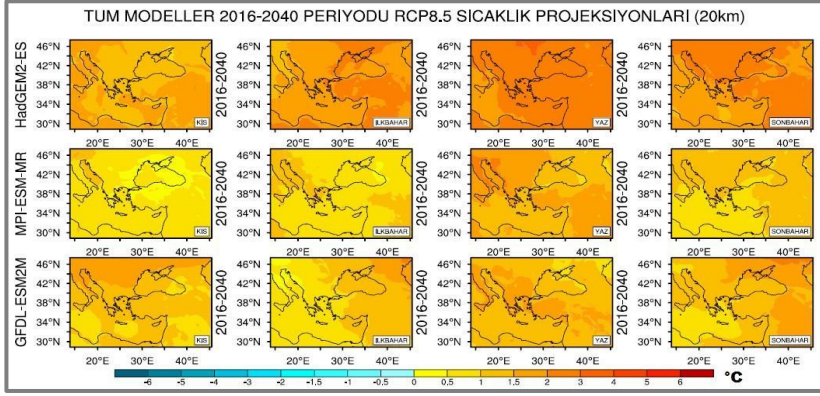
HadGEM2-ES modeline göre kış sıcaklıklarında 2°C'lik, ilkbahar ve sonbahar sıcaklıklarında 3°C'lik artışlar gözlenirken, yaz sıcaklıklarında Kıyı Ege ve Güney Doğu Anadolu'da 4°C'yi aşan sıcaklık artışlarının olacağı göze çarpmaktadır. MPI-ESM-MR modeli projeksiyonlarına göre sıcaklık artışının yaz mevsiminde hemen hemen tüm yurttan normallerin 3°C, Doğu Anadolu'nun doğusunda 4°C üzerinde olacaktır. GFDL-ESM2M modeline göre ısınmanın yaz mevsiminde ülkemizin büyük bölümünde 3°C'nin üzerinde olacağı öngörülmektedir.

10.2. RCP8.5 Senaryosuna Göre Mevsimlik Sıcaklık Projeksiyonları

HadGEM2-ES modeline göre özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ısınmanın 3°C civarında olacağı öngörülmektedir. MPI-ESM-MR projeksiyonlarına göre sıcaklık artışının yurt genelinde 0,5°C-1,5°C arasında olacağı, yaz mevsiminde ise yurdun kuzeyi dışındaki

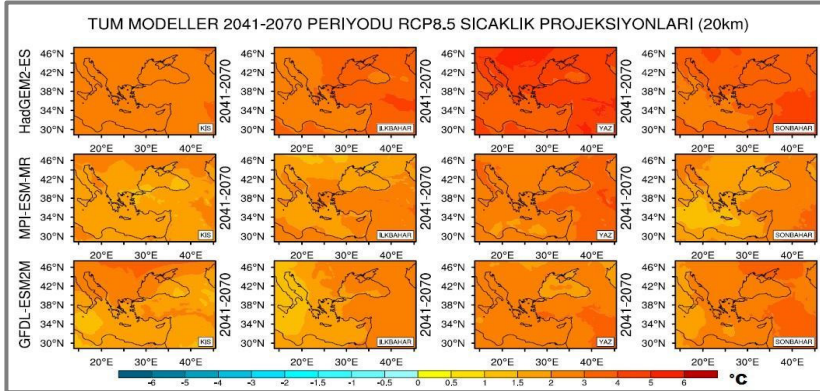
tüm bölgelerde 2°C 'ye varan artışlar olacağı öngörülmektedir. GFDL-ESM2M modeline göre ısınmanın genellikle $1-1,5^{\circ}\text{C}$ arasında olacağı, yaz mevsiminde yurdun batısında sonbaharda ise yurdun doğusunda $1,5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bir artışın olacağı beklenmektedir.

Şekil 21. 2016–2040 Mevsimlik Sıcaklık Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



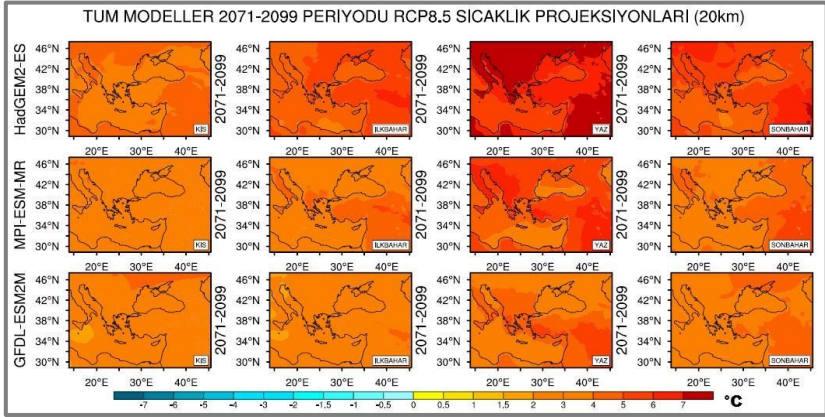
HadGEM2-ES modeline göre özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ısınmanın 3°C civarında olacağı öngörülmektedir. MPI-ESM-MR projeksiyonlarına göre sıcaklık artışının yurt genelinde $0,5^{\circ}\text{C}$ - $1,5^{\circ}\text{C}$ arasında olacağı, yaz mevsiminde ise yurdun kuzeyi dışındaki tüm bölgelerde 2°C 'ye varan artışlar olacağı öngörülmektedir. GFDL-ESM2M modeline göre ısınmanın genellikle $1-1,5^{\circ}\text{C}$ arasında olacağı, yaz mevsiminde yurdun batısında sonbaharda ise yurdun doğusunda $1,5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bir artışın olacağı beklenmektedir.

Şekil 22. 2041–2070 Mevsimlik Sıcaklık Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015).



2041-2070 döneminde HadGEM2-ES modeline göre, kış aylarında 2-3°C, sonbahar ve ilkbahar aylarında 3-4°C'yi bulan sıcaklık artışlarının yaz periyodunda 5°C'yi bulacağı öngörülmektedir. MPI-ESM-MR projeksiyonlarına göre kış aylarında 1-2°C, ilkbahar ve sonbahar aylarında 1,5-3°C, yaz aylarında ise 4-5°C'yi aşan sıcaklık artışları beklenmektedir. GFDL-ESM2M'ye göre ısınmanın genel olarak 2°C'nin üzerine çıkacağı, yaz mevsiminde Güney Ege, Batı Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, sonbahar mevsiminde de yurdun doğu kesimlerinde 3°C'nin üzerine çıkacağı dikkat çekmektedir.

Şekil 23. 2071-2099 Mevsimlik Sıcaklık Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



Sıcaklıklarda tüm yurttaki kış mevsiminde 2-4°C arasında artış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise ülke genelinde 5°C'yi, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise 6°C'yi aşan artışları öngörülmektedir.

11. Mevsimlik Yağış Projeksiyonları

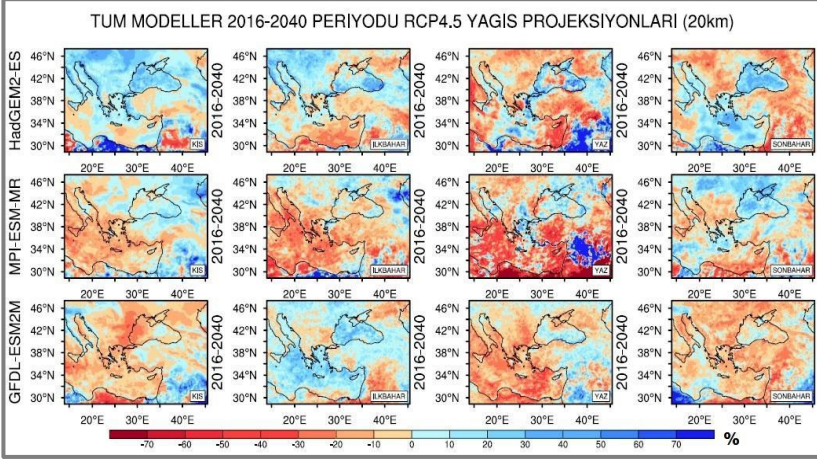
Bu analizde HadGEM, MPI ve GFDL modellerinin 3 ayrı periyotta mevsimlik yağış projeksiyonları hazırlanmıştır.

11.1. RCP4.5 Senaryosuna Göre Mevsimlik Yağış Projeksiyonları

2016-2040 dönemi yağış projeksiyonlarına göre üç modelde de farklı mevsimlerde farklı değişimler öngörülmektedir. HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modellerine göre ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki yurdun iç bölümlerindeki azalışlar dikkat çekerken, GFDL-ESM2M

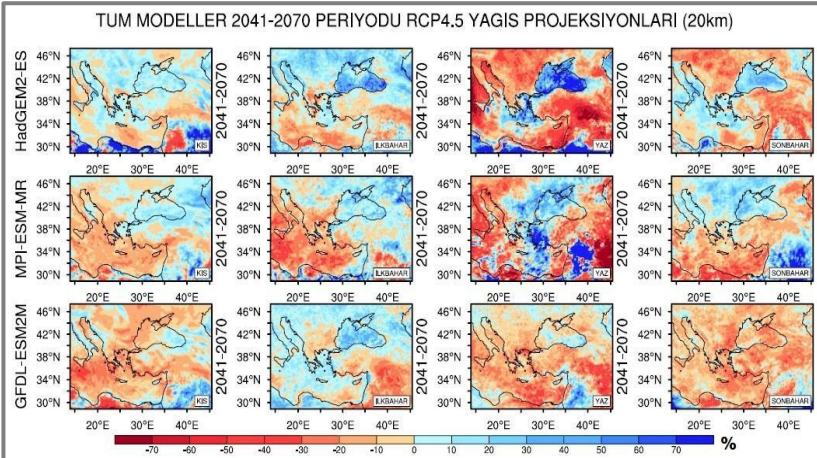
modeline göre sonbahar ve kış mevsimlerinde yurt genelinde azalışlar dikkat çekmektedir.

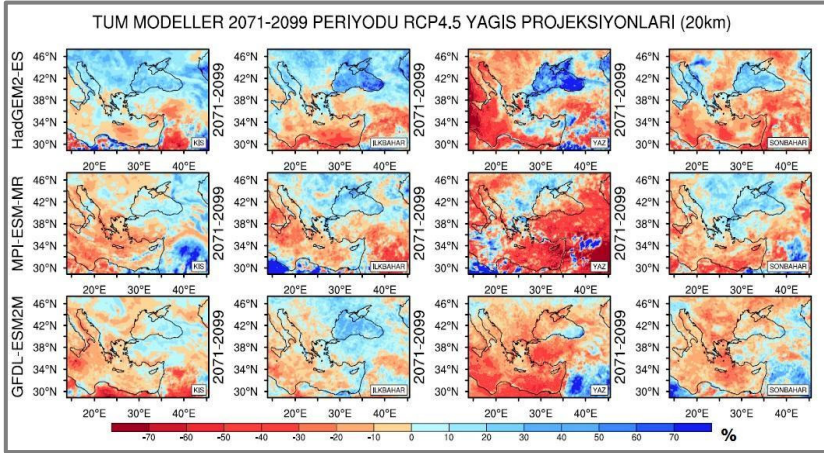
Şekil 24. 2016–2040 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



2016-2040 dönemi yağış projeksiyonlarına göre sonbahar mevsiminde 3 modelde de azalış öngörülürken, MPI-ESM-MR modeline göre yaz mevsiminde yurdun batı bölgelerindeki artışlar dikkat çekicidir. Kış mevsimine ise Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde %20-30 aralığında azalışlar beklenmektedir.

Şekil 25. 2041–2071 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



Şekil 26. 2071–2099 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)

HadGEM2-ES modeline göre ilkbahar yağışlarında Kıyı Ege, Orta Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu bölgeleri hariç yağışlarda %20 civarında azalmalar, kış yağışlarında özellikle kıyı şeridinde %10 civarında artışlar, sonbahar yağışlarında ise hemen hemen bütün yurttan azalmalar olacağı göze çarpmaktadır. MPI-ESM-MR projeksiyonlarına göre yağışlarda Doğu Anadolu’da kış mevsimi hariç diğer mevsimlerin tamamında bir azalış, yaz mevsiminde tüm yurttan %60-70'lere varan oranda bir azalış, yurdun batısında ilkbahar ve sonbaharda artış öngörülmektedir. GFDL-ESM2M projeksiyonlarında yağışlarda ilkbahar mevsiminde yurdun büyük kısmında %10 civarında artışlar ön görülürken, özellikle Akdeniz Bölgesinde tüm mevsimlerde %30'lara varan oranda azalış eğiliminin olacağı dikkat çekmektedir.

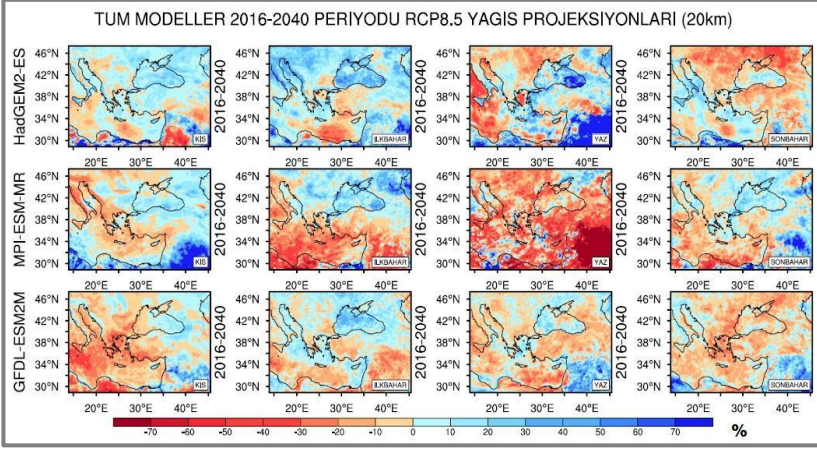
11.2. RCP8.5 Senaryosuna Göre Mevsimlik Yağış Projeksiyonları

2016-2040 dönemi yağış projeksiyonlarına göre HadGEM2-Es modeline göre sonbahar mevsimindeki, MPI-ESM-MR’ye göre yaz mevsimindeki azalışlar dikkat çekmektedir. GFDL-ESM2M modeli projeksiyonlarına göre ise tüm mevsimlerde yurdun büyük bir bölümünde azalışlar öngörülmektedir.

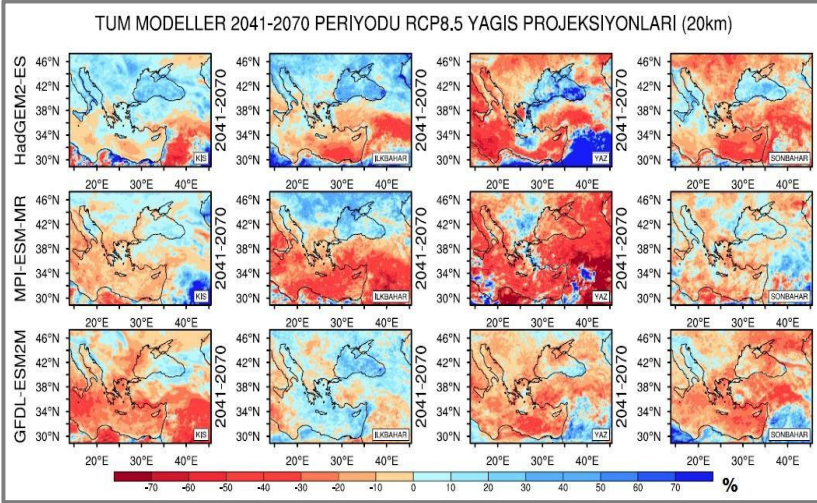
2041-2070 dönemi projeksiyonlarına göre genel olarak Karadeniz Bölgesi’nin doğusu haricinde kalan kısımlarında azalışlar

beklenmektedir. Bunun yanı sıra HadGEM2-ES modeline göre kış ve yaz mevsiminde batı kesimlerde artışlar öngörülmektedir. Ayrıca MPI-ESM-MR modeli projeksiyonlarına göre sonbahar mevsimi yağışlarında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde artış beklenmektedir.

Şekil 27. 2016–2040 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



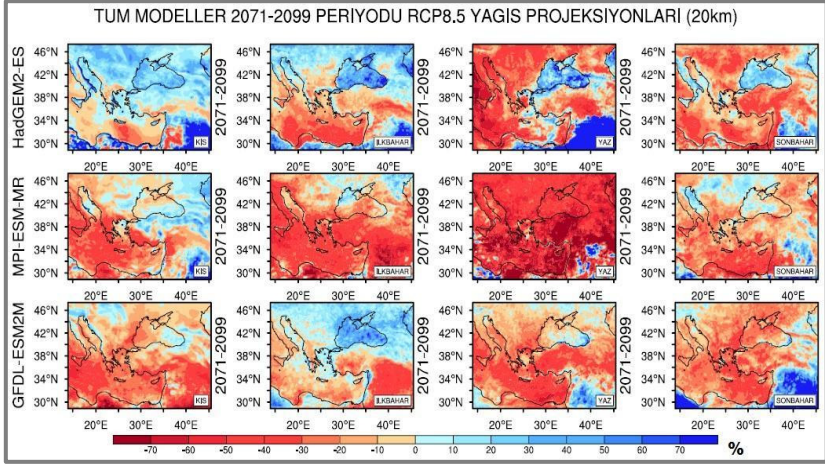
Şekil 28. 2041 – 2070 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



Yüzyılın son periyodunda yağışlarda tüm modellere göre yurt genelinde azalışlar beklenmektedir. Azalışların ilkbaharda %20-50

aralığında, yaz mevsiminde ise %60'lara varan oranlarda azalışlar dikkat çekicidir.

Şekil 29. 2070–2099 Mevsimlik Yağış Projeksiyonları (Akçakaya vd., 2015)



Kaynakça

- Akarsu, B. (1993). *Wilhelm Von Humboldt'da Dil-Kültür Bağlantısı*. İstanbul: Remzi Kitabevi.
- Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S. ve Çukurçayır, F. (2015). *Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, Ankara, Url: <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx>
- CCSP, (2008). *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Region of Focus: North America, Hawaii, Caribbean and U.S. Pacific Island*. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. NOAA's National Climate Data Center, Washington, D.C., USA, 164 pp.
- ÇŞİDB, (2016). *İklimle Dirençli Kentler Projesi Raporu*, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yayınları Url: https://ipa.gov.tr/assets/uploads/files/climate_change_261217.pdf
- Denhez, F. (2007). *Küresel Isınma Atlası*. NTV Yayınları.
- IOM, (2021). Uluslararası Göç Organizasyonu. <https://www.iom.int/>

- IPCC, (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, (2021). Summary for Policymakers in Climate Change 2021: The Physical Science Basis IPCC WGI Raporu <https://www.ipcc.ch/>
- MGM, (2021). Türkiye 2020 Yılı İklim Değerlendirmesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., Balta, İ., (2008), Türkiye İklimi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, yayınları. https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.pdf
- Şensoy, S., Coskun, M., Turkoglu, N., Cicek, İ., (2018). Future Earth and Expected Mega Changes, Chapter 2 of Global Change and Future Earth: The Geosciences Perspective, Special Publications of the International Union of Geodesy and Geophysics Cambridge University Press, s.16.
- TBMM, (2021). Türkiye Büyük Millet Meclisi, Küresel İklim Değişikliğinin Etkilerinin En Aza İndirilmesi, Kuraklıkla Mücadele Ve Su Kaynaklarının Verimli Kullanılması İçin Alınması Gereken Tedbirlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu, Ankara.
- Türkeş, M., (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Kriter Yayınevi, İstanbul.
- UNCHR, (2021), Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği. <http://www.unhcr.org/figures-at-a-glance.html>
- UNFCCC, (1992). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, United Nations Framework Convention On Climate Change) md.2
- URL 1, CO2Earth, 2021, 30.11.2021
- WB, (2016). High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy Url http://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy?CID=WAT_TT_Water_EN_EXT
- WMO, (2021). State of the Global Climate 2020, Url: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>.