

# İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FİZİKSEL BİLİM TEMELİ -II

## Dünyada ve Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişiklikleri ve Değişkenliği

Murat TÜRKEŞ\*

**Öz:** Sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin çeşitli insan etkinlikleri nedeniyle sanayi devriminden beri hızla artması sonucunda kuvvetlenen sera etkisinin en önemli sonucu, Yerküre’nin enerji dengesi üzerinde ek bir pozitif ısınsal zorlama oluşturarak, dünya ikliminin daha sıcak ve daha değişken olmasını sağlamasıdır. Öte yandan, ister küresel isterse bölgesel ölçekte olsun, iklim değişikliği, ekstrem (aşırı) hava ve iklim olaylarının sıklığında, şiddetinde, alansal dağılışında, uzunluğunda ve zamanlamasında da önemli değişikliklerin gerçekleşmesine neden olmaktadır. Örneğin, alansal ve zamansal olarak yüksek bir değişkenlikle nitelenen yağışlarda, 1950 - 2011 döneminde dünyanın çeşitli bölgelerinde önemli azalış ve artış eğilimleri gözlenmiştir. Ayrıca, dünyanın birçok bölgesinde ve Türkiye’deki şiddetli yağış olaylarında da artışlar gözlenmiş; bazı ekstremelerde de önemli değişiklikler ortaya çıkmıştır. Uzun süreli klimatolojik gözlem dizilerinin çözümlemelerine dayanan güncel bulgulara göre, aşırı hava ve iklim olaylarındaki değişiklikler Türkiye’de, özellikle 1990’lı yıllarla birlikte yaz ve tropik gün sayılarındaki önemli artış, buna karşılık don olayı ve kar yağışlı gün sayılarında belirgin azalma, yılın don olayı gözlenmeyen devresindeki uzama şeklinde gözlenmiştir. Türkiye’de 2000 yılından bu yana maksimum hava sıcaklıklarına ilişkin rekorların yaklaşık %50’si gerçekleşirken, bu oran minimum sıcaklıklara ait rekorlarda %10’a kadar düşmüştür. Başka bir deyişle, Türkiye’de yaklaşık son 25 yıllık dönemde, hem sıcaklık rejimi belirgin olarak daha ılıman ve sıcak koşullara doğru değişmiş, hem de sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli değişimler gerçekleşmiştir. Gözlenen değişime ve eğilimlere ek olarak, iklim model benzeşimleri, genel olarak alt troposfer ve yüzey hava sıcaklıklarında öngörülen artış eğilimi, artan termal enerji (pozitif ısınsal zorlama) ve hızlanan ve/ya da kuvvetlenen hidrolojik döngü ile bağlantılı olarak, 21. yüzyılda Dünya’nın birçok bölgesinde aşırı hava ve iklim olaylarının sıklık ve/ya da şiddetinde artışlar olabileceğini göstermektedir. Bu makalenin ana amacı, Dünya’da ve Türkiye’de gözlenen iklim değişikliği ile çeşitli sera gazı salım senaryolarına dayanarak çalışılan iklim model kestirimlerine göre gelecekteki iklim değişikliği ve değişkenliğinin, hem var olan çok sayıda yayımlanmış hakemli makale ve bildirilerden hem de bu çalışma için gerçekleştirilen özgün analiz (çözümleme) ve değerlendirmelerden yararlanarak geniş açılı ve çok disiplinli bilimsel bir sentezini (bireşimini) yapmaktır.

**Anahtar sözcükler:** ısınsal zorlama, kuvvetlenen sera etkisi, iklim değişikliği, küresel ısınma, aşırı hava ve iklim olayları, sera gazı salım senaryoları, iklim model öngörülleri, 1.5 °C’lik küresel ısınma

### Physical Science Basis of Climate Change II:

#### Observed and Projected Climate Change and Variability in Turkey and in the World

**Abstract:** Global concentration of greenhouse gases in the atmosphere is increasing rapidly since industrial revolution as a result of human activities. The most important outcome of this aggravated greenhouse effect is warmer and more variable climate in the world through additional positive radiative forcing on the energy balance of the planet. Meanwhile, climate change causes, whether at global or regional levels, significant changes in the frequency, severity, spatial distribution, duration and timing of extreme weather and climate events. For example, precipitation has become highly variable both spatially and temporally in various regions of the world with significant decreases and increases in the period 1950 – 2011. Further, there has been increase in cases of heavy rainfall in many parts of the world and in Turkey and some important changes occurred in some extremes. According to current findings based on the analysis of long-term climatologic observation series, changes in extreme weather and climate events manifest themselves in Turkey starting with the 1990s as significant increase in the number of summer and tropic days, marked decrease in the number of days of frost and snow and longer yearly periods without frost. In Turkey, about 50% of maximum temperatures ever recorded took place since the year 2000 whereas it turned out as only 10% when it comes to minimum temperatures ever recorded. In other words, during the last 25 years there has been a change towards more temperate and warm conditions accompanied by significant changes in the frequency and severity of heat waves. In addition to changes and trends observed, climate model simulations suggest that in the 21<sup>st</sup> century there may be increases in the frequency and severity of extreme weather and climate events in many regions of the world associated with increasing temperatures in sub-troposphere and surface, increased thermal energy (positive radiative forcing) and accelerated and/or stronger hydraulic cycle. The main objective of the present article is to reach an extensive and multi-disciplinary synthesis regarding future climate change and variability according to climate model projections deriving from climate change patterns in the world and in Turkey based on various greenhouse gas emission scenarios and by making use of existing many peer-reviewed articles, relevant declarations and original analysis and assessments made specifically for the present article.

**Key words:** Radiative forcing; Enhanced greenhouse effect; Climate change; Global warming; Extreme weather and climate events; Greenhouse gas emission scenarios; Climate model projections; 1.5 °C Global Warming

### 1. Dünyada ve Türkiye’de gözlenen iklim değişimleri

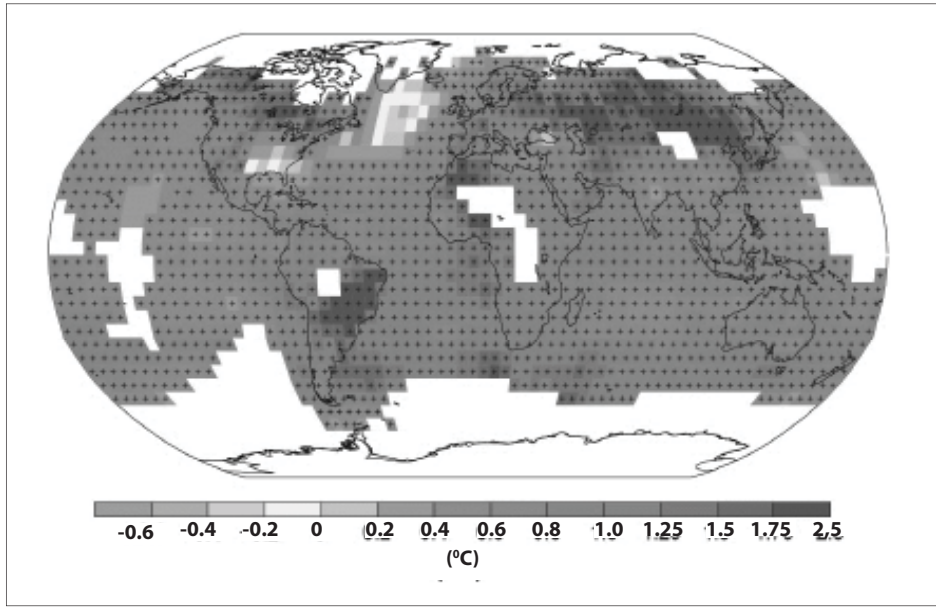
Sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin çeşitli insan etkinlikleri nedeniyle sanayi devriminden beri hızla artması sonucunda kuvvetlenen sera etkisinin en önemli sonucu, Yerküre’nin enerji dengesi

üzerinde ek bir pozitif ısınsal zorlama oluşturarak, dünya ikliminin daha sıcak (Şekil 1), bazı bölgelerde daha kurak (Şekil 2) ve daha değişken olmasını sağlamasıdır. İster küresel isterse bölgesel

\*Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi Yönetim Kurulu ve Fizik Bölümü Yarı Zamanlı Öğretim Üyesi (ORCID No: 0000-0002-9637-4044)

Geliş Tarihi / Received : 10.03.2019

Kabul Tarihi / Accepted : 28.05.2019



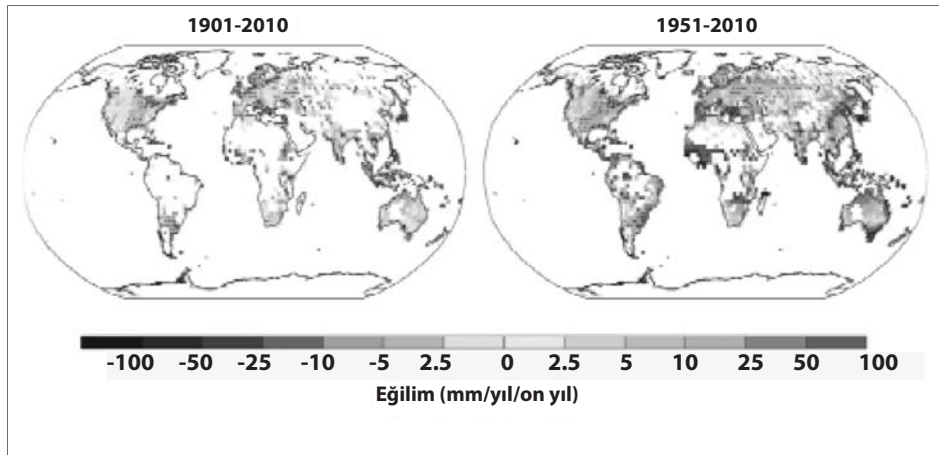
Şekil 1. Yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarında 1901-2012 dönemi için hesaplanan doğrusal eğilim oranlarına göre gözlenen değişikliklerinin alansal dağılışı (IPCC, 2013)

ölçekte olsun, iklim değişikliği aşırı hava ve iklim olaylarının sıklığında, şiddetinde, alansal dağılışında, uzunluğunda ve zamanlamasında değişiklikler oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin, yağış, küresel ölçekte 1900–2012 döneminde alansal ve zamansal olarak yüksek bir değişkenlik göstermiş ve yağış tutarlarında bölgesel ölçekte kuraklaşma ve artış eğilimleri gözlenmiştir (Şekil 2). Kuzey ve Güney Amerika'nın doğu bölümleri, Kuzey Avrupa ve Asya'nın orta bölgeleri ile kuzeyinde kaydedilen yağış tutarlarında önemli artış eğilimleri gözlenirken, önemli kuraklaşma ya da *azalış eğilimleri* ise Sahel, Türkiye'yi de içeren Akdeniz havzası, Güney Asya'nın bir bölümü ile Afrika'nın güneyinde etkili olmuştur (IPCC, 2013; Türkeş, 2012a; Türkeş,

2012b; Türkeş, 2013b). Ayrıca, dünyanın birçok bölgesi ve Türkiye'deki şiddetli yağış olaylarında (aşırı yüksek ve aşırı düşük yağışlar, vb.) ve *ortalama hava sıcaklıklarında da önemli artışlar* gözlenmiştir (IPCC, 2013; Türkeş, 2013c; Türkeş, 2014a).

### 1.1 Küresel iklimde gözlenen değişimler

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu kapsamında 1. Çalışma Grubunun hazırladığı İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli Raporu'na göre, *küresel iklimdeki ısınma kesindir ve 1950'li yıllardan beri iklimde gözlenen değişikliklerin çoğu son bin yıllık döneme kadar daha önce hiç görülmemiş düzeydedir (IPCC, 2013)*. Geçen 30 yılın her 10 yılı, yeryüzünde 1850'den beri



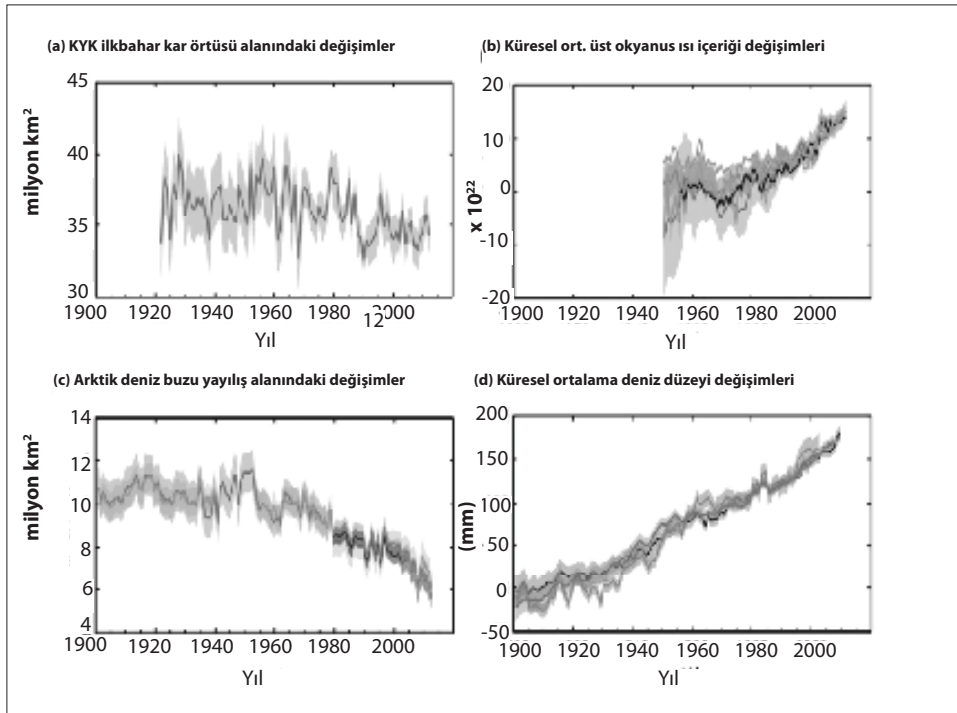
Şekil 2. Doğrusal eğilim hesaplamalarına göre, (a) 1901 – 2010 ve (b) 1951 – 2010 dönemlerinde gözlenen yağış değişikliklerinin alansal dağılışı desenleri (IPCC, 2013)

kaydedilen küresel yüzey sıcaklıklarının tüm on yıllık dönemlerinden daha sıcak olmuştur. Küresel ortalama yüzey sıcaklığı verileri, 1901 – 2010 döneminde, 0.89 °C'lık [0.69 – 1.08 °C güven aralığında] doğrusal bir artış göstermiştir. Bu dönem boyunca hemen tüm Yerküre yüzeyi (Şekil 1) ve atmosferin yaşamın ve hava olaylarının olduğu en alt katman olan Troposfer, küresel olarak 20'nci yüzyılın ortalarından beri ısınmıştır. 2018 yılı gözlemlerini de içeren son değerlendirmeler göre, küresel yüzey sıcaklıklarındaki değişimlere dayanarak belirlenen küresel ısınma değeri 1,064 °C'ye ulaşmıştır (<http://www.globalwarmingindex.org/>). Ayrıca, dolaylı eski iklim verileri, Kuzey Yarım Küre'de 1983 – 2012 döneminin olasılıkla son 1400 yılın en sıcak 30 yıllık dönemi olduğunu gösterir. Bu dönemde, atmosfer ve okyanuslar ısınmış, kar ve buz tutarları azalmış, ortalama deniz düzeyi yükselmiş ve sera gazlarının atmosferdeki birikimleri artmıştır (Şekil 3).

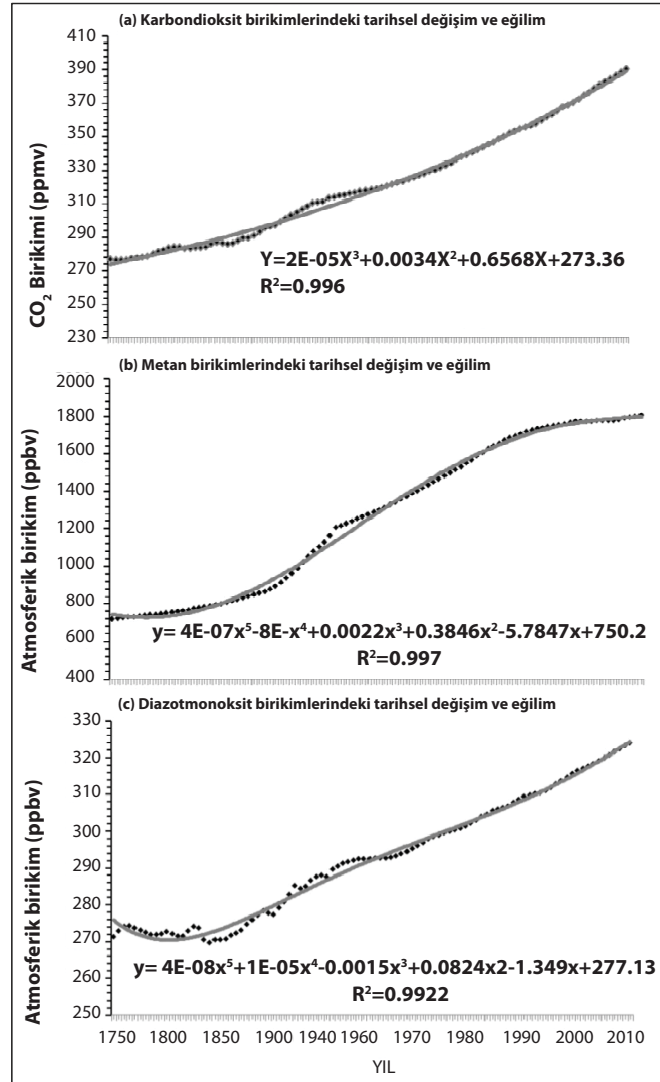
Kuzey Yarımküre karalarında yağışlar, 1901'den beri artmıştır. Akdeniz Havzası'nı ve Türkiye'nin Akdeniz ikliminin egemen olduğu batı ve güney bölgelerini içeren subtropikal ve bazı tropikal bölgelerde ise, aynı dönemde yağış tutarlarında belirgin azalışlar gözlenmiştir (Şekil 2). Birçok aşırı hava ve iklim olaylarında 1950'den beri değişiklikler olduğu gözlenmiştir.

**Yüksek olasılıkla**, küresel ölçekte soğuk gün ve gecelerin sayıları azalmış, sıcak gün ve gecelerin sayısı artmıştır. Avrupa, Asya ve Avustralya'nın geniş bölgelerinde sıcak hava dalgalarının sıklığı **olasılıkla** artmıştır. Kuvvetli yağış olaylarının sayısının artış gösterdiği kara bölgeleri, kuvvetli yağışların azaldığı karalardan **olasılıkla** daha fazladır. Kuvvetli yağış olaylarının sıklığı ya da şiddeti **olasılıkla** Kuzey Amerika ve Avrupa'da artmıştır.

Beklendiği gibi, küresel okyanuslardaki ısınma iklim sisteminde biriken enerjideki artışı denetlemektedir. Bu kapsamda, 1971-2010 döneminde okyanuslarda biriken enerjinin %90'dan fazlası okyanuslardaki ısınmayla bağlantılıdır (Şekil 3b). Üst okyanus (0-700 m) 1971-2010 döneminde **kesin olarak** ısınmışken, 1870'ler ve 1971 arasında **olasılıkla** ısınmıştır. Bu dönemde üst okyanus ısı içeriğinde belirlenen doğrusal artış eğilimi, **olasılıkla** 17 [15-19] x 10<sup>22</sup> J değerindedir (IPCC, 2013) (Şekil 3b). Ayrıca, buharlaşmanın yağıştan fazla gerçekleştiği yüksek tuzluluk bölgeleri daha tuzlu olurken, yağışın buharlaşmadan fazla olduğu düşük tuzluluk bölgeleri 1950'lerden beri daha az tuzlu olmuştur. Okyanus tuzluluğunda gözlenen bu bölgesel eğilimler, okyanuslar üzerindeki buharlaşma ve yağışın değiştiğine ilişkin dolaylı kanıtlar sunmaktadır.



**Şekil 3. (a) Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsünün kapladığı alandaki, (b) küresel ortalama üst okyanus ısı içeriğindeki, (c) Arktik deniz buzunun yayılış alanındaki ve (d) küresel ortalama deniz düzeyinde gözlenen uzun süreli eğilimler ve yıllararası değişimler (IPCC, 2013)**

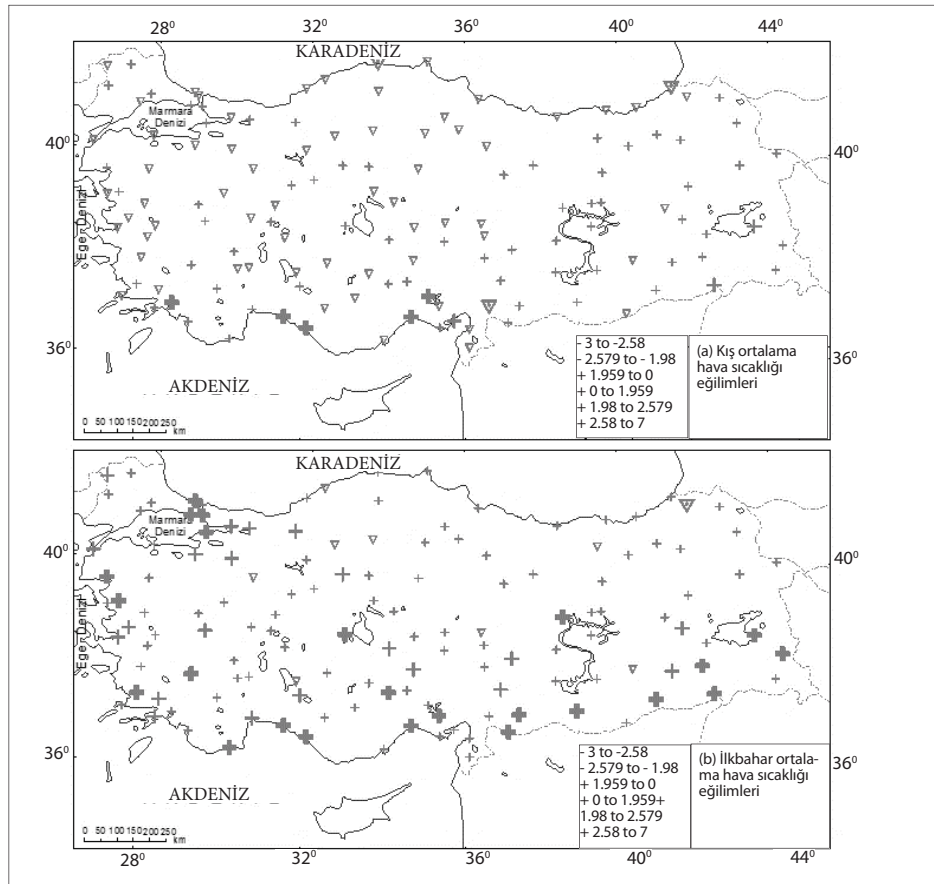


Şekil 4. Atmosferdeki (a) CO<sub>2</sub>, (b) CH<sub>4</sub> ve (c) N<sub>2</sub>O gazlarının sanayi öncesinden günümüze değin yıllık ortalama birikimlerinde gözlenen uzun dönemli değişimler ile 3. ve 5. dereceden polinom regresyon eğrilerine göre uzun süreli eğilimler. IPCC’de (2013) verilen orijinal verilerden yararlanarak Türkeş (2017a) tarafından çözümlendi ve çizildi. [Veri Kaynağı: IPCC, 2013: Annex II: Climate System Scenario Tables [Prather, M., G. Flato, P. Friedlingstein, C. Jones, J.-F. Lamarque, H. Liao and P. Rasch (eds.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. pp. 1395-1445.]

Grönland ve Antarktika buz kalkanları geçen 20 yıllık dönemde kütle kaybetmekte, dağ vadi ve takke buzulları buzullar neredeyse küresel ölçekte küçülmekte, Arktik deniz buzı ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsü alansal olarak azalmasını sürdürmektedir (Şekil 3a ve 3c). 19. yüzyıl ortasından beri gözlenmiş olan deniz düzeyi yükselmesinin hızı, önceki iki bin yıllık dönemdeki ortalama yükselme oranından daha büyüktür. Küresel ortalama deniz düzeyi 1901 – 2010 döneminde 19 cm (0.19 [0.17 – 0.21] m) yükselmiştir (IPCC, 2013) (Şekil 3d). 1970’lerin başından beri, ısınmadan kaynaklanan buzulların kütle kaybı ve okyanusların termal

genleşmesi, gözlenen küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesinin yaklaşık %75’inden sorumludur. Geçmişteki deniz düzeyi değişikliklerinin ise, farklı etmenler (örn. Yerküre ve Güneş arasındaki ilişkilerdeki değişimler) yoluyla oluştuğu düşünülmektedir (IPCC, 2013).

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gazlarının atmosferik birikimleri, en azından son 800,000 yıllık dönemde hiç olmadığı kadar yüksek bir düzeye ulaşmıştır. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gazlarının atmosferdeki birikimleri, insan etkinlikleri (temel olarak fosil yakıt yanması ve ikincil olarak net arazi kullanımı değişikliğinden



**Şekil 5-1. Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınavına göre, Türkiye kış (a) ve ilkbahar (b) mevsimi ortalama hava sıcaklığı dizilerindeki uzun süreli eğilimleri alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016).** Ters üçgen simgeleri, hava sıcaklığı dizilerindeki azalış eğilimlerini gösterirken, artı simgeleri dizilerdeki artış eğilimlerini gösterir. İçi noktalı ve dolu daha iri üçgen simgeler (görece kalın ve daha kalın artı simgeler), M-K u(t) sinama örneklem değerlerine karşılık gelen harita simgelerini içeren lejanta göre, sırasıyla dizilerdeki %5 ve %1 anlamlılık düzeyindeki azalma (artma) eğilimlerini gösterir

kaynaklanan salımlar) nedeniyle 1750 yılından beri artmıştır (Şekil 4). Bu gazların 2011 birikimleri, sanayi öncesi düzeylerine göre sırasıyla %40, %150 ve %20 oranında artarak, aynı sırayla 391 ppmv (kısaca milyonda bir), 1803 ppbv (milyarda bir) ve 324 ppbv (milyarda bir) düzeylerine yükselmiştir. Okyanuslar ise, atmosfere salınan insan kaynaklı karbonun yaklaşık %30'unu emerek asitlenmiştir.

## 1.2 Türkiye ikliminde gözlenen değişimler

Bu bölümde, Türkeş (2013b)'in Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) klimatoloji ve meteoroloji istasyonlarında 1950-2010 döneminde kaydedilen aylık ortalama, aylık ortalama maksimum (en yüksek) ve aylık ortalama minimum (en düşük) hava sıcaklığı verilerinin ( $^{\circ}\text{C}$ ) ile aylık toplam yağış ( $\text{mm}$  ya da  $\text{kg/m}^2$ ) istatistiksel ve klimatolojik zaman dizisi çözümlemelerinin sonuçları kullanılarak, Türkiye'deki yağış ve hava sıcaklığı dizilerindeki uzun

sürelî eğilimler ve değişimler incelendi. İstasyon verilerindeki eğilimleri belirlemek amacıyla, uzun süreli zaman dizilerine *Mann-Kendall (M-K) sıra ilişkili katsayısı* yöntemi uygulandı (**Sneyers, 1990; Türkeş ve ark., 2002**). Verilerin türdeşliği, sürekliliği, aylık eksik verilerin o istasyondaki toplam verinin %5'ini aşmaması vb. koşullar ve kurallar dikkate alınarak, aylık ortalama hava sıcaklığı ve toplam yağış eğilimlerinin istatistiksel çözümlemesi ve anlamlılık sınaması için 138 istasyonun verileri kullanıldı (**Türkeş, 1996; Türkeş, 1998; Türkeş, 1999**). Ortalama maksimum ve ortalama minimum hava sıcaklığı dizilerindeki eğilimlerinin belirlenmesi içinse, ayrıntılı türdeşlik ve rasgelelik çözümlemeleri sonucunda Türkeş ve ark. (2002) tarafından belirlenen Türkiye'deki en uzun sıcaklık gözlemlerine sahip 70 istasyonun zaman dizileri kullanıldı. Analizler tüm verilerin mevsimlik ve yıllık dizileri için yapılmasına karşın, burada ortalama hava sıcaklığı ve yağış toplamaları için



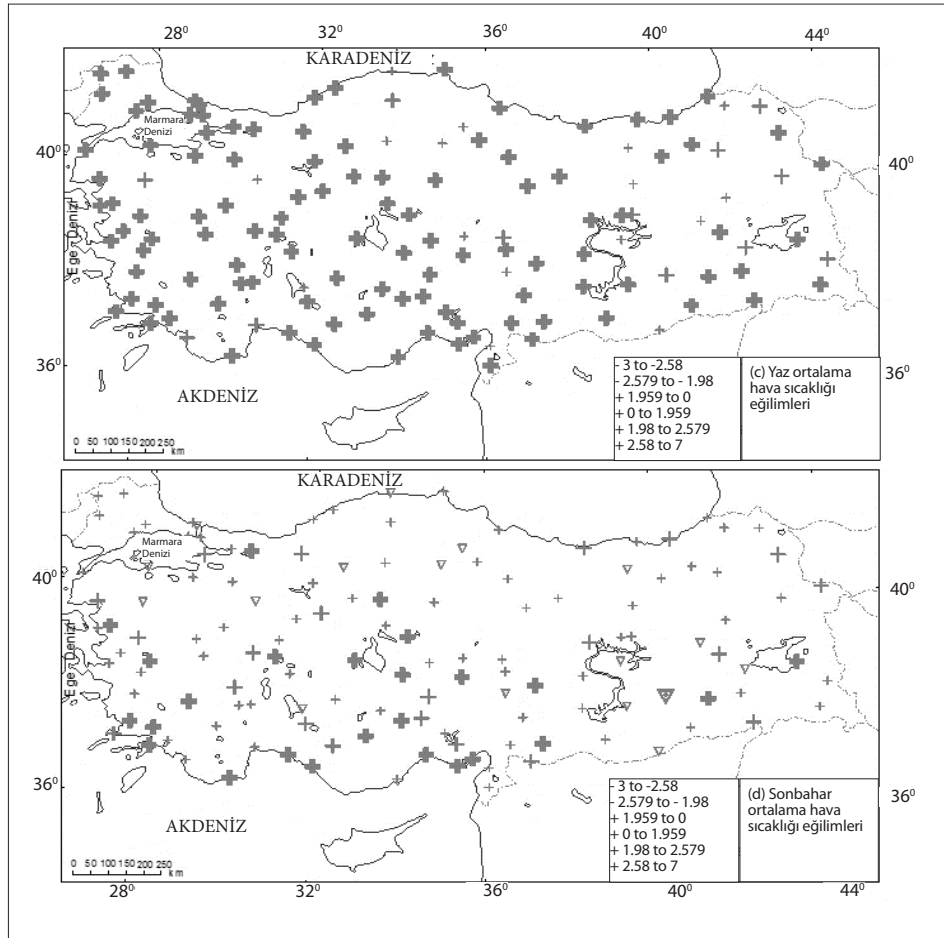
yıllık ve mevsimlik M-K sonuçları, ortalama maksimum ve ortalama minimum hava sıcaklıkları içinse yalnız yıllık M-K sonuçları verildi.

### 1.2.1 Hava sıcaklıklarında gözlenen değişimler ve eğilimler

Türkiye'nin mevsimlik ortalama hava sıcaklıklarındaki uzun süreli eğilimler incelendiğinde, kış mevsiminde bir bölümü istatistiksel açıdan anlamlı olmak üzere, hem artış hem de azalış eğilimleri görülür (Şekil 5-1a). *Mann-Kendall sınamasının* sonuçlarına göre, istatistiksel açıdan anlamlı (önemli) ısınma eğilimleri genel olarak Akdeniz Bölgesi'nde egemendir. Çok azı istatistiksel açıdan anlamlı olmak üzere, soğuma eğilimleri Karadeniz Bölgesi ile iç ve batı bölgelerinde görülür. İlkbahar ortalama hava sıcaklıkları, birkaç istasyon dışında, Türkiye'nin çok büyük bölümünde artma eğilimi gösterir (Şekil 5-1b). Özellikle Marmara, Ege, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gözlenen ısınma eğilimleri, istatistiksel açıdan önemlidir.

Isınma eğilimleri, kentleşmenin hızlı ve yaygın, buna bağlı kentsel ısı adası etkilerinin kuvvetli olduğu İstanbul yöresinde, Ege ve Akdeniz bölgelerinin kıyı istasyonlarında ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi istasyonlarında çoğunlukla %1 anlamlılık düzeyinde önemli ve klimatolojik olarak dikkat çekicidir (Şekil 5-1b).

Burada sonuçları verilen yeni çalışmanın, Türkiye için gerçekleştirilen önceki hava sıcaklığı eğilim çalışmalarından en önemli farkı, ısınma eğilimlerinin giderek daha da kuvvetlendiği yaz ve sonbahar mevsimlerinde görülmesidir (Şekil 5-2c ve 5-2d). Yaz mevsiminde gözlenen kuvvetli ısınma eğilimleri, istasyonların büyük çoğunluğunda istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır (Şekil 5-2c). Bu durum bölgesel iklim değişikliği sinyallerinin kuvvetlenmesi açısından önemli ve üzerinde durulması gereken bir sonuçtur. Zaman dizisi çözümlemelerine göre, gözlenen ısınma eğilimi, kentleşme düzeyi ne olursa olsun neredeyse tüm istasyonlarda

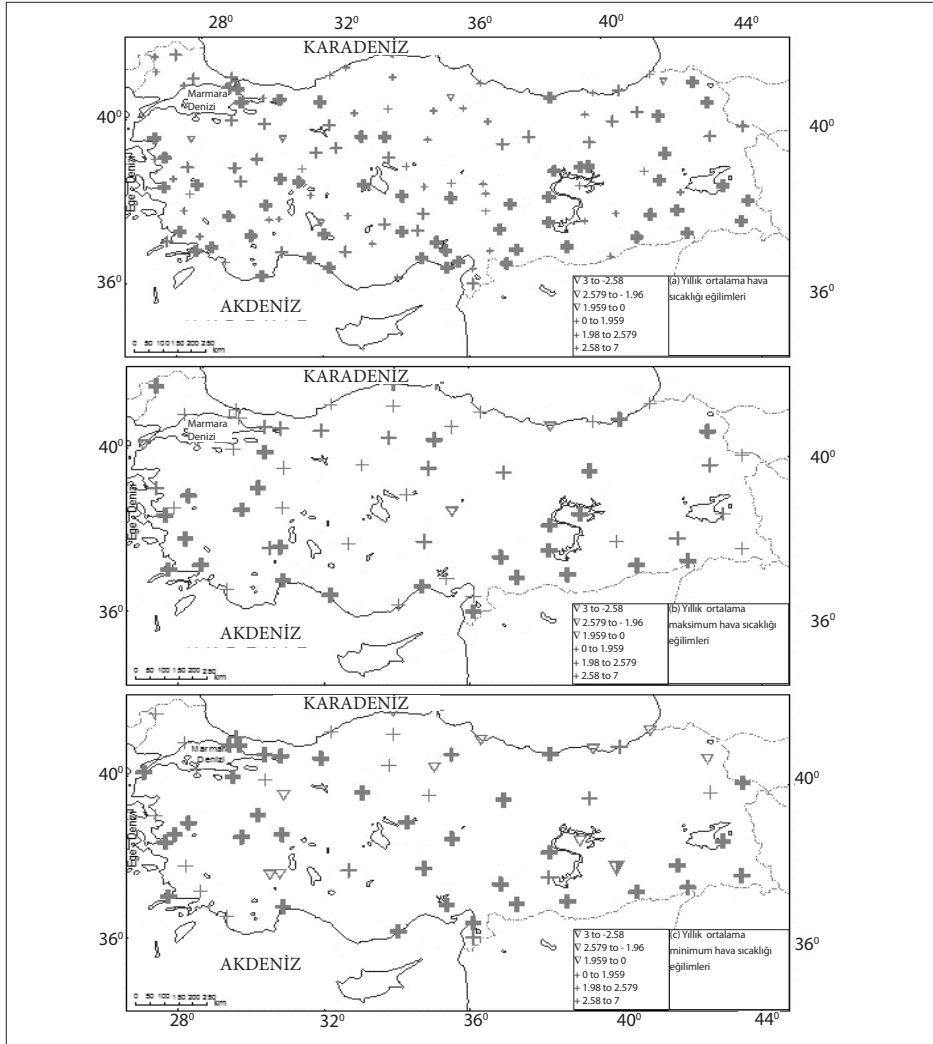


Şekil 5-2. M-K sıra ilişkisi anlamlılık sınamasına göre, Türkiye yaz (c) ve sonbahar (d) mevsimi ortalama hava sıcaklığı dizilerindeki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılışı desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 5-1'deki ile aynıdır

1980'li yıllarla birlikte hızlanmış ve önemli bir sıçrayışla birlikte yaklaşık son 20 yılda önemli bir sıcak döneme dönüşmüştür (zaman dizisi çizimleri burada verilmedi). Uzun süreli ortalamaya göre daha sıcak koşulların egemen olduğu bir döneme geçiş (iklim değişikliği sinyali), bazı istasyonlarda 1980'li yılların ortasında, bazılarında 1990'ların başında gerçekleşmiştir. Sonbahar ortalama hava sıcaklıkları da, çoğunlukla ısınma eğilimi gösterir (Şekil 5-2d). Birkaç istasyonda gözlenen soğuma eğilimi yalnız bir istasyonda istatistiksel açıdan önemliyken, gözlenen ısınma eğilimleri, Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde çoğunluğu %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

Yıllık ortalama, yıllık ortalama maksimum ve yıllık ortalama minimum hava sıcaklıklarında da, mevsimlik

hava sıcaklıklarında belirlendiği gibi (mevsimlik çözümleme sonuçlarının tümü burada verilmedi), Türkiye için yapılan önceki gözlenen sıcaklık eğilimleri çalışmalarının sonuçlarına göre ısınmanın giderek daha da kuvvetlendiği görülür (Şekil 6a, 6b ve 6c). Yıllık ortalama, yıllık ortalama maksimum ve yıllık ortalama minimum hava sıcaklıklarında, rastgele bir dağılışı gösteren azalma eğilimiyle nitelenen birkaç istasyon dışında, istasyonların çoğunluğunda belirgin bir ısınma eğilimi görülür. Gözlenen ısınma eğilimi, çoğu istasyonda istatistiksel açıdan önemlidir. Zayıf ısınma ve soğuma eğilimleri, genel olarak Karadeniz Bölgesi ile İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin kuzey bölümlerine dağılmış durumdadır. İstatistiksel açıdan anlamlı ısınma sinyalleri ise, çok belirgin bir alansal tutarlılık deseni gösterir. Tüm bu sonuçlar, ötekilerin yanı sıra, insan kaynaklı



Şekil 6. M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınavına göre, Türkiye yıllık ortalama (a), yıllık ortalama maksimum (b) ve yıllık ortalama minimum (c) hava sıcaklıklarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılışı desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 5-1'deki ile aynıdır

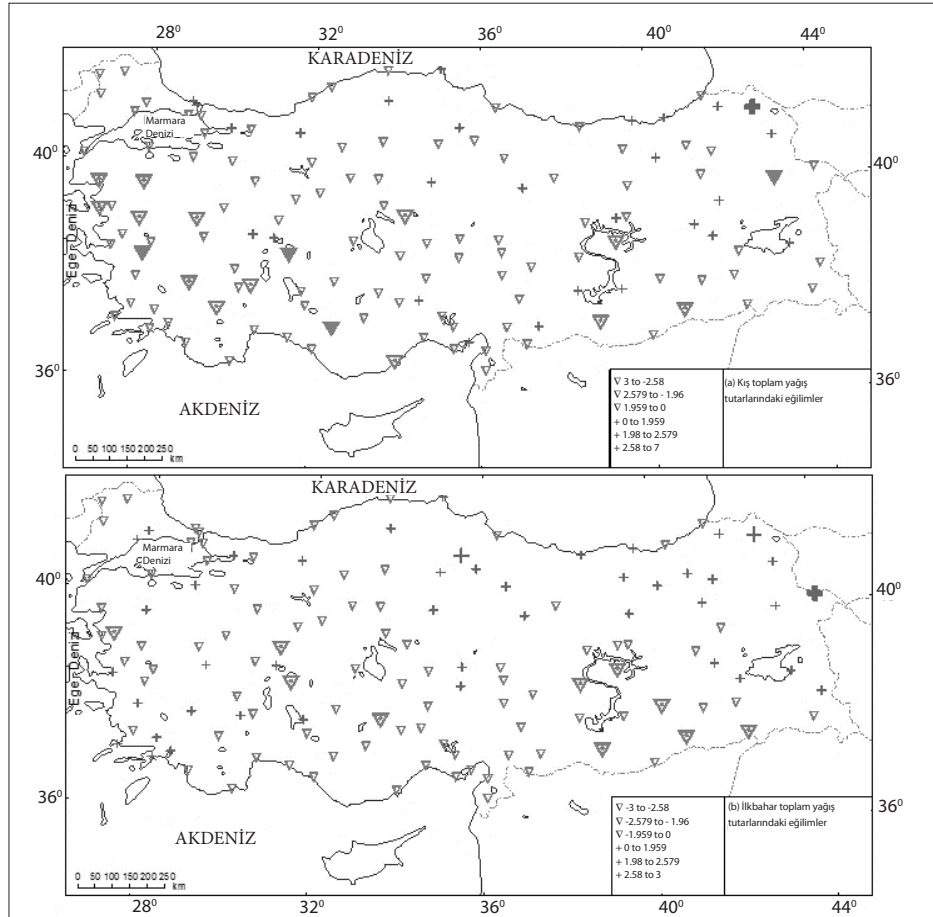
küresel iklim değişikliğinin en belirgin ve görece kolay belirlenen sonuçlarından birisi olan küresel ısınmanın Türkiye’de etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

### 1.2.2 Yağış toplamalarında gözlenen değişimler ve eğilimler

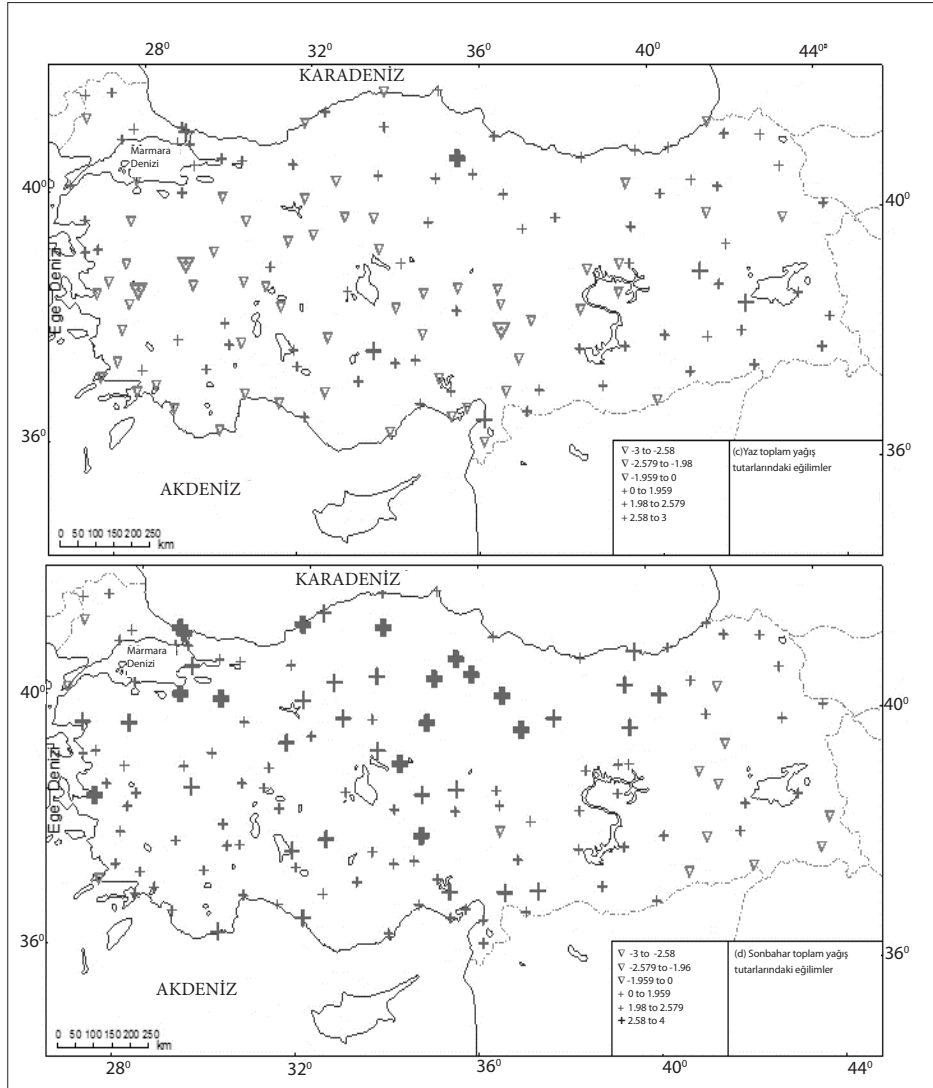
Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, çok kurak ile yarınemli arasındaki iklim kuşaklarının, iklimdeki kuvvetli değişmelerin etkilerine karşı daha açık olduğu anlaşılmaktadır. Bölgesel yağıştaki kısa süreli değişimler ve uzun dönemli dalgalanmalar, kurak ve yarıkurak arazilerin bilinen bir özelliğidir. Örneğin, Afrika’nın Sahra ve Sahel bölgelerindeki yağış tutarı, 1960’lı yıllardan başlayarak önemli ölçüde azalmıştır. Benzer kurak dönemler son jeolojik devirde (Kuvaterner) ve tarihsel geçmişte de oluşmasına karşın, Sahra’daki bu son kurak dönemin anakarasal ölçekteki bir kuraklığa daha fazla eğilimli

olduğu kaydedilmiştir. Yağışlardaki uzun süreli azalma eğilimleri ve belirgin kurak koşullar, özellikle 1970’lerin başından başlayarak, subtropikal kuşağın ve Türkiye’yi de içerecek bir biçimde Akdeniz Havzası’nın önemli bir bölümünde de etkili olmuştur (Türkeş, 2008b; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2014a; Türkeş, 2014b).

Gerçekte, bir karşılaştırma yapılırsa, Türkiye’de gözlenen mevsimlik ve yıllık yağış eğilimlerinin (bkz. Şekil 7-1, 7-2 ve 8), hava sıcaklıklarında gözlenen eğilimler kadar kuvvetli olmadığı görülür. Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi, yağışlardaki değişimler uzun süreli eğilimlerden çok, çeşitli değişim ve dalgalanma biçimleriyle birlikte kurak ve nemli (yağış) dönemlerin sıklıklarında ve büyüklüklerinde belirlenen önemli değişiklikler biçiminde olmaktadır (Tatlı ve Türkeş, 2008; Tatlı ve Türkeş, 2011; Trenberth ve ark.,







**Şekil 7-2. M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye yaz (c) ve sonbahar (d) mevsimi toplam yağış tutarlarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 7-1'dekininki aynıdır**

2007; Trigo ve ark., 2006; Türkeş, 1996; Türkeş, 1998, Türkeş, 2011a, Türkeş, 2011b; Türkeş, 2013b; Türkeş ve Erlat, 2003; Türkeş ve Erlat, 2005; Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş ve ark., 2009a ve Türkeş ve ark., 2009b). Yağış değişimlerinin alansal değişkenliği de kuvvetlidir. Sözü edilen bu kuraklaşma eğiliminden Türkiye'de en fazla, Ege, Akdeniz, Marmara, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri etkilenmiştir.

Türkiye yağışlarındaki uzun süreli eğilimler ve değişimler incelendiğinde, genel olarak kış ve ilkbahar yağış toplamalarında Türkiye'nin Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin iç ve güney bölümlerinde belirgin

bir azalma eğiliminin (kuraklaşma) olduğu görülür (Şekil 7-1a ve 7-1b). Kış mevsiminde Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gözlenen kuraklaşma eğilimlerinin bazıları istatistiksel olarak önemlidir (Şekil 7-1a). Bu sonuç Türkiye için daha önce yapılan yağış eğilimleri ve değişimlerine ilişkin çalışmalarla genel olarak uyumludur. Başka bir deyişle, kış mevsiminde Türkiye'nin özellikle batı, güney ve karasal iç-güney bölgelerinde gözlenen kuraklaşma eğilimi, yaklaşık olarak bu bölgelerde son 2 yılda (2008/2009-2009/2010) egemen olan ortalamadan daha yağışlı (nemli) koşulların varlığına karşın sürmektedir (Türkeş 2014b).

Yazın, önceki çalışmaların sonuçlarına benzer olarak, birkaç istatistiksel olarak önemli olmak üzere,

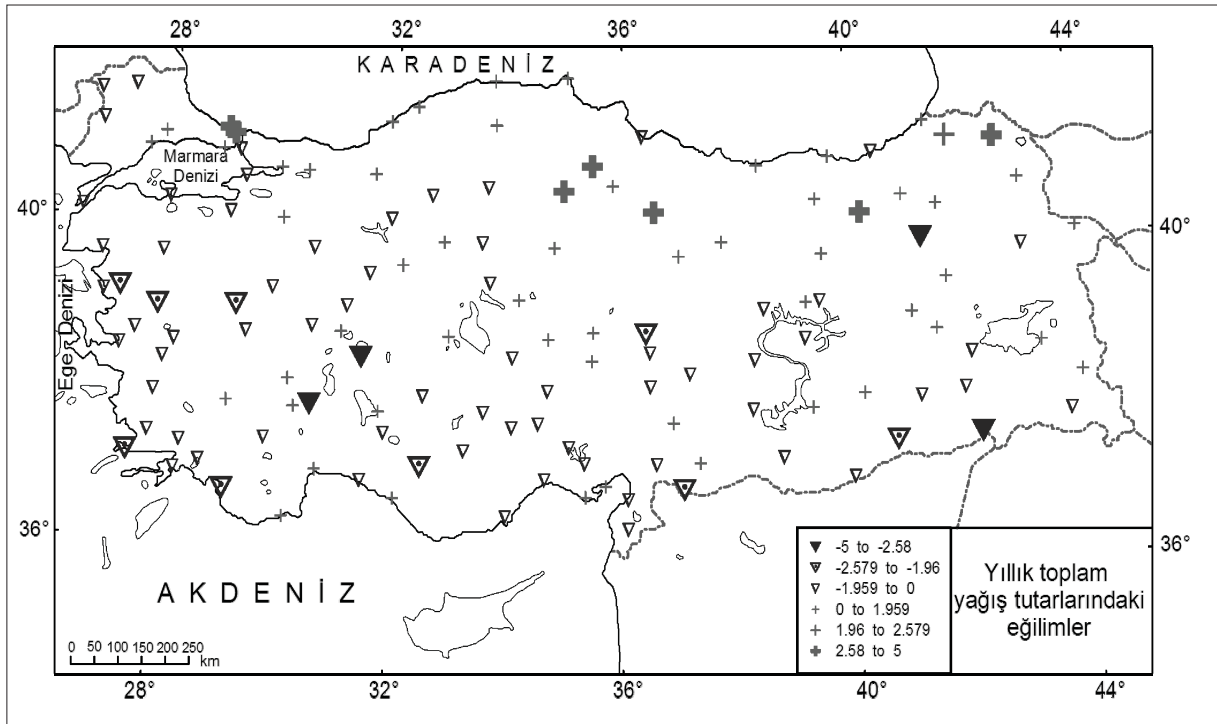
hem artış hem de azalış eğilimleri egemendir (Şekil 7-2c). Sonbaharda ise, önceki çalışmalardan ayrı olarak, daha önce gözlenen artış eğilimlerinin kuvvetlendiği ve artış eğilimi gösteren istasyon sayısının arttığı görülür. Sonbaharda, Türkiye'nin güneydoğu köşesini kaplayan bir alan dışında yağışlarda artış egemendir. Gözlenen artış eğilimleri, İç Anadolu'da, Batı Karadeniz Bölümü'nde, Güney Marmara ve Kuzey Ege bölümlerinde çoğu %1 anlamlılık düzeyinde olmak üzere, istatistiksel olarak önemlidir (Şekil 7-2d.). Bu artış eğilimlerinin ortaya çıkmasında, *Azorlar bölgesi üzerindeki subtropikal yüksek basınç ile Grönland ve İzlanda üzerindeki orta enlem alçak basıncı arasındaki geniş ölçekli atmosfer basıncı dalgalanması* olarak tanımlanan Kuzey Atlantik Salınımı'nın (NAO) negatif evresiyle bağlantılı olarak son yıllarda gözlenen uzun süreli ortalamadan daha nemli koşullar etkili olmuş olabilir (Türkeş, 2011a; Türkeş, 2012a).

Türkiye'deki yıllık toplam yağışlardaysa, temel olarak kış ve sonbahar yağışlarındaki eğilim ve değişimlerin beklenen bir yansıması olarak, Türkiye'nin Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu batı ve güney bölgelerinde bir azalma eğilimi görülür (Şekil 8). Öte yandan, Trakya'nın Tekirdağ ve İstanbul yöreleri ve Karadeniz Bölgesi ile İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin kuzey ve doğu bölümlerinde yıllık toplam yağışlarda bir artma eğilimi egemendir. Gözlenen artış ve azalış

eğilimlerinin ancak birkaçı istatistiksel olarak önemlidir.

Dünya Meteoroloji Örgütü'ne (WMO) göre, "bir yılın toplam yağışı bir alanın (ülke, bölge, bölüm, yöre, havza, vb.) yarısından (%50) fazlasında en az ardışık 2 yıl süresince uzun süreli ortalama (en az 30 yıllık) ya da normal yağış (genellikle 30 yıllık) tutarının %60'ından düşük olduğu zaman bir alanın kuraklıktan etkilendiği" kabul edilir. Bu tanıma ve çeşitli kuraklık belirleme/izleme yöntemlerine dayalı çalışmaların sonuçlarına göre, Türkiye'de İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı bölümlerinde 2012 yılında başlayan, 2013'te çok daha geniş bir alanda etkili olarak devam eden ve 2013 yaz kuraklığı ile de birleşerek şiddetlenen bir kuraklık (meteorolojik olarak başlayan ve giderek çeşitli bölgelerde ve çeşitli sistemler açısından tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara dönüşmüş olan), 2014 yılının ilk yarısında da Türkiye'nin önemli bir bölümünde etkili olmuştur (Türkeş 2014b; Türkeş ve Yıldız, 2014).

Son 40 yılda özellikle kış mevsimindeki ve yıllık yağış değişiklikleri dikkate alındığında, Türkiye'deki kuraklık olaylarının en şiddetli ve geniş yayılımı olanları, 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990 ve 2007-2008 dönemleri ile 1996 ve 2001 yıllarında oluşmuştur (Tatlı ve Türkeş, 2008; Türkeş, 1996, 1998, 1999, 2008b



Şekil 8. M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınavına göre, Türkiye yıllık toplam yağış tutarlarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılımı desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 5-1'dekinin aynısıdır

ve 2011a; Türkeş ve Erat, 2003 ve 2005; Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş ve ark., 2009a ve 2009b). Türkiye'nin büyük bölümünde etkili ve şiddetli su açığının ve yetersizliğinin yaşanmasına yol açan 2007-2008 kuraklığının ardından, 2009-2011 döneminde genel olarak uzun süreli ortalamadan ya da normal yağıştan daha nemli/yağışlı koşullar (yağışlı ya da ıslak devre) egemen olmuştur (Türkeş, 2012b; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2014a; Türkeş, 2014b). Ancak, 2012 yılında karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun bazı bölümlerinde yeniden etkili olmaya başlayan meteorolojik kuraklıklar, yaz kuraklığıyla birleşerek, 2013 yılının Türkiye'nin büyük bölümünde, özellikle karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri ile Orta ve Doğu Akdeniz, Doğu Marmara ve Orta Karadeniz bölümlerinde ortadan olağanüstü kurağa kadar değişen şiddette kurak geçmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, 01 Ekim 2013 - 17 Ocak 2014 tarihleri arasında Türkiye geneli için hesaplanan kümülatif yağış tutarında, uzun yıllar ortalamasına göre %37.0 ve 2013 yılına göre de %47.4 oranında azalma gerçekleşti (Türkeş ve Yıldız, 2014). 2013-2014 kuraklığı, 6 ay ve daha uzun zaman ölçekleri için hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) dağılım desenlerine bakıldığında açıkça görüleceği gibi, bir meteorolojik kuraklık olayı olmaktan çıkarak birçok bölgede ve yörede tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara dönüşmüştür (Türkeş, 2014a; Türkeş, 2014b).

### 1.2.3 Ekstrem hava ve iklim olaylarında gözlenen değişimler ve eğilimler

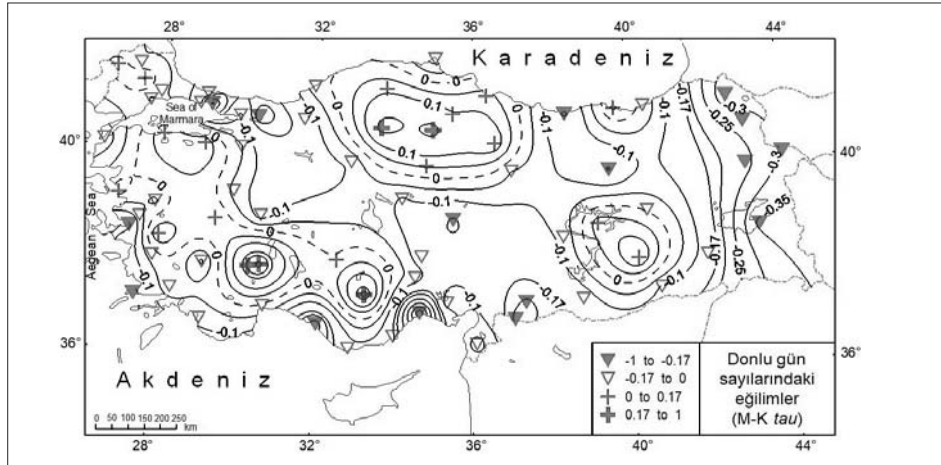
Uzun süreli klimatolojik ve meteorolojik gözlemlerden elde edilen yeni bulgular, 1950'lerden beri bazı ekstremlerde özellikle günlük ekstrem hava sıcaklıklarında (ör. en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, tropikal ve yaz günleri, vb.), donlu gün sayılarında ve sıcak hava dalgalarının sıklığı ve uzunluğunda da önemli değişiklikler ortaya çıktığını göstermektedir. IPCC (2013)'ye göre de, "Birçok aşırı hava ve iklim olaylarında 1950'den beri değişiklikler olduğu gözlenmiştir. Küresel ölçekte, yüksek olasılıkla soğuk gün ve gecelerin sayıları azalmış, sıcak gün ve gecelerin sayısı artmıştır. Avrupa, Asya ve Avustralya'nın geniş bölgelerinde sıcak hava dalgalarının sıklığı olasılıkla artmıştır." Bu tür değişiklikler, genel olarak Doğu Akdeniz ve Türkiye'de, özellikle 1990'lı yıllarla birlikte donlu ve kar yağışlı günlerin belirgin bir şekilde azalması; önemli bir bölümü istatistiksel olarak anlamlı olmak üzere, sıcak günlerin ve gecelerin sayıları ile gece en düşük ve gündüz en yüksek hava sıcaklıklarının artması; gündüz en yüksek-gece en düşük sıcaklık farklarının azalması şeklinde

kendisini hissettirmiştir (Erat ve Türkeş, 2008; Erat ve Türkeş, 2012; Erat ve Türkeş, 2013; Türkeş ve ark., 2002; Türkeş ve Sümer, 2004; Kartum ve ark., 2011). Başka bir deyişle, Türkiye'de yaklaşık son 25 yıllık dönemde, hem sıcaklık rejimi belirgin olarak daha ılıman ve sıcak koşullara doğru değişmiş, hem de sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli değişimler gerçekleşmiştir (Türkeş, 2008b; Türkeş, 2012a; Türkeş, 2013b).

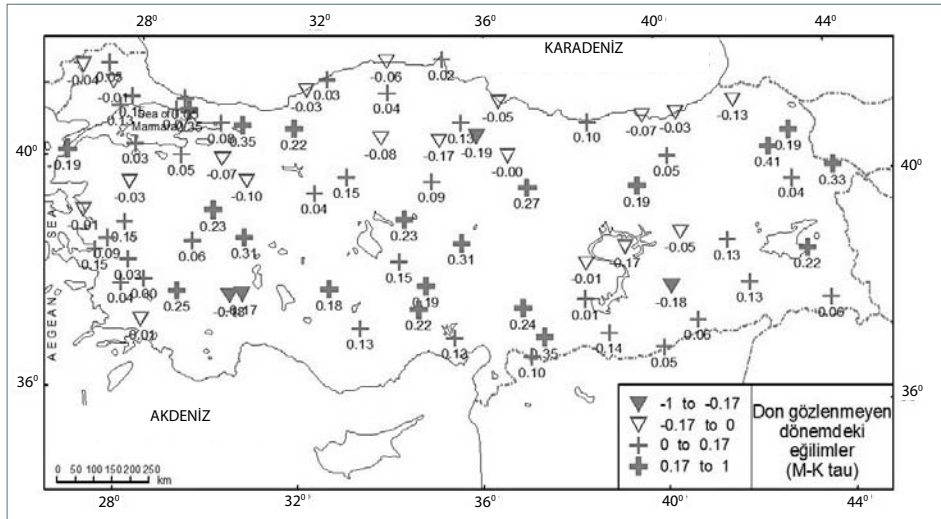
Bunlara ek olarak, sonraki bölümde görüleceği gibi, sera gazlarının atmosferik birikimlerindeki artışların, yüzey sıcaklıkları, alt troposfer hava sıcaklıkları, buharlaşma, bulut, yağış ve nem gibi değişkenlerde bölgesel ve küresel değişikliklere yol açması beklenmektedir. Türkiye'de ve onu çevreleyen bölgeler için gelecek iklim ve iklim değişkenliğine ilişkin küresel ve bölgesel iklim model benzeştirmelerinin kestirimleri, Türkiye'de genel olarak yağmur ve kar yağışlarının azalması, hava sıcaklıklarının, buharlaşmanın, sıcak hava dalgalarının ve kuraklık olaylarının sıklığı ve uzunluğunun artması vb. önemli iklimsel değişimlerin olacağını ve Akdeniz havzasındaki birçok ülke ile birlikte gelecekte Türkiye'nin de iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini gösterir (örn. IPCC, 2007; IPCC, 2013; Türkeş, 2012a; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2014a). Tüm bu nedenlerle, iklim değişikliğinin etkilerini önlemek ya da en azından azaltabilmek ve ona uyum açısından, Türkiye'nin gelecekteki ikliminin öngörülmesi yaşamsal bir önem taşır.

Ekstrem (aşırı) hava/iklim olayları, iklim sisteminin kendi doğal değişkenlik ve kaotik özellikleriyle bağlantılıdır. Bir hava ve iklim olayının "aşırı" olarak tanımlanabilmesi için, bazı önemli meteorolojik değişkenlerin istatistiksel dağılıma göre gözlenen değer aralığının üst (ya da alt) uçlarının yakınında yer alması ya da mevcut olan yüksek eşik değerinin üzerinde bir aşamaya ulaşması gerekir. İstatistiksel olarak "nadir" tanımına girmemesine karşın, ekosistemler ya da toplum üzerinde büyük oranda olumsuz etki yaratan hava ya da iklim olayları da aşırı olarak kabul edilmektedir (Türkeş ve Erat, 2018).

Aşırı hava ve iklim olayları sık oluşmamakla birlikte başta tarım ve gıda güvenliği gibi sektörler olmak üzere ekonomik koşullar ve insan sağlığı üzerinde büyük etkilere sahiptir. Ağırlıklı olarak kentler ve kıyılarda yoğunlaşan ve giderek artan nüfus, daha karmaşık hâle gelen alt yapı tesisleri, geçmişe göre günümüzde toplumların aşırı hava/iklim olaylardan olumsuz etkilenme potansiyelini de arttırmaktadır (Türkeş ve Erat, 2018).



**Şekil 9.** 1949/1950-2009/2010 döneminde kaydedilen yıllık donlu gün sayılarındaki uzun süreli doğrusal olmayan eğilimleri saptamak için hesaplanan Mann-Kendall (M-K) sıra ilişkisi katsayısı tau'nun (t) Türkiye üzerindeki coğrafi dağılışı deseni (Erlat ve Türkes, 2012). Burada ters üçgenler negatif (azalma) ve artı simgeler pozitif (artış) eğilimlerini gösterir. İçi dolu üçgenler ve kalın artı işaretleri ise, %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı eğilimlere karşılık gelir



**Şekil 10.** Şekil 10: 1950-2013 döneminde don gözlenmeyen dönemin (FFP) uzunluğunda ki uzun süreli doğrusal olmayan eğilimleri saptamak için hesaplanan Mann-Kendall (M-K) sıra ilişkisi katsayısı tau'nun (t) Türkiye üzerindeki coğrafi dağılışı deseni (Erlat ve Türkes, 2016). Burada ters üçgenler negatif (azalma) ve artı simgeler pozitif (artış) eğilimlerini gösterir. İçi dolu üçgenler ve kalın artı işaretleri ise, %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı eğilimlere karşılık gelir

Aşırı hava ve iklim olayları oluşum şekillerine göre iki şekilde sınıflandırılabilir. Buna göre bir aşırı olay, yağış ve rüzgâr hızı gibi tek bir meteorolojik değişkenin belirlenen mutlak ya da persantile dayanan eşik değerleri ya da tekrarlaması sıklığındaki özel eşik değerleri geçmesi ile gerçekleşir. Örneğin sıcak ve soğuk hava dalgaları o bölge için geçerli olan sıcaklıklardaki eşik değerlerin geçilmesi ile oluşur. Bazı aşırı hava/iklim olayları ise birden çok hava ve iklim olayının aynı zamanda gerçekleşerek oluşturdukları etkilerin birbirini şiddetlendirmesi ile gerçekleşir. Şöyle ki, belli bir

dönemde yağışın ortalamasının altında kalması aşırı bir iklim olayı değildir, ancak yağış yetersizliği ile aşırı sıcaklıkların bir araya gelmesi, aşırı bir iklim olayı olan kuraklığa dönüşmesine yol açabilir.

### 1.2.3.1 Yıllık donlu gün sayılarındaki değişimler

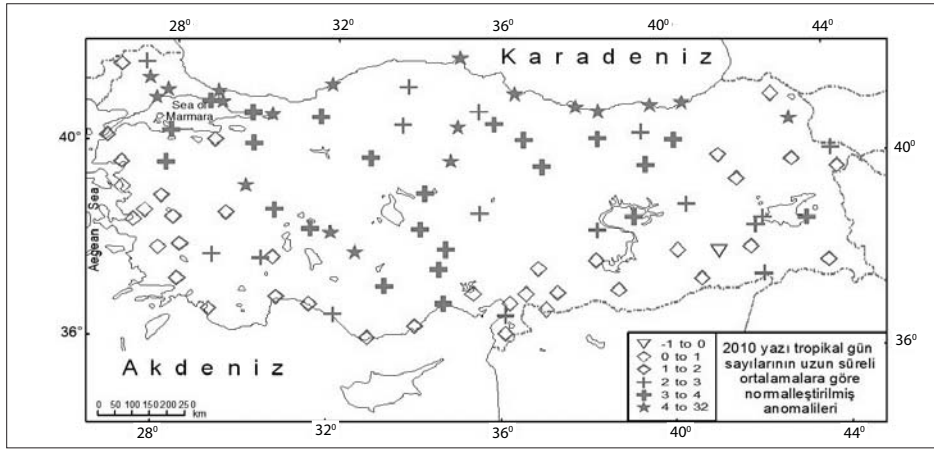
Ortalama, ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında gözlenen artışlarla bağlantılı olarak, Türkiye'de don olayı, yaz ve tropik gün sayıları gibi ekstrem hava ve iklim olaylarının şiddet, sıklık ve

süreleri de değişmiştir. Örneğin Türkiye’de 1950 ile 2010 yılları arasındaki dönemde yıllık don olaylı gün sayıları başta Doğu Anadolu, Marmara ve Akdeniz kıyılarındaki istasyonlarda olmak üzere azalma eğilimi gösterirken, İç Anadolu’nun kuzey ve güneybatı bölümleri ile Akdeniz Göller Yöresi’nde artış eğilimi sergilemiştir (Erlat ve Türkeş, 2012). Ardahan, Iğdır ve Van gibi istasyonlarda azalma eğilimi her on yıl için 4 güne yaklaşmıştır. Ortalama, ortalama maksimum ve minimum, yaz ve tropikal, tropikal gece hava sıcaklıkları ve rekor hava sıcaklıklarında gözlenen Türkiye ölçeğindeki alansal olarak tutarlı benzer eğilimlerin tersine (örneğin kuvvetli ısınma ya da artış eğilimleri vb. gibi), donlu gün sayılarında

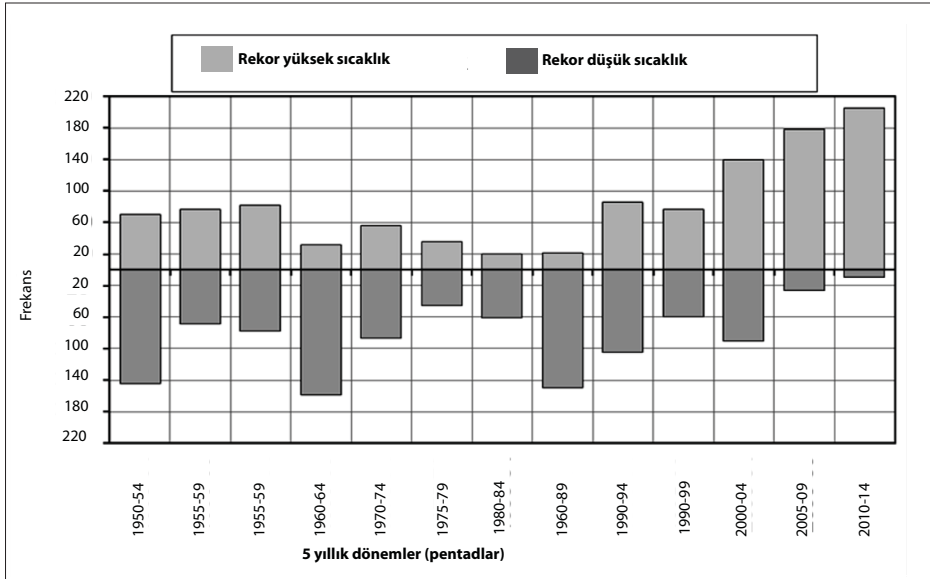
gözlenen bu iki farklı (artış ve azalış) eğilimin varlığı, don olaylarının oluşumunda mikroklimatolojik ve yöresel fiziki coğrafya koşullarının (ör. don çanakları, derin vadiler, bitki örtüsü yoğunluğu, bakı vb.) önemli bir rol üstlenmesiyle açıklanabilir (Şekil 9).

### 1.2.3.2 Don olayı gözlenmeyen dönemin uzunluğundaki değişimler

Türkiye’de 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte, don olaylarının başlama ve sona erme tarihlerinde de önemli bir değişim gözlenmektedir. 1950-2013 döneminde sonbaharın ilk don olayları 0.71 gün/on yıl olmak üzere daha ileri bir tarihe kayarken, ilkbaharın son don olayları her on yıl için 0.64 gün



Şekil 11. 2010 yılı yaz mevsimi tropikal gün sayılarının 1961-1990 normal döneminin ortalama ve standart sapmasına göre hesaplanan yıllık normalleştirilmiş anomalilerin Türkiye üzerindeki coğrafi dağılışı (Erlat ve Türkeş, 2013). En kuvvetli ve kuvvetli anomaliler, sırasıyla kalın artı ve içi dolu yıldız simgesi ile gösterilmiştir



Şekil 12. 1950-2014 döneminde Türkiye’deki 81 istasyonda gözlenen rekor maksimum ve rekor minimum hava sıcaklığı olaylarının yıllık sayılarının pentadlara göre değişimi (Türkeş ve Erlat, 2018)



olmak üzere daha erken bir tarihte son bulma eğilimi göstermiştir (**Erlat ve Türkeş, 2016**). Söz konusu belirgin değişikliklerin doğal bir sonucu olarak, Türkiye'nin büyük bir bölümünde don olaylarının gözlenmediği (FFP) dönemin uzunluğunda da istatistiksel açıdan anlamlı bir artış gerçekleşmiştir (Şekil 10).

### 1.2.3.3 Yaz ve tropikal gün sayılarındaki değişimler

1950-2010 döneminde Türkiye'de yaz ( $\geq 25^\circ\text{C}$ ) ve tropikal gün  $\geq 30^\circ\text{C}$ ) sayılarındaki değişimin incelendiğinde, alansal ve zamansal olarak farklılıklar bulunduğu gözlenir. Yaz ve tropikal gün sayıları 1950-1975 döneminde hafif bir azalma eğilimi, 1975 sonrası değerlerde belirgin bir artış eğilimi göstermiştir. Türkiye'de yaz ve tropikal gün sayıları açısından en dikkat çekici yıl 2010'dur. Bu yılda, başta Kuzeydoğu Anadolu bölümü olmak üzere Türkiye'de incelenen istasyonların yaklaşık yarısında yaz ve tropikal (Şekil 11) gün sayıları 1961-1990 ortalamasının 3 standart sapma değeri üzerine çıkmıştır (**Erlat ve Türkeş, 2013**).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) İklim Komisyonu tarafından önerilen 27 iklim indisine göre Türkiye'de ekstrem iklim olayları incelendiğinde, birçoğu %5 düzeyinde anlamlı olmak üzere yaz, sıcak gün ve gece ile tropikal gece sayılarının 1960-2010 döneminde artış, don olaylı gün, serin gün ve serin gece sayılarının ise azalma eğilimi gösterdiği görülür. Türkiye'de yaz mevsiminde günlük maksimum sıcaklıklarda 90. persantile ölçütüne göre sıcak gün ve sıcak dalgaları incelendiğinde, 1965-2006 yılları

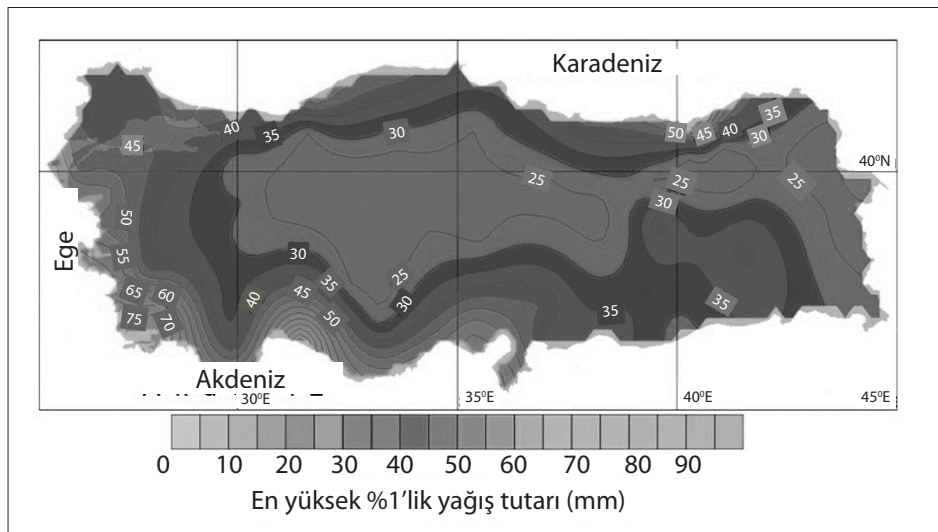
arasında Türkiye'nin batısında sıcak gün sayıları ve sıcak dalgalarının süresinin arttığı, bu artışın 1998 sonrası belirginleştiği gözlenir. Ayrıca bu dönemde sıcak dalgalarının sayısı ile Akdeniz'de deniz yüzeyi sıcaklıkları ve orman yangınları arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğu söylenebilir (**Erlat ve Türkeş, 2013**).

### 1.2.3.4 Rekor maksimum ve rekor minimum hava sıcaklıklarındaki değişimler

Türkiye'de 1950-2014 döneminde kaydedilen rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının yıllık sayılarındaki zamansal değişimler incelendiğinde, rekor minimum hava sıcaklığı frekansının 1950'li yıllardan günümüze doğru azaldığı görülmektedir. Buna karşın özellikle 2000'li yıllarla birlikte rekor maksimum hava sıcaklığı frekansında ise bir artış eğilimi olup, 1950 yılından bu yana rekor maksimum sıcaklık olaylarının yarısı 2000-2014 döneminde kaydedilmiştir (Şekil 12). Çalışmada kullanılan 81 istasyonda en yüksek sıcaklık değerleri 2000 yılında, en düşük sıcaklıklar ise 1950 yılında kaydedilmiştir (**Erlat ve Türkeş, 2015**). Rekor maksimum hava sıcaklıklarının frekansının arttığı son yıllarda, çoğunlukla kuvvetlenmiş ve uzun dönemli güney sektörlü yüzey ve sınır katmanı rüzgârları ile asıl olarak 850 hPa jeopotansiyel yükseklik düzeyinde gelişen güney sektörlü sıcak hava adveksiyonları gözlenmektedir (**Türkeş ve Erlat, 2018**).

### 1.2.3.5 Son yağıştan sonra gerçekleşen en uzun yağışsız gün sayılarındaki değişimler

Türkiye'de ekstrem yağışların oluşumunu sağlayan Avrupa ve Akdeniz Havzası'ndaki atmosfer



Şekil 13. Türkiye'deki günlük yağış toplamalarına göre, en yüksek %1'lik günlük yağış eşiklerinin (mm) Türkiye üzerindeki alansal dağılışı (Lolis ve Türkeş, 2016)

dolaşımı karakteristiklerinin çözümlendiği bir çalışmada, 1979-2011 döneminde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 70 istasyonunda kaydedilen günlük yağış toplamalarının en üst (yüksek) %5 ve %1 yüzde birliklerine dayanan bir kriter kullanılarak, Türkiye'deki günlük aşırı yağışların klimatolojik ve meteorolojik özellikleri ayrıntısıyla incelenmiştir. Günlük yağış verilerinin en yüksek %1'lik yağış eşiklerinin (mm) Türkiye üzerindeki alansal dağılışı desenleri Şekil 13'de gösterilmiştir (**Lolis ve Türkeş, 2016**). Bu dağılışı desenine göre, günlük en üst ya da en yüksek %1'lik yağış eşik değerleri (40 mm'nin üstü) Türkiye'nin kıyı kuşağında, özellikle de Güneybatı Anadolu, Batı Akdeniz ve Doğu Karadeniz'in kıyı kuşağı ve ardındaki dağlık alanlarda görülür. Düşük değerler ise, deniz etkisinden uzak karasal iç ve doğu bölgelerde egemendir.

Türkiye'deki - MGM'nin 1970-2011 dönemi günlük yağış verilerine dayanarak- kuraklıkların alansal ve zamansal klimatolojik ve istatistiksel karakteristiklerini ortaya çıkarmaya yönelik yeni bir çalışmada, belirli bir bölgedeki kurak olma özelliğini (İng: *dryness*) nitelemeye yönelik görece yeni bir yaklaşım olan "son yağış olayından sonra gerçekleşen en uzun yağışsız/kuru günler (DDSLR)" kullanılmıştır. Bir yerdeki DDSLR, şiddet, tutarlılık ve kuraklıkların yıl içi ve yıllarası değişimlerini ortaya koyan *zamansal belirsizlik* olarak belirlenen 3 farklı ölçü kullanılarak değerlendirilmektedir. Sözü edilen çalışmada, DDSLR, yağış mevsimselliğinin bir ölçüsü olan Akdeniz İklim İndisi (MCI) yaklaşımıyla birlikte ele alınmıştır. Sonuç olarak, DDSLR'ye ilişkin üç ölçü, Türkiye'nin nemli Akdeniz kıyı bölgesi ile zaten yarıkurak bir iklimin egemen

olduğu Suriye ve Irak sınırları boyunca en yüksek değerleri göstermiştir. Bu bölgelerdeki kuraklık indisleri, daha az yıllık yağış alan karasal İç Anadolu Bölgesi'nden daha büyüktür. Kuraklığın en az ya da en zayıf olduğu alanlarsa, Türkiye'nin nemli ılıman ve her mevsim yağışlı tipik bir orta enlem iklimin egemen olduğu Karadeniz kıyı kuşağı boyuncadır. Kuraklaşmanın bir ölçüsü olan DDSLR'deki artışlar (kuraklaşmanın kuvvetlenmesi) ise, Türkiye'nin yaklaşık olarak batı yarısında ve özellikle kuzeybatı bölümünde daha belirgindir (Şekil 14).

### 1.2.3.6 Türkiye hortum klimatolojisi ve gözlenen değişimler

Son yıllarda ve aylarda yaşanan ani ve şiddetli hava olayları, Marmara Bölgesi'nin çeşitli yerlerinde (İstanbul, Çanakkale, Bandırma yörelerinde) ve Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kuşağında özellikle Antalya Körfezi'nde oluşan şiddetli gök gürültülü fırtınalar, hortum olayları, ceviz büyüklüğündeki dolular, şiddetli yağış olaylarının artması, bazı bölgelerdeyse genel olarak yağış tutarlarının azalması ve kuraklık olayların nedenleri ve küresel iklim değişikliği ile bağlantıları vb. gibi çok sayıda yeni ve önemli konuyla karşı karşıya olduğumuzun açık göstergeleridir.

Uygun yüzey ve yüksek atmosfer koşullarında tam gelişme olanağı bulan şiddetli bir gökgürültülü fırtına, özellikle bir ya da birden fazla hortumla birlikte geliştiğinde, kara üzerinde çok yıkıcı ve afet boyutunda hava koşulları oluşturabilir. Hortumların, son yıllarda aralarında Türkiye'nin de yer aldığı ABD dışındaki ülkelerde daha fazla ilgi görmesi, oluşum



Şekil 14. Türkiye'de DDSLR sayılarındaki doğrusal eğilimler (Kutiel ve Türkeş, 2017)

sıklıklarındaki değişimler kadar, şiddet ve etkilerindeki artış ya da kuvvetlenme ile küresel iklim değişikliği, özellikle yüzey (kara ve deniz) ve alt atmosfer (troposfer) sıcaklıklarının ve buharlaşmanın (özellikle denizler ve okyanuslardan) artışı arasında yakın bir bağlantı kurulmasıdır. Kuramsal olarak ve bazı iklim model çalışmalarına göre, yüzey ve alt atmosfer sıcaklıklarının, buharlaşmanın ve atmosferin su buharı içeriğinin (örn. su buharı karışma oranı ya da özgül nemin) artması sonucunda, konvektif kararsızlık ya da konveksiyon artabilecektir (**Türkeş, 2015a; Türkeş, 2015b**). Bunun sonucunda, özellikle daha fazla yoğunlaşma gizli ısısının açığa çıkması, hava kütlesi orajlarının (olağan gökgürültülü fırtına) ve süper hücre fırtınalarının şiddetlerinin ve hortum oluşturma kapasitelerinin kuvvetlenmesi beklenebilir (**Türkeş, 2015b; Türkeş, 2017**). Şiddetli gökgürültülü fırtına ve hortum sıklıklarının değişmesi konusu ise, oluşumları farklı düzenekler ile çeşitli fiziki coğrafya öge ve etmenlerine de bağlı olduğu için, henüz daha az kesinlikle öngörülebilir bir aşamadır.

Daha önceki çeşitli çalışma ve açıklamalarımızda (örn. Türkeş, 2015a, 2017; [www.hurriyetdailynews.com/climate-scientist-warns-of-possible-increase-in-number-of-whirlwinds-in-turkey-117179](http://www.hurriyetdailynews.com/climate-scientist-warns-of-possible-increase-in-number-of-whirlwinds-in-turkey-117179); [www.artigercek.com/yazarlar/pelincengiz/iklim-degisir-akdeniz-olmaz-akdeniz-de-hortum-olur-firtina-olur...](http://www.artigercek.com/yazarlar/pelincengiz/iklim-degisir-akdeniz-olmaz-akdeniz-de-hortum-olur-firtina-olur...), vb.) gelecekte de en fazla hortum (su hortumu ve hortum) olayının oluşabileceği yerlerden

biri olarak tanımladığımız Güneybatı Anadolu, Batı Akdeniz Bölümü ve özellikle de Antalya Körfezi, "Türkiye Hortum Klimatolojisi" haritasında açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'nin hortum olaylarının en çok gözlemlendiği coğrafi alana karşılık geliyor (Şekil 15). Kuşkusuz, hortumların Akdeniz Bölgesi'nde, özellikle Antalya Körfezi'nde daha sık ve daha etkili olmasının kendine özgü bazı önemli fiziki coğrafi ve meteorolojik nedenleri vardır. Bir su hortumunun ya da hortumun oluşabilmesi için, mutlaka iyi gelişmiş (çok etkin) bir gökgürültülü fırtına yani bir kümülonimbüs (Cb) bulutunun ya da birleşik bir Cb kütlesinin ya da bazı çok şiddetli hortumlarda orta ölçekli bir siklonun (mezo siklon) varlığı gereklidir. Hortumlar, bir soğuk cephenin önünde, bir sağanak çizgisi ya da kararsızlık alanında + çok nemli ve kararsız sıcak havanın içinde oluşabilir. Antalya Körfezi ve benzeri coğrafyalarda, bunlara ek olarak, deniz etkisi ve orografik zorlama hortum oluşumunu çok yakından denetler ya da tetikler.

Son yıllarda özellikle son on yıllık dönemde hemen her etkili (çeşitli hasar, can ve mal kayıplarına neden olan) hortum olayından sonra, "Türkiye'de giderek daha fazla hortum olayı oluşmakta" olduğuna ilişkin çeşitli görüşler ve açıklamalar, yazılı, sözlü ve sosyal medyada yer almaktadır. Acaba bu tür açıklamaların bilimsel bir kanıtı ya da desteği var mıdır? Bu soruyu belirli bir güven düzeyinde doğru olarak yanıtlayabilmek için, Türkiye'de gerçekleşen hortum olaylarının alansal ve zamansal



**Şekil 15. Türkiye'de oluşan hortum olaylarının alansal dağılışı deseni. Harita, 1 Ocak 2000 – 19 Şubat 2019 döneminde gözlenen, rapor edilen ya da çeşitli haber kaynaklarından Şiddetli Hava Avrupa'nın elde ettiği ve doğrulamasını yaptığı bilgi ve verilere dayanarak hazırlandı (<http://www.severe-weather.eu/>)**



değişimlerini incelemek gerekir. Bunun için yapılması gereken en doğru yaklaşım ise, hortum olayı sıklıklarına ilişkin zaman dizisi verilerinin alansal ve zamansal değişimlerinin istatistiksel çözümleridir.

Henüz Türkiye’de bu tür ayrıntılı klimatolojik ve istatistiksel çözümler yapılabilecek bir hortum veri tabanı ne yazık ki henüz yoktur. Bugünkü koşullarda, bu tür bir temel analiz ancak Şiddetli Hava Avrupa merkezinin tüm Akdeniz ve Avrupa ülkeleri için topladığı ve doğrulamasını yaptığı hortum olayları veri tabanından yararlanılarak yapılabilir (**Dotzek ve ark.,**

**2009**). Bu veri tabanına dayanarak gerçekleştirdiğimiz bir ilk çalışmada, başlangıç olarak, Türkiye’de 1 Ocak 2000 (00:00 GMT) – 31 Aralık 2009 (24:00 GMT) arasındaki 10 yıllık dönemde oluşan toplam hortum olayı sayıları ile 1 Ocak 2010 (00:00 GMT) – 19 Şubat 2019 (00:00 GMT) arasındaki yaklaşık 9 yıl 20 günlük dönemde oluşan toplam hortum olayı sayılarının genel bir karşılaştırması yapıldı (Şekil 16). Şekil 23, geçen yaklaşık son 10 yıllık dönemde (Ocak 2010-Şubat 2019) gözlenen hortum sayısının, ondan önceki 10 yıllık dönemde (Ocak 2000-Aralık 2009) gerçekleşen hortum olayı sayılarından belirgin olarak daha fazla olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, son 10



(a) 1 Ocak 2000 (00:00 GMT) - 31 Aralık 2009 (24:00 GMT) arasındaki 10 yıllık dönemde Türkiye’de oluşan toplam hortum olayı sayılarının coğrafi dağılışı



(b) 1 Ocak 2010 (00:00 GMT) - 19 Şubat 2019 (00:00 GMT) arasındaki yaklaşık 9 yıllık dönemde Türkiye’de oluşan toplam hortum olayı sayılarının coğrafi dağılışı

**Şekil 16. Şiddetli Hava Avrupa’nın elde ettiği ve doğrulamasını yaptığı bilgi ve verilerle dayanarak hazırlandı** (<http://www.severe-weather.eu/>)

yıllık dönemde hortum olaylarının sıklığında önceki yıllara göre belirgin bir artış söz konusudur. Şekil 23 incelendiğinde, başka bir dikkat çekici durumun varlığı da göze çarpmaktadır. Bu ise asıl olarak son 10 yıllık dönemde daha önce hiç hortum olayı kaydı olmayan Doğu Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu bölümlerinde artık hortum olaylarının oluşmakta oluşudur.

Tüm bu olanlar hem iklimin tüm alan ve zaman ölçeklerindeki kendi değişkenliğinin ve insanın küresel iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerinin, hem de insanın yerel ve bölgesel iklimler, jeomorfoloji (eğim, eğimin şekli, yamaç ve toprak kararlılığı, vb.), bitki örtüsü, etkili yağış (buharlaşma-terleme, toprağa sızma ve yüzey akışı arasındaki denge), hidroloji ve hidrolojik ağ deseni (sıklığı, biçimi, rölyef enerjisi, vb.) üzerindeki olumsuz etkilerinin sonuçlarıdır.

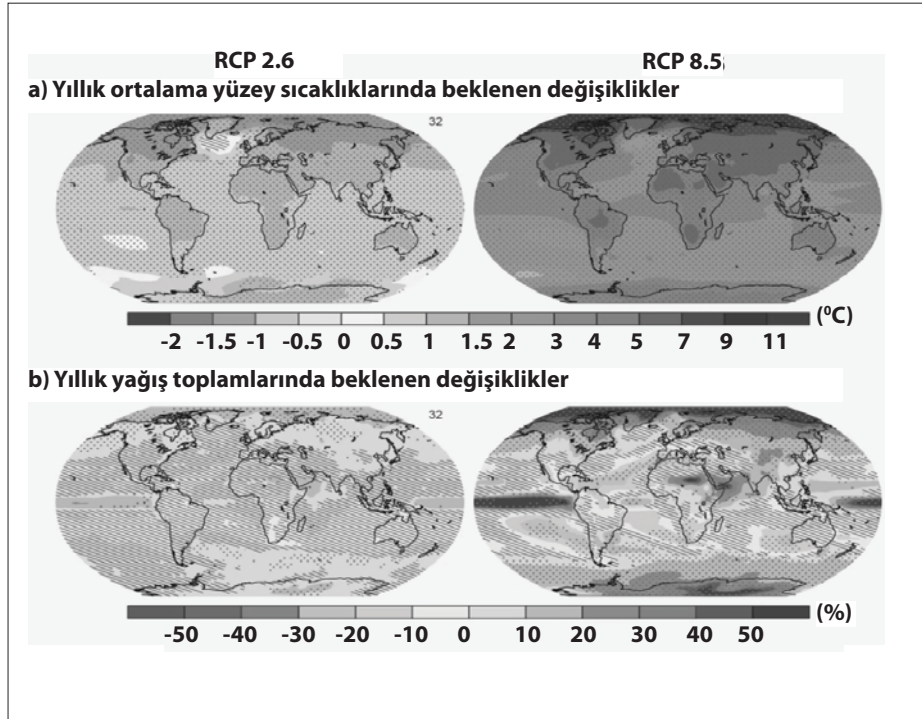
Nedeni ne olursa olsun, günümüzde küresel ya da bölgesel iklim değişikliklerinin (yüzey ve alt atmosfer sıcaklıklarının ve buharlaşmanın artması vb.) sonuçlarını görüyor ve bunlarla bağlantılı şiddetli sel, taşkın, hortum, heyelan, tropikal ve orta enlem siklonik fırtınaları gibi aşırı hava ve iklim olayları ve afetlerinin etkilerini yaşıyoruz.

Ayrıca, buraya kadar ele aldığımız çok sayıda örnek, birçok etkisine ve olumsuz sonuçlarına ek olarak ister küresel ister bölgesel ölçekte olsun, iklim değişikliği aşırı (uç) hava ve iklim olaylarının sıklığında, şiddetinde, alansal dağılışında, uzunluğunda ve zamanlamasında değişikliklere yol açtığını göstermektedir.

Model çalışmaları da gelecekte iklimimizin dünyanın birçok bölgesinde yüksek olasılıkla daha fazla değişken (oynak) olacağını gösteriyor. Değişkenliğin artması ise, özellikle Akdeniz Havzası ve Türkiye'nin büyük bölümünde, daha fazla ve şiddetli yağış, gök gürültülü fırtına ve hortum olayı, daha fazla ve şiddetli sel, taşkın ve kütle hareketi, daha fazla ve şiddetli sıcak hava dalgası (örn. **Kuglitsch ve ark., 2010, Türkeş ve Erlat, 2018**), kuraklık ve orman yangını ile karşı karşıya kalacağımız anlamına geliyor. Daha açık söylemek gerekirse, gelecekte Türkiye ve bölgesinde, iklim 'normallerinden' ya da uzun süreli ortalamalarından daha kuvvetli ve daha sık sapma eğiliminde olan daha değişken ve aşırılıkları daha kuvvetli bir iklimimiz olması beklenmelidir.

## 2. Model benzetimi küresel ve bölgesel iklim değişiklikleri

Hızla gelişen iklim modelleri, gözlenen kıtasal ölçekli yüzey sıcaklığı desenlerini ve onlarca yıllık zaman



Şekil 17. Şekil 17: Yeni IPCC senaryolarına (RCP2.6 ve RCP8.5) dayanarak; (a) Yıllık ortalama yüzey sıcaklığı (°C olarak) ve (b) yıllık yağış toplamlarında (%) 1986-2005 ortalamasına göre 2081-2100 döneminde gerçekleşmesi beklenen model kestirimi değişiklikler (IPCC, 2013)



ölçeklerindeki eğilimleri, 20'nci yüzyılın ortalarından beri gözlenmiş olan daha hızlı ısınma eğilimini ve büyük volkanik püskürmelerden hemen sonra ortaya çıkan soğumayı yeniden üretmektedir. İnsan etkisi, atmosfer ve okyanus ısınmasında, küresel su döngüsündeki değişikliklerde, kar ve buzdaki azalmalarda, küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesinde ve bazı aşırı iklim olaylarındaki değişikliklerde saptanmıştır. İnsan etkisi çok yüksek olasılıkla 20'nci yüzyılın ortasından beri gözlenen ısınmanın en önemli nedeni olmuştur (IPCC, 2013).

### 2.1 Küresel iklim değişikliği kestirimleri

IPCC'ye (2013) göre, sera gazlarının sürmekte olan salımları, daha fazla ısınmaya (Şekil 17a) ve başta buharlaşma ve yağış (Şekil 17b) gelmek üzere iklim sisteminin tüm bileşenlerinde değişikliklere neden olacaktır. İklim değişikliğinin sınırlandırılması, sera gazı salımlarının önemli ve sürekli azaltılmasını gerektirecektir. IPCC 2013'teki yeni senaryolara (Temsili Konsantrasyon Yolu - RCP) dayalı öngörülen iklim değişikliği, senaryo farklılıkları hesaba katıldıktan sonra, hem desenler hem de büyüklük açısından bir önceki IPCC Raporu'ndakine (2007) benzemektedir. Küresel yüzey sıcaklığı değişikliği, 21'nci yüzyılın sonuna kadar, biri (RCP2.6) dışında tüm yeni IPCC senaryolarına (RCP'ler) dayanarak *olasılıkla* 1850 - 1900 dönemine göre 1.5 °C'yi ve iki yeni senaryoya (RCP6.0 ve RCP8.5) göre *olasılıkla* 2 °C'yi aşacaktır. Küresel ısınma, 2100 yılı sonrasında da sürecektir. Küresel ısınma ve yağış değişimleri, yıllararası değişkenlikten on yıllık değişkenliklere kadar çeşitli değişkenlikler sergilemeyi sürdürecektir ve bölgesel olarak türdeş olmayacaktır (Şekil 17a ve 17b).

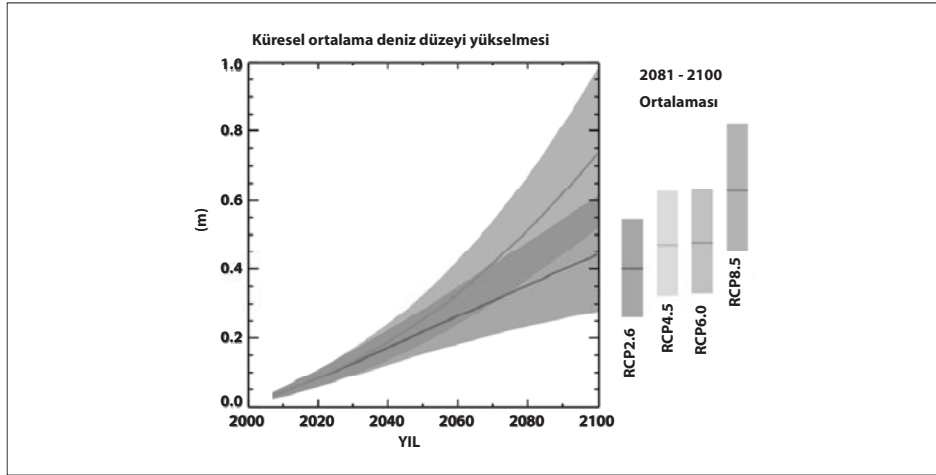
Okyanuslar, 21'nci yüzyıl boyunca da ısınmalarını sürdürecektir. Yüzeyde biriken ısı enerjisi, derin okyanusa doğru geçecek ve okyanus dolaşımını etkileyecektir. Arktik deniz buzu örtüsü *olasılıkla* azalmaya ve incelmeye devam edecek ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsü, küresel ortalama yüzey sıcaklığı yükseldikçe, 21'nci yüzyıl boyunca azalacaktır. Küresel ortalama deniz düzeyi 21'nci yüzyıl boyunca yükselmesini sürdürecektir (Şekil 18). Tüm IPCC senaryoları, deniz düzeyi yükselmesinin oranının, artan okyanus ısınması ve buzullar/buz kalkanlarından artan kütle kaybı nedeniyle, *yüksek olasılıkla*, 1971-2010 döneminde gözlenen yükselmeyi geçeceğini göstermektedir. Dahası, iklim değişikliği, atmosferdeki CO<sub>2</sub>'nin artışıyla daha da büyütürken, karbon döngüsü süreçlerini etkileyecektir. Karbonun okyanuslar tarafından daha fazla biriktirilmesiyle, okyanus asitliğinin artmasına yol açacaktır.

Son olarak, küresel iklim değişikliğinin pek çok özelliğinin ve etkisinin, CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı salımları durdurulsa bile yüzyıllarca süreceğini hatırlatmakta yarar görüyorum. Ayrıca bu olgu, insan kaynaklı sera gazlarının geçmiş, günümüz ve gelecek salımlarının neden olduğu yüzyıllarca sürecektir önemli bir iklim değişikliği yükümlülüğünün (ör. BM Kyoto Protokolü ve sonrası) de varlığını sürdüreceğini göstermektedir.

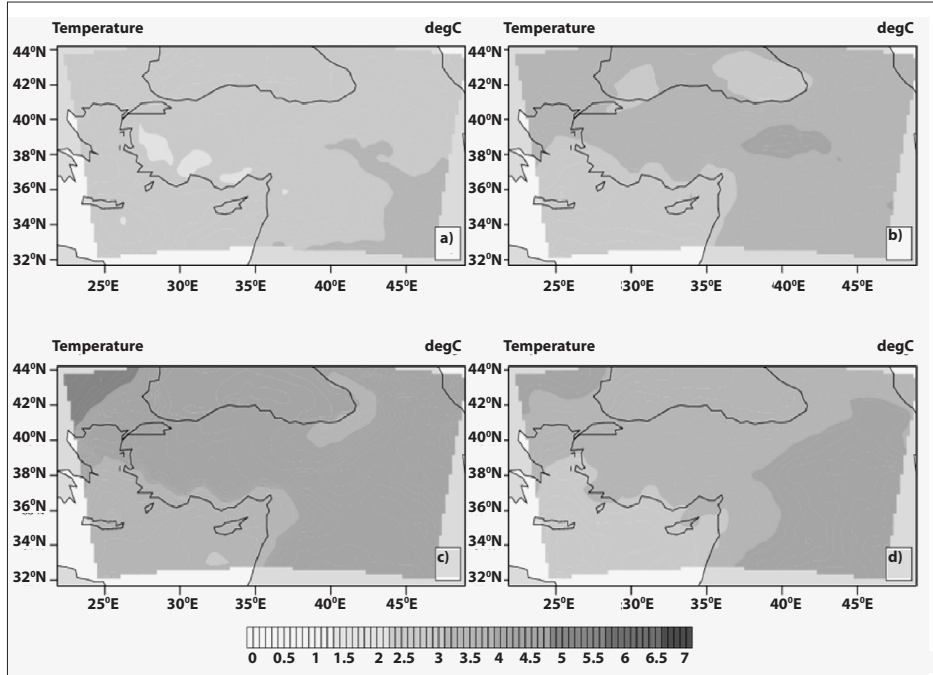
### 2.2 Türkiye ve bölgesi için iklim değişikliği kestirimleri

Türkiye'de ve onu çevreleyen bölgelerde (genel olarak Balkanları ve Orta Doğu Bölgesini içeren Doğu Akdeniz Havzası) gözlenen iklim değişikliği ve değişkenliğine ilişkin çalışmalar ile küresel ve bölgesel iklim modellerinin benzeştirmeleri ve kestirimleri, Türkiye'de önemli iklimsel değişimlerin olduğunu ve Akdeniz havzasındaki birçok ülke ile birlikte gelecekte Türkiye'nin de iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini gösterir (IPCC, 2007; IPCC, 2013; Trigo ve ark., 2006; Türkeş, 1996; Türkeş, 1998; Türkeş, 1999; Türkeş, 2008b; Türkeş, 2012a; Türkeş, 2012b; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2014a; Türkeş ve Sümer, 2004; Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş ve ark., 2002; Türkeş ve ark., 2009a; Türkeş ve ark. 2009b; Türkeş ve ark., 2011; Turp ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2015). Tüm bu nedenlerle, iklim değişikliğinin etkilerini önlemek ya da en azından azaltabilmek ve ona uyum açısından, Türkiye'nin gelecekteki ikliminin öngörülmesi yaşamsal bir önem taşır. Tatlı ve Türkeş (2008, 2011), Önal ve Semazzi (2009), Altınsoy ve ark. (2012), Önal ve Unal (2014), Öztürk ve ark. (2012, 2013, 2015), Turp ve ark. (2014), Türkeş ve ark. (2011) ve Sen ve ark. (2012), Türkiye'nin gelecek iklimini ve iklimsel değişkenliklerini ortaya koymaya yönelik sınırlıdır bölgesel iklim modeli çalışmalarına örnek olarak verilebilir.

Bu bölüm, Öztürk ve ark. (2014)'nın günümüz iklimine (1970-2000) göre gelecek 2070-2100 dönemi için Türkiye'nin ortalama hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerin bölgesel iklim modeli simülasyonları (benzetim) kullanılarak öngörüldüğü çalışmadan yararlanarak hazırlandı. Günümüz ve gelecek iklim koşullarının model kestirimlerinin yapılması için, International Centre for Theoretical Physics (ICTP) bölgesel iklim modeli RegCM4.3.5 kullanıldı. Met Office Hadley Merkezi'nin HadGEM2 küresel iklim modeli, Türkiye ve çevresi için alt ölçeklendirme yöntemi ile çalışıldı. Gelecekte Türkiye'nin iklim değişkenlerinde oluşacak değişimleri incelemek için,



**Şekil 18.** Şekil 18: 1986-2005 dönemine göre 21'nci yüzyıl boyunca küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesi kestirimleri (IPCC, 2013). Tüm RCP senaryoları için 2081-2100 dönemi ortalamasına göre değerlendirilen olası değişim aralıkları, yatay bir çizgi olarak gösterilen ortanca değer ile birlikte dikine sütunlar şeklinde verilmiştir.

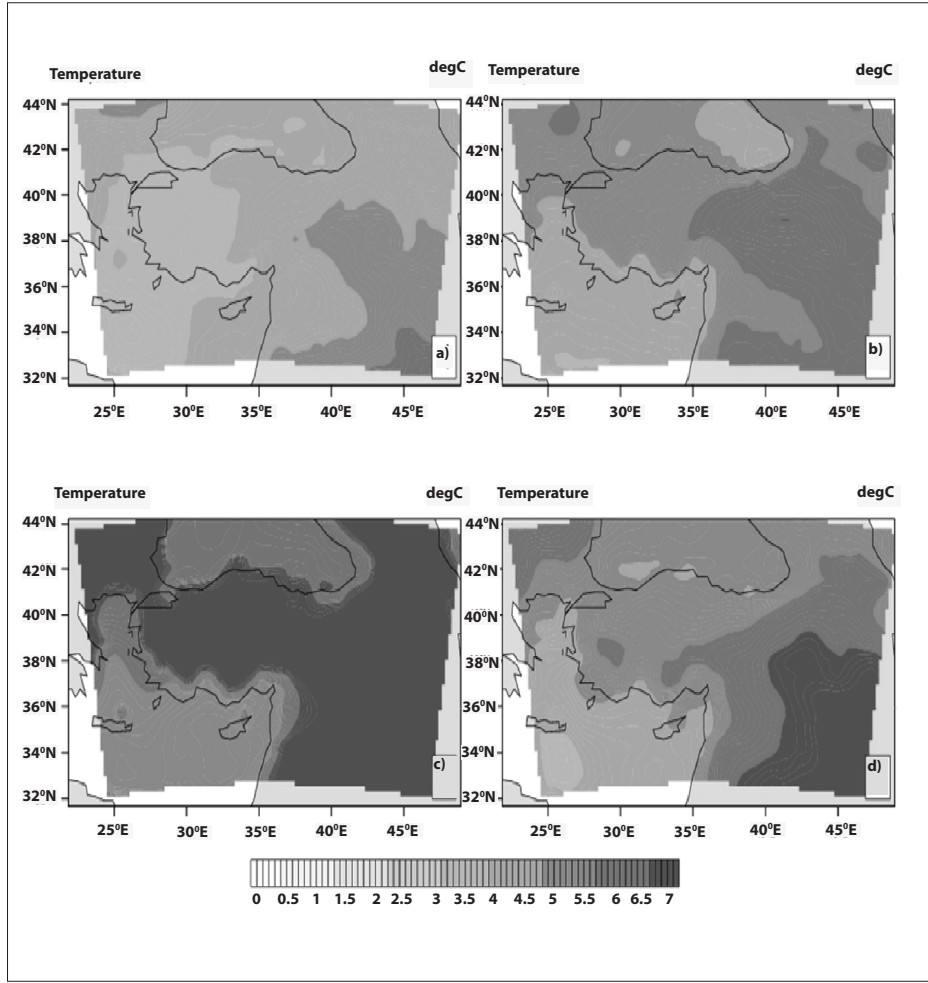


**Şekil 19.** Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılışı (Öztürk ve ark., 2014)

küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 salım senaryoları çıktıları kullanıldı.

Kullanılan HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosuna göre, Türkiye'de 2070-2100 yılları arasında yaz mevsimi hava sıcaklıklarının 1970-2000 klimatolojisine göre 4-6.5 °C arasında artması beklenmektedir. Ortalama hava sıcaklıklarındaki artışlar,

kış mevsimi için 3.5 °C dolaylarında seyrederken, ilkbahar ve sonbahar mevsiminde bu artışlar 4-4.5 °C'ye kadar çıkar (Şekil 19). HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 salım senaryosuna göreyse, Türkiye'de 2070-2100 yılları arasında yaz mevsiminde kestirimi yapılan hava sıcaklıklarının 1970-2000 klimatolojisine göre 5.5-7 °C arasında değişen bir değerde artması beklenmektedir. Kış mevsimi için, ortalama hava



**Şekil 20. Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişimlerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri** (Öztürk ve ark., 2014)

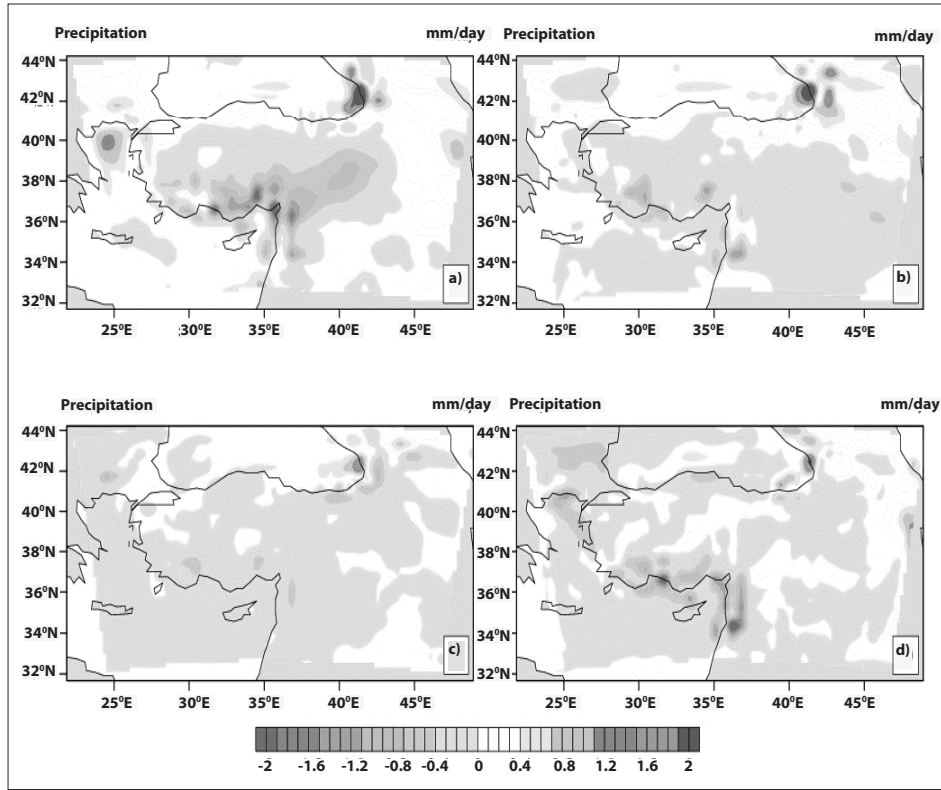
sıcaklıklarındaki artışının 4.5 °C dolayında olduğu, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri için ise, doğuya gidildikçe artarak 5-7 °C arasında olduğu görülmektedir (Şekil 20).

Toplam yağış kestirimleri incelendiğinde, HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 salım senaryosu kullanılarak yapılan benzeştirmede, Türkiye'de 2070-2100 yılları arasında 1970-2000 dönemi klimatolojisine göre yağış değişiminin kış mevsimi için ülkenin güneyinde 2 mm/gün kadar azalması (negatif sapma), kuzeydoğusunda ise 1.6 mm/gün artmasının (pozitif sapma) beklendiği görülür. Buna karşın, yaz mevsiminde yağışların negatif yönde çok az değişeceği, ilkbahar ve sonbaharda ise kış mevsimindeki eğilimin daha zayıf süreceği görülür (Şekil 21).

HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 salım senaryosu kullanılarak yapılan benzeştirmeye dayalı gelecek kestirimleri, RCP4.5 salım senaryosu çıktılarındaki eğilimin hemen aynısını gösterir. Öte yandan, bölgenin güneyinde toplam yağışlarda azalma beklenirken, kuzeydoğusunda yağışların artması beklenir (Şekil 22).

### 3. Hükûmetlerarası iklim değişikliği paneli 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu'na genel bir bakış ve raporun ana çizgileri

Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu (IPCC ÖR1.5°C ya da SR1.5°C), kısaca söylemek gerekirse, Sanayi öncesi düzeylerine göre 1.5 °C'lık küresel ısınmanın doğal ve insan sistemler ile ilişkili küresel sera gazı salım yolları üzerindeki etkilerini, iklim değişikliği tehdidine karşı gerekli olan küresel sera gazı salımları azaltımı (yanıt),



**Şekil 21.** Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 salım senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri (Öztürk ve ark., 2014).

sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğu ortadan kaldırma çabaları bağlamında ele almaktadır (IPCC, 2018; <https://www.ipcc.ch/sr15/>).

IPCC ÖR1.5°C tam raporu 5 ana bölümden oluşur (IPCC, 2018). Bunlar:

**1. Bölüm** - İnsan kaynaklı (antropojen) 1.5°C'lik küresel ısınmaya yönelik küresel çabaların kuvvetlendirilmesi;

**2. Bölüm** - 1.5 °C'lik Küresel Isınmanın Anlaşılması; Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında **1.5 °C sıcaklık artışı** ile uyumlu İklim Değişikliğiyle Savaşım Yolları;

**3. Bölüm:** Öngörülen 1.5 °C ve 2 °C'lik Küresel Isınmanın Doğal ve İnsan Sistemleri Üzerindeki Etkileri ve Bağlantılı Riskler;

**4. Bölüm:** 1.5 °C Düzeyindeki Küresel Isınma ile Uyumlu Salım Yolları ve Sistem Geçişleri; Küresel Çabaların

Kuvvetlendirilmesi ve Uygulanması: Sektörel değerlendirme ve Yollar ile Sosyal ve Ekonomik Geçiş ya da Dönüşüm Düzenek ve Yolları;

**5. Bölüm:** Sürdürülebilir Kalkınma, Yoksulluğun Ortadan Kaldırılması ve Eşitsizliğin Azaltılması.

### **3.1 Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli (IPCC) 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu'nun ana mesajları**

Özetlemek gerekirse, ÖR1.5°C bu konuyu 4 ana başlık altında ele almıştır (IPCC, 2018). Bunlar:

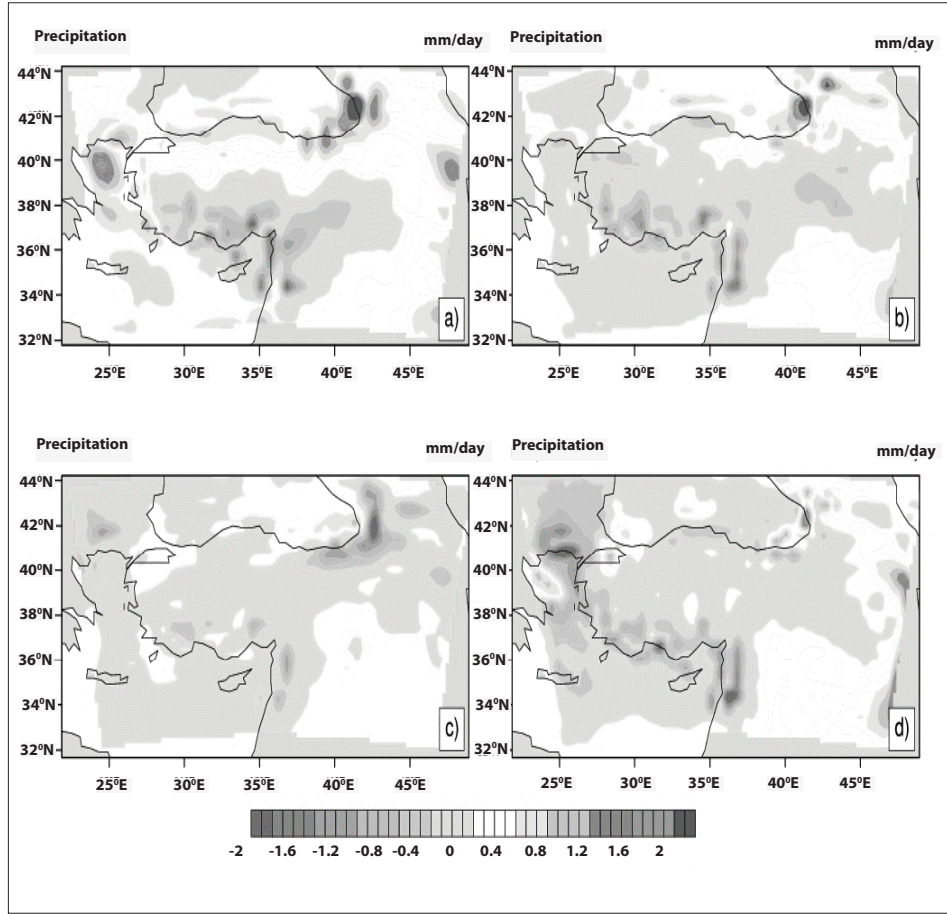
- 1.5 °C'lik Küresel Isınma Ne Anlama Gelmektedir: 1.5 °C'lik Küresel Isınmanın Anlaşılması;

- Öngörülen İklim Değişiklikleri, Potansiyel Etkiler ve Bağlantılı Riskler

- 1.5 °C ile Uyumlu Salım Yolları ve Sistem Geçişleri

- Sürdürülebilir Kalkınma ve Yoksulluğun Ortadan Kaldırılması Çabaları Bağlamındaki Küresel Yanıtların





**Şekil 22.** Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 salım senaryosu çıktıları kullanarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen toplam yağış tutarlarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri (Öztürk ve ark., 2014)

(Küresel Etkinlik, Çalışma ve Girişimlerin) Kuvvetlendirilmesi

### 3.1.1 Küresel ısınmanın anlaşılması

Konuyla ilgili önemli noktalar ÖR1.5°C'de şöyle özetlenmiştir (IPCC, 2018):

Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklıkları, fosil yakıt yakılması başta olmak üzere, insan etkinlikleri sonucunda sanayi öncesi döneme göre 1.0 °C artmıştır (0.8 °C – 1.2 °C güven aralığında) (Şekil 23).

Artış 2030-2052 arası dönemde 1.5 °C'ye ulaşacak (Şekil 23).

Sanayi devriminden bugüne antropojen salımlardan kaynaklanan sera gazı salımları atmosferde uzun yıllar boyunca (yüzyıldan binyle kadar) kalarak, iklim sisteminde değişikliklere (ör. deniz seviyesi

yükselmesi, buzulların erimesi, vb.) neden olmaya devam edecek.

Doğal ve insan sistemleri üzerindeki iklim riskleri 1.5 °C'de şu ankiye göre daha yüksek, ancak 2 °C'den daha düşük olacaktır.

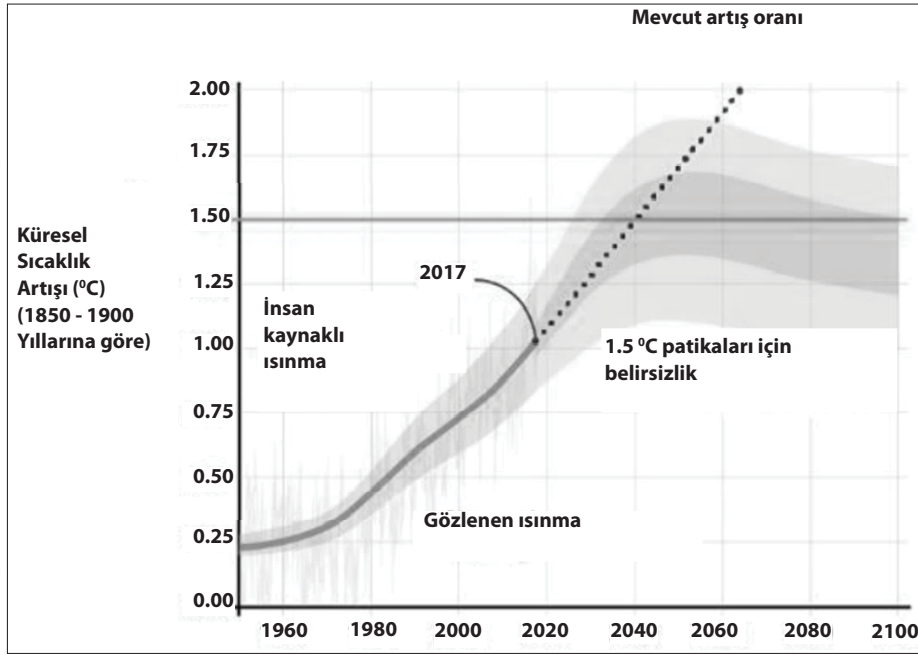
### 3.1.2 Öngörülen iklim değişiklikleri, potansiyel etkiler ve bağlantılı riskler

Öngörülen riskler hem ısınmanın büyüklüğüne, oranına, coğrafi bölgeye, gelişmişlik ve etkilenebilirlik düzeyine göre, hem de uyum ve savaşı (mitigasyon) yöntemlerinin uygulanma ve başarı derecesine göre değişecektir.

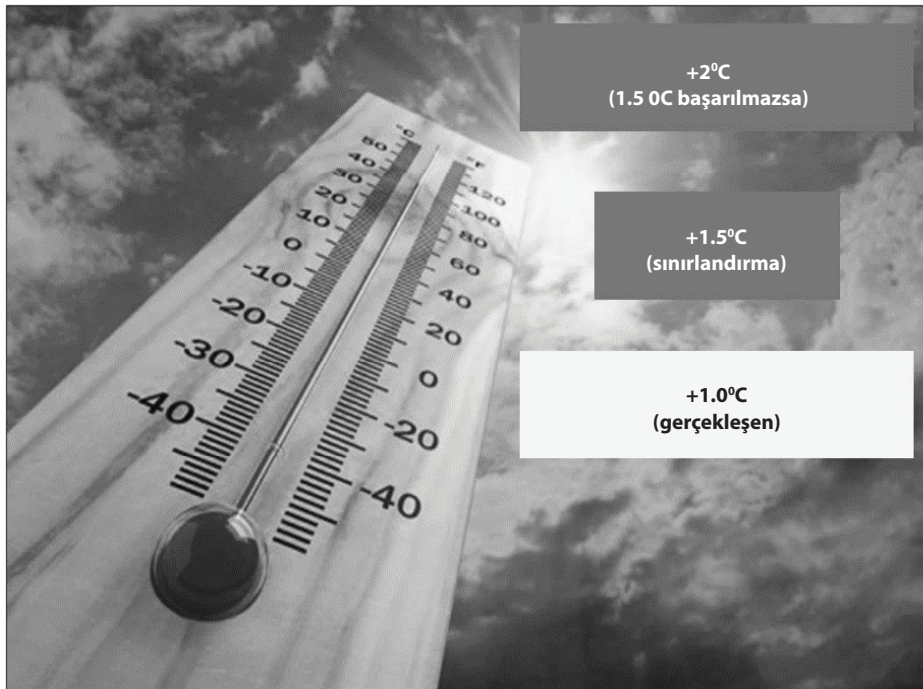
1.5 °C Küresel Isınma Raporu'nun belki de iklim politikası açısından da sürpriz olduğunu söyleyebileceğimiz- en kuvvetli mesajı, aynı zamanda gerçekte birbirinden hiç de uzak olmayan iki alternatifi tartışmasıdır: 1.5 °C ve 2 °C küresel ısınma hedefleri (Şekil 24).

Hükümetler 3 yıl önce Aralık 2015'te Paris Antlaşması kapsamında büyük bir istekle yükledikleri 1.5 °C hedefini kabul ettiklerinde, 2 °C'lik ısınmaya oranla hangi riskleri önledikleri konusunda çok az şey biliyordu ya da hedefe yönelik yolların neye benzediği konusunda net bilgileri yoktu.

ÖR1.5°C'nin açıklığa kavuşturduğu sorulardan biri de 1.5 °C'lik küresel ısınmanın, örneğin okyanus ekosistemlerinin kritik düzeylerine geleceği ve tropikal mercan resiflerinin %70-90 düzeyinde yok olacağı gibi büyük etkilere yol açacak olmasıdır. Bugünkü sera gazı salım oranlarının sürmesi durumunda,



Şekil 23. Küresel Sıcaklık Artışı (°C) (1850-1900 yıllarına göre) (IPCC 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu, 2018; <https://www.ipcc.ch/sr15/>).



Şekil 24. IPCC 1.5 °C Küresel Isınma Raporunun küresel ısınma ya da sıcaklık artışı sınırları

söz konusu önemli risklerin 20-30 yılda gerçekleşeceği kestirilmektedir.

Raporun en önemli mesajlarından bir başkası, etkilerin 2 °C'lik ısınma senaryolarından önemli derecede daha yüksek olacağının vurgulanmasıdır. **IPCC (2018)**, 1.5 °C ile karşılaştırıldığında 2 °C'lik küresel ısınmanın olasılıkla şu anlama geldiğini göstermiştir:

- Küresel ortalama deniz seviyesi artışındaki fark, 2100 yılında 1.5 °C sınırlandırmada 2.0 °C'ye göre 10 cm (0.1 m) daha azdır. Deniz seviyesi artışı gelecekte izlenecek olan salım yollarına göre farklı oranlarda sürecektir.
- Daha düşük deniz seviyesi artışı küçük adalardaki insanların ve ekolojik sistemlerin uyum şansını artırmaktadır.
- Karasal ekosistemler ve biyoçeşitlilik üzerine olacak etkiler ile tür kayıpları 1.5 °C'de, 2.0 °C'ye göre önemli ölçüde daha azdır.
- Artışı 1.5 °C'de sınırlandırmak 2.0 °C'ye göre okyanus sıcaklıklarının artışını azaltır ve buna bağlı olan okyanus asitliğinde artış ve okyanus oksijen seviyesinde azalışta düşüş sağlar.
- Artışı 1.5 °C'de sınırlandırma durumunda 2.0 °C'ye göre karasal, sucul ve kıyısız ekosistemler üzerinde daha az etki beklenmektedir.

- Karasal türlerin iki katı kadarı iklimsel olarak belirlenmiş olan (biyom, biyotop) coğrafi yayılışlarını kaybedecektir.

- Yüzyıldan daha uzun zaman ölçeğinde 2 milyon km<sup>2</sup>'den daha fazla permafrost arazi kaybı olacaktır.

- Ortalama olarak günümüze oranla iki katı kadar insanın (bazı bölgelerde bu oran daha yüksek olacak) iklim ilişkili su stresine uğrayacaktır.

- Birkaç yüz milyon daha insan iklim ilişkili risklere maruz kalacak ve yoksulluğa karşı daha hassas olacaktır.

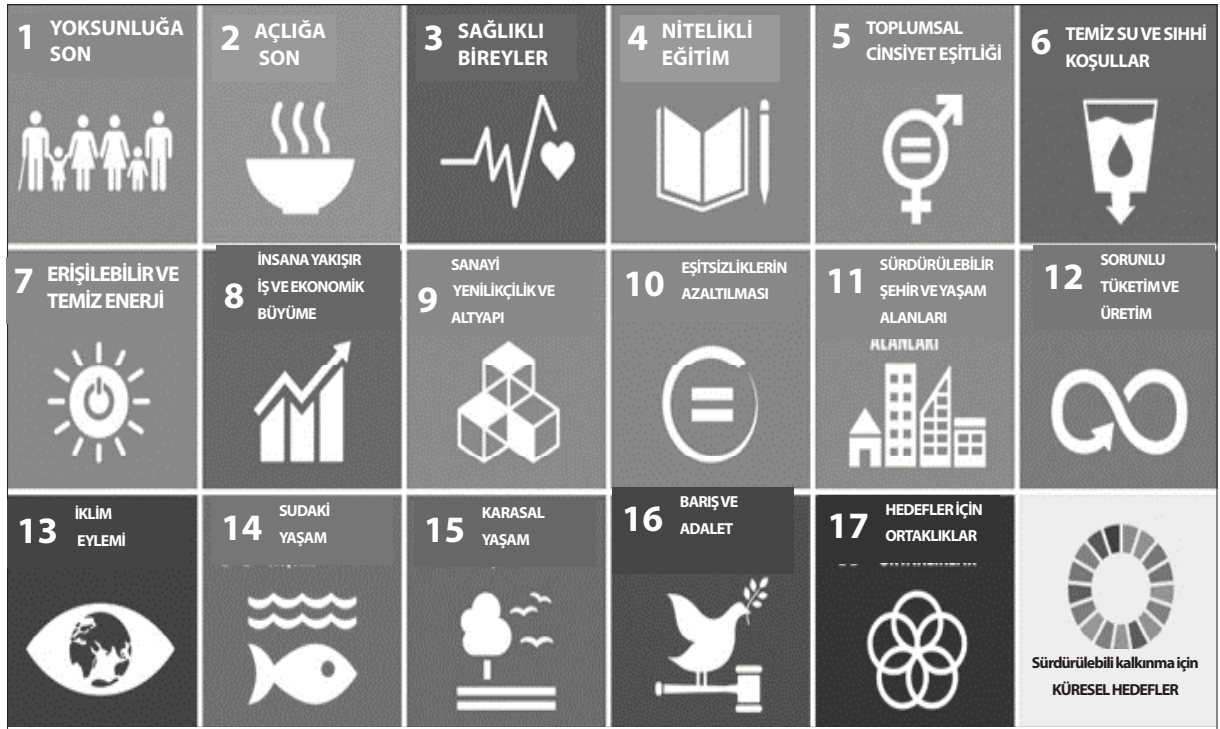
### 3.1.3 1.5 °C ile uyumlu salım Yolları ve Sistem Geçişleri

*IPCC ÖR1.5°C ayrıca umut ışığı haberler de vermektedir!*

Örneğin, Küresel ısınma düzeyini 1.5 °C'de sınırlandırmak hâlâ olasıdır, ancak bu kolay olmayacaktır.

Buna göre, 2030 yılına kadar 2010 yılına göre insan kaynaklı (antropojen) karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salımlarının mutlaka %45 oranında azaltılması ve 2050 yılına değin net sıfır salıma düşmesi gerekmektedir.

Bu ise, ancak enerji, sanayi, tarım, konut, ulaşımdan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımlarının 2050 yılına gelindiğinde 2010 yılına göre %75-90 oranında azaltılmış olması anlamına gelmektedir.



Şekil 25. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri

Hedefi ileri atmıyan çoğu 1.5 °C yolu, başka ek sorunlara neden olabilecek olan karbondioksit uzaklaştırma (CRD) teknolojilerini kapsamakta ve ulaşılabilirlikleri kolay değildir.

Bu teknolojiler, doğrudan havadaki karbonun tutulması ve depolanması, artan ayrışma ve okyanus alkalileşmesi gibi belirsizlik içeren ve henüz olgunlaşmamış teknolojileri içermektedir.

Ayrıca, ormanlaştırma ve biyoteknoloji uygulamaları da geri dönülmeyecek biçimde arazi kullanımı değişikliklerini içermek zorundadır.

Bu ise tarım ve gıda sistemleri, biyolojik çeşitlilik ve diğer ekosistem hizmetleri üzerinde önemli etkilere yol açabilir.

CDR'siz yollar ulaştırma ve enerji kullanımı gibi aşanlarda yaygın davranışsal değişiklikler yoluyla önemli salım azaltımlarını kapsayan senaryolara dayanır.

### 3.1.4 Sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğın ortadan kaldırılması

Raporun daha pozitif bir paket mesajı ise, sürdürülebilir kalkınma ve küresel ısınmayı 1.5 °C'de sınırlandırma konuları arasındaki sinerjidir. Buna göre, 1.5 °C'ye ulaşabilecek birçok yol, insan sağlığı ya da merkezi olmayan yenilenebilir enerji sistemleri gibi yeni teknolojilerin yer aldığı enerjiye erişim benzeri kritik alanlardaki Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG) (şekil 25) ulaşılmasına yardımcı olur. Örneğin, bu kapsamda 5. Bölümde önemli ve dikkat çekici konular el alınmış durumda. Bunlar özetle aşağıdakileri içerir:

- Dünya'daki yoksulluk, eşitlik ya da eşitsizlik ve 1.5 °C daha sıcak bir Dünya'nın eşitlik ya da eşitsizlik üzerindeki yansımaları;

- İklimsel uyum ve sürdürülebilir kalkınma;

### Örneğin zel Bölüm: Kurak arazilerdeki ekosistem ve toplumsal temelli uygulamalar.

- İklım değişikliği ile savaşım ve sürdürülebilir kalkınma: Sektörler, gıda güvenliği, açlık, su güvenliği, hava kirliliği ve sağlık, enerji, konutlar, vb.

- 1.5 °C küresel ısınma düzeyine yönelik sürdürülebilir kalkınma yolları;

- Sanayi ncesi döneme göre 1.5 °C daha sıcak bir Dünya'da, sürdürülebilir kalkınmaya erişim,

yoksulluğın ortadan kaldırılması ve sosyal eşit-sizliğin azaltılması yolları, vb.

Rapor ayrıca, küresel ısınma ile savaşımın, sıcak hava dalgalarından, ozon kirliliği ve malarya gibi iklim değişikliğinin tetiklediği vektör kökenli hastalıklardan kaynaklanan sağlık risklerini azalttığını göstermektedir.

Ancak su kıtlığı yaşanan bölgelerde deniz suyu tuzu artırılması (desalinasyon) için artan enerji kullanımı ve fosil yakıtlara dayalı ekonomilerdeki olumsuz etkiler gibi riskler ve dengesizlikler de söz konusudur.

Rapor, iklim değişikliği etkilerinin eşitsiz ya da dengesiz dağılımının, yönetilen bir geçiş için gerekli olan uluslararası işbirliğine yönelik gereksinimleri, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri gibi iklim değişikliği savaşım önlemlerinin olumsuz etkileri ya da yoksul ve etkilenebilir toplumlara olabilecek olumsuz etkilerin düşük kestirebileceği konusunda uyarıda bulunmaktadır.

### 4. Tartışma

İklım Değişikliği günümüzde üzerinde en çok durulan, en çok bilimsel araştırma yapılan ve hkmetler arası düzeyde en çok tartışılan küresel değişiklik konularının başında gelmektedir. ngrlen iklim değişiklikleri, su kaynakları, tarım, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahiptir. İklımdeki değişiklikler büyüdükçe, olumsuz etkilerin egemenliği de artar. Sosyoekonomik sektörler (r. tarım, ormancılık, balıkçılık, su kaynakları ve insan yerleşmeleri, vb.), kara ve su ekosistemleri ile insanoğlunun gelişimi ve refahı için çok yaşamsal olan insan sağlığı, hava ve iklim ekstremleri ve afetleri ile iklimsel değişiklikteki değişiklikler kadar, iklim değişikliklerinin büyüklük ve hızlarına karşı da oldukça duyarlıdır.

Gelecek iklim model benzetimi çalışmalarına, örneğin ztrk ve ark. (2014 ve 2015)'nin yeni sonuçlarına göre, Türkiye'de 21'nci yüzyılın ikinci yarısından sonra ortalama hava sıcaklıkları 3 °C ile 7 °C arasında artabilecektir. Hava sıcaklıklarındaki artış, sıcak mevsimlerde daha fazladır ve artış oranı (hızı) lkenin genel olarak subtropikal Akdeniz ikliminin egemen olduğu batısından karasal iklimin egemen olduğu doğusuna gidildikçe kuvvetlenmektedir. Benzeştirilen bölgesel iklim değişikliği sonucunda, Türkiye'deki yağış tutarları -0.8 mm/gün ile 1.2 mm/gün arasında değişebilecektir. Kestirilen yağış tutarlarının coğrafi desenleri incelendiğinde, genel olarak



yazı kurak Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu güney ve -kış mevsimi dışında- batı bölgelerinin yıl boyunca daha az yağış alacağı (kuraklaşma) görülür. Öte yandan, genel olarak yağış rejimi düzenli (her mevsim yağışlı) nemli ılıman bir orta enlem ikliminin egemen olduğu Karadeniz Bölgesi'nin (özellikle Doğu Karadeniz Bölümü) kış ve ilkbahar mevsimlerinde ve gerçek Akdeniz iklimine göre daha serin ve kuzeyli dolaşıma ve hava sistemlerine daha açık olan Ege Denizi'nin kuzey bölümünün (Kuzey Ege) kış mevsiminde günümüze göre daha çok yağış alacağı beklenmektedir. Model sonuçlarına göre, öngörülen değişiklikler, senaryoya göre değişmekle birlikte yılın soğuk döneminde daha kuvvetli olabilecektir.

Yeni iklim model benzetimi çalışmalarından (ör. Öztürk ve ark, 2014 ve 2015; Turp ve ark., 2014) elde edilen bulgular, Türkiye'nin genel olarak artan hava sıcaklıkları ve azalan yağış tutarları nedeniyle, iklim değişikliğinden çok fazla etkileneceğini göstermektedir. Türkiye'nin Akdeniz kıyı kuşağı ve Toroslar dışında- genel olarak bugünkü iklim koşulları altında zaten az yağışlı, çok sıcak ve kuru bir sıcak dönemin (ilkbahar sonundan sonbahar ortasına kadar etkili olan yaz kuraklığı) yaşandığı, mevsimlik ve yıllararası yağış değişkenliğinin, dolayısıyla kuraklık olasılıklarının da yüksek olduğu güney ve orta-güney bölgeleri, gelecekte daha sıcak ve kuru bir iklime sahip olacaktır. Tüm bu sonuçlar ayrıca, Türkiye'nin gelecek insan kaynaklı iklim değişikliğine ve olası sonuçlarına karşı çok açık ve etkilenebilirlik düzeyinin çok yüksek olduğunu da açık bir biçimde ortaya koymaktadır.

İklim etmenleri ve bitki örtüsü dikkate alındığında, Türkiye'deki çölleşmeye eğilimli kurak araziler, karasal iç ve doğu bölgelerinin önemli bir bölümünü ve Güneydoğu Anadolu Bölgesini içerir. Akdeniz ve Ege bölgelerinin geniş bir bölümü ise, yüksek ve parçalı yeryüzü şekilleri, tarım arazilerinin yaklaşık son 40 yıldaki tarım dışı ve sürdürülebilir olmayan kullanımı, kentsel ve turizm getirisi yüksek olan tarım ve orman arazilerinin tarım ve orman rejimi dışına çıkarılmasına yönelik girişimler ve yasal düzenlemeler, sanayi, turizm ve orman yangınları gibi iyi bilinen öteki doğal ve insan kaynaklı etmenler dikkate alındığında, gelecekte çölleşme süreçlerinden daha fazla etkilenebilecek yarınemli alanlar olarak kabul edilmelidir (Türkeş, 2012b; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2017b; Türkeş, 2017c). Uzun süreli ve şiddetli yaz kuraklıklarının ve yüksek hava sıcaklıklarının yanı sıra, yağış ve kuraklık indisi dizilerinde gözlenen kurak koşullara yönelik değişme

eğilimlerinin, Akdeniz ve Ege bölgelerinde iklim etmenlerinin çölleştirme kuvvetini arttırmakta oluşu, bu düşüncüyü destekler niteliktedir.

Türkiye'nin, depremin yanı sıra, özellikle kuraklık, sel ve taşkınlar, fırtınalar ve kütle hareketleri (heyelan, toprak kayması, çamur akması, vb.) gibi doğal afetlerden etkilenebilirliği ve risk değerlendirmeleri az çok bilinmektedir. Türkiye'deki en büyük sorun, hem Afet Risk Yönetimi ve Afet Etkilerinin Azaltılması yasa, yönetmelik ve ilkelerinin uygulama/denetleme eksikliği hem de doğru etkilenebilirlik/risk ve adaptasyon (uyum) çözümlemelerinin yapılması için gerekli olan gerçek sosyoekonomik etkilenebilirlik verilerin yokluğudur ya da eksik/yetersiz de olsa var olan verilerin kullanılabilir/erişilebilir olmamasıdır. Örneğin, Türkiye ve bölgesinin depremselliği ve deprem coğrafyası ya da kuraklık klimatolojisi ve kuraklık olasılıkları (fiziksel etkilenebilirlik ya da etkilenebilirlik) oldukça iyi bilinmesine karşın, gerçek verilere dayalı sosyoekonomik etkilenebilirlik veri ve bilgileri eksik ya da kullanılabilir/erişilebilir değildir (Türkeş, 2017b; Türkeş, 2018). Bu büyük bir eksiklik hatta sorundur. Burada önemli olan, iyi hazırlanmış afet etkilenebilirlik ve risk çözümlemeleri ve raporları ile afet izleme, değerlendirme ve öngörü sistemlerine dayanan Afet Risk Yönetimi ve Afet Etkilerinin Azaltılması ilkelerine göre deprem ve diğer tüm afetlere hazır olup afetlerle en az can ve mal kaybı ve hasarla baş edebilmektir.

Konunun başka bir yönüyle, büyük kentlerde gerçekleşen afetlerde genellikle hemen hiç bir kurum ve kuruluşun doğrudan sorumluluk almama eğiliminde olmasıdır. Dahası, şiddetli ve uzun süreli sağanak yağışların kentlerde neden olduğu kentsel sel ve taşkınlar gibi doğal/insan kaynaklı birleşik afetlerden (kötü yönetim, yanlış planlama ve tasarımıyla bağlantılı insan kaynaklı kentsel afetler) ders çıkarılmıyor, mühendislik uygulamaları çok zayıf ve yanlış, kentlerin gelişim planlarında kent ve yöresinin doğal fiziki coğrafyası, özellikle doğal topografyası, jeomorfolojisi, eski ya da doğal akarsu ağı, taşkın ova ve yatakları, hâkim ve yerel rüzgârlar, vb. hiç dikkate alınmıyor. Sonuç olarak, orta kuvvetli ama biraz uzun süreli sağanak yağışlar bile, yukarıda açıkladığımız sorun ve eksiklikler ile kentlerin büyük bölümü, beton ve asfaltla kaplı olduğu için, kentsel taşkın ve sellere dönüşüyor.

İklimsel değişkenliğin sonuçlarından birisi olan kuraklık, olağan dışı bir hava ve iklim olayı ya da bir doğal afet olarak kabul edilir. Kuraklığın tarım üzerine etkisi

çok karmaşık etmenlerin bileşiminden oluştuğu için, bunları birbirinden ayırmak her zaman mümkün olmayabilir. Benzer biçimde, başta arazi bozulması ve iklim değişikliği gelmek üzere çok karmaşık etmen ve süreçlerin kurak, yarı kurak ve kurakça yarınemli arazilerde bir araya gelmesiyle oluşan çölleşme için de, çölleşmeye neden olan doğal (fiziki coğrafi, hidrolojik, biyolojik, ekolojik ve toprağa ilişkin) ve insan kaynaklı (yanlış arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği, ormansızlaşma, aşırı tarımsal üretim, otlatma, su kullanımı ve sulama, tarımsal mücadele ilaçları ve gübre kullanımı, vb.) etmenlerin çölleşme üzerindeki işlevi, önemi ve önceliğine göre ayrıştırılması ve belirlenmesi gereklidir. Bunun için, belirli bir olasılıksal hata ya da risk düzeyi altında, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) (Saaty, 1980), Çevresel ve Sosyal Etkilenbilirlik ve Risk Çözümlemeleri; Topsis ve Electre gibi çeşitli “karar verme” ve/ya da öncelik belirleme yöntemleri uygulanabilir.

### Kaynaklar

Altınsoy, H., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz M. L. (2012). Simulating the climatology of extreme events for the central Asia domain using the RegCM 4.0 regional climate model. pp. 365-370: C.G. Helmis and P. Nastos (eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Springer-Verlag, Berlin.

Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feuerstein, B., Holzer A. M. (2009). Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93: 575–586.

Erlat, E., Türkeş, M. (2008). Türkiye'de don olaylı gün sayılarındaki değişiklikler ve Arktik Salınım ile bağlantısı. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı: 426-436. 25-28 Mart 2008, İstanbul.

Erlat, E., Türkeş, M. (2012). Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010. *International Journal of Climatology*, 32: 1889–1898.

Erlat, E., Türkeş, M. (2013). Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33 (8): 1898–1908.

Erlat, E., Türkeş, M. (2015). Türkiye rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının frekanslarında 1950-2014 döneminde gözlenen değişimler ve atmosfer koşullarıyla bağlantıları (Observed changes in the frequencies of record maximum and record minimum air temperatures in Turkey during the period 1950-2014 and their connections with atmospheric conditions). *Ege Coğrafya Dergisi* 24(2): 29-55, (in Turkish with an English abstract, figure and table captions).

Erlat, E., Türkeş, M. (2016). Dates of frost onset, frost end and the frost-free season in Turkey: trends, variability and links to the North Atlantic and Arctic Oscillation indices, 1950–2013. *Climate Research* 69: 155–176. doi: 10.3354/cr01397

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., ve ark. (eds.): Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC. (2018) *Summary for Policymakers*. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C.

Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization*, Geneva, Switzerland, 32 pp

Kartum, Ş., Koç, T., Türkeş, M. (2011). Türkiye'de kar yağışlarının başlangıç ve bitiş tarihlerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı: 195-200, 27-29 Nisan 2011, İstanbul.

Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Zerefos, C. S., Türkeş, M. and Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37: L04802.

Kutiel, H., Türkeş, M. (2017). Spatial and temporal variability of dryness characteristics in Turkey. *International Journal of Climatology*, 37(Suppl.1): 818–828.

Lolis, C. J., Türkeş, M. (2016). Atmospheric circulation characteristics favouring extreme precipitation in Turkey. *Climate Research* 71: 139–153. doi: 10.3354/cr01433

Önol, B., Semazzi, F.H.M. (2009). Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22: 1944–1960.

Önol, B., Unal, Y. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change*, 14(5): 1921–1935.

Ozturk, T., Altınsoy, H., Türkeş, M., Kurnaz M. L. (2012). Simulation of temperature and precipitation climatology for central Asia CORDEX domain by using RegCM 4.0. *Climate Research*, 52: 63–76.

Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, L. (2014). RegCM4.3.5. İklim modeli benzetimleri kullanılarak Türkiye'nin gelecek hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerin çözülmesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 20(1): 17-27.

Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35: 4276–4292. DOI: 10.1002/joc.4285

Petit, J.R. et al. 1999. Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.

Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., Warner, J. F. (2012). Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52: 175–191.

Sneyers, R. (1990). *On the Statistical Analysis of Series of Observations*. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.

Tatlı, H., Türkeş, M. (2008). Türkiye'deki 2006/2007 kuraklığı ile geniş ölçekli atmosferik değişkenler arasındaki bağlantının lojistik regresyonla belirlenmesi. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı: 516-527, 25-28 Mart 2008, İstanbul.

Tatlı, H., Türkeş, M. (2011). Examination of the dry and wet conditions in Turkey via model output statistics (MOS). 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book: 219-229, 27-29 April 2011, İstanbul.

Trigo, R. ve ark. (2006). Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude variability. Pp. 179-226: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R. (Eds.), *Chapter 3, Mediterranean Climate Variability*. Elsevier Developments in Earth & Environmental Sciences 4, Amsterdam.

Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerinin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1): 1-24.

Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16: 1057–1076.

- Türkeş, M.** (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 18: 649-680.
- Türkeş, M.** (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23: 363-380.
- Türkeş, M.** (2000). 'El Niño-Güneyli Salınım ekstremleri ve Türkiye'deki yağış anomalileri ile ilişkileri'. *Çevre, Bilim ve Teknoloji*, 1: 1-13.
- Türkeş, M.** (2011a). Dünyada ve Türkiye'de iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. s: 5-19 II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildiri Kitabı (EK), 22-25 Kasım 2011, Ankara.
- Türkeş, M.** (2011b). Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme açısından coğrafi bireşimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (1): 79-99.
- Türkeş, M.** (2012a). Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme. S: 1-42. Ed. N. Özgen. *Günümüz Dünya Sorunları - Disiplinlerarası Bir Yaklaşım*. Eğiten Kitap, Ankara.
- Türkeş, M.** (2012b). Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, Çevre Özel Sayısı, 20: 7-56.
- Türkeş, M.** (2013a). İklim Değişiklikleri: Kambriyen'den Pleyistosen'e, Geç Holosen'den 21. Yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(1): 1-25.
- Türkeş, M.** (2013b). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 1-32.
- Türkeş, M.** (2013c). IPCC İklim Değişikliği 2013: Fiziksel Bilim Temeli Politikacılar İçin Özet Raporundaki Yeni Bulgu ve Sonuçların Bilimsel Bir Değerlendirmesi. S: 8-18. *İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu*. Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi, İstanbul.
- Türkeş, M.** (2014a). Örneklerle Dünyada ve Türkiye'de iklim değişikliği ve değişkenliği. *Bilim ve Gelecek*, 129: 60-64.
- Türkeş, M.** (2014b). Türkiye'deki 2013-2014 kuraklığının ve klimatolojik/meteorolojik nedenlerinin çözümlemesi (Analysis of 2013-2014 Drought in Turkey and Its Climatological and Meteorological Reasons). *Konya Toprak Su Dergisi*, 2: 20-34. (in Turkish and English)
- Türkeş, M.** (2015a). Gökğürültülü fırtınalar ve oluşum düzenekleri. *Bilim ve Gelecek* 131: 84-87.
- Türkeş, M.** (2015b). Hortumlar ve oluşum düzenekleri. *Bilim ve Gelecek* 132: 80-83.
- Türkeş, M.** (2016). Küresel İklim Değişiklikleri ve Başlıca Nedenleri ile Dünyada ve Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişiklikleri ve Değişkenliği. İçinde: "Küresel İklim Değişikliği ve Etkileri" Engin Ural Anısına (Ed: M. Somuncu), s. 71-115. *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, Ankara.
- Türkeş, M.** (2017a). Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri. Gözden Geçirilmiş İkinci Baskı, Kriter Yayınevi Fiziki Coğrafya Serisi No: 4, ISBN: 978-605-9336-28-4, xxiv + 520 sayfa. Kriter Yayınevi, Berdan Matbaası: İstanbul.
- Türkeş, M.** (2017b). Türkiye'nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 26(2): 47-70.
- Türkeş, M.** (2017c). Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi ve Türkiye'nin Durumu-Uyumu. İçinde: *Uluslararası Çevre Rejimleri* (Der. G. Orhan, S. C. Mazlum, Y. Kaya), 1. Baskı, s. 169-197. Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Bursa. ISBN: 9789752447530
- Türkeş, M.** (2018). İklim Değişikliğinin Etkileri, Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Gereksinimleri, Etkilenebilirlik ve Risk Değerlendirmeleri. *İklim Değişikliği ve Kalkınma* (Ed. İzzet Arı). T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2003). Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000. *International Journal of Climatology*, 23: 1771-1796.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2005). Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic oscillation during the period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81: 45-69.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2006). Influences of the North Atlantic Oscillation on precipitation variability and changes in Turkey. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica C-Geophysics and Space Physics*, 29: 117-135.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2008). Influence of the Arctic Oscillation on variability of winter mean temperatures in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 75-85.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2009). Winter mean temperature variability in Turkey associated with the North Atlantic Oscillation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 105: 211-225.
- Türkeş, M. and Erat, E.** 2018. Variability and trends in record air temperature events of Turkey and their associations with atmospheric oscillations and anomalous circulation patterns. *International Journal of Climatology* 38: 5182-5204. <https://doi.org/10.1002/joc.5720>
- Türkeş, M., Sümer, U.M.** (2004). Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 77: 195-227.
- Türkeş, M., Tatlı, H.** (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 2270-2282.
- Türkeş, M., Erat, E.** (2018). A scientific assessment of observed changes and trends in extreme weather and climate events in the world and Turkey. In Meltem Ucal (Ed.), *Climate Change and Green Perspective: Green Economy, Green Growth* (pp. 5-38). Istanbul, Turkey: Heinrich Böll Stiftung Foundation.
- Türkeş, M., Yıldız, D.** (2014). Gözlenen Bugünkü ve Benzeştirilen Gelecek Yağış Değişimleri ve Kuraklık Olayları Perspektifinde Türkiye'de Hidroelektrik Santrallerin Geleceği. 22 Ocak 2014. *Hidroelektrik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları*, Ankara.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., Demir, İ.** (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *International Journal of Climatology*, 22: 947-977.
- Türkeş, M., Koç, T., Sarış, F.** (2009a). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 1056-1074.
- Türkeş, M., Akgündüz, A.S., Demirörs, Z.** (2009b). Palmer Kuraklık İndisi'ne göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(2): 129-144.
- Türkeş, M., Kurnaz, M. L., Öztürk, T., Altınsoy, H.** (2011). Climate changes versus 'security and peace' in the Mediterranean macroclimate region: are they correlated? Pp: 625-639. *Proceedings of International Human Security Conference on Human Security: New Challenges, New Perspectives*. 27-28 October 2011, İstanbul. [https://www.artigercek.com/yazarlar/pelincengiz/iklim-degisir-akdeniz-olmaz-akdeniz-de-hortum-olur-firtina-olur?fbclid=IwAR2oxBsVKMj4GzsDaRBj2JKxFHCv5dwTg4J6XeHbVvKQF3\\_Tc4G5yeY2ah8E](https://www.artigercek.com/yazarlar/pelincengiz/iklim-degisir-akdeniz-olmaz-akdeniz-de-hortum-olur-firtina-olur?fbclid=IwAR2oxBsVKMj4GzsDaRBj2JKxFHCv5dwTg4J6XeHbVvKQF3_Tc4G5yeY2ah8E)  
<https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/>  
<https://www.hurriyetdailynews.com/climate-scientist-warns-of-possible-increase-in-number-of-whirlwinds-in-turkey-117179>  
<http://www.globalwarmingindex.org/>  
<https://www.ipcc.ch/sr15/>