Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti
tarafından finanse edilmektedir

İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 1

iklimIN

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİLİMSEL TEMELLERİ, TÜRKİYE'YE ETKİLERİ

Modüller
Elektronik versiyonu için QR kodu

Bilim Modülü
Elektronik versiyonu için QR kodu

CFCU
MERKEZİ FİNANS ve İHALE BİRİMİ

WEglobal

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİLİMSEL TEMELLERİ, TÜRKİYE'YE ETKİLERİ

Hazırlayan:
Prof. Dr. Murat Türkeş

2019, Ankara

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİLİMSEL TEMELLERİ VE TÜRKİYE'YE ETKİLERİ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR....2
YÖNETİCİ ÖZETİ....3
1. GİRİŞ....6
2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE NEDENLERİ....7
2.1. İklim Değişikliğinin Ana Yönlendiricileri....7
2.2. İklim Değişikliğinin Doğal Nedenleri....8
2.3. Küresel İklimin Kısa Tarihçesi....15
2.4. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Küresel Isınma....21
3. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÖZLENEN İKLİM DEĞİŞMELERİ....23
3.1.Küresel İklimde Gözlenen Değişmeler....24
3.2. Türkiye İkliminde Gözlenen Değişmeler....28
3.2.1. Hava Sıcaklıklarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler....28
3.2.2. Yağış Toplamlarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler....33
3.3. Ekstrem Hava ve İklim Olaylarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler....37
3.3.1. Yıllık Donlu Gün Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler....38
3.3.2. Don Olayı Gözlenmeyen Dönemin Uzunluğundaki Değişimler ve Eğilimler....40
3.3.3. Yaz Günü, Tropikal Gün ve Tropikal Gece Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler....40
3.3.4. Rekor Maksimum ve Rekor Minimum Hava Sıcaklıklarındaki Değişimler ve Eğilimler....42
3.3.5. Son Yağıştan Sonra Gerçekleşen En Uzun Yağışsız Gün Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler....43
3.3.6. Türkiye Hortum Klimatolojisi ve Gözlenen Değişimler....44
4. MODEL BENZETİMİ KÜRESEL VE BÖLGESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ....50
4.1. Küresel İklim Değişikliği Kestirimleri....50
4.2. Türkiye ve Bölgesi İçin İklim Değişikliği Kestirimleri....52
5. HÜKÜMETLERARASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PANELİ 1.5 °C KÜRESEL ISINMA ÖZEL RAPORU'NA GENEL BİR BAKIŞ VE RAPORUN ANA ÇİZGİLERİ....56
5.1. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu'nun Ana Mesajları....57
5.1.1. Küresel Isınmanın Anlaşılması....57
5.1.2. Öngörülen İklim Değişiklikleri, Potansiyel Etkiler ve Bağlantılı Riskler....59
5.1.3. 1.5 °C ile Uyumlu Emisyon Yolları ve Sistem Geçişleri....60
5.1.4. Sürdürülebilir Kalkınma ve Yoksulluğun Ortadan Kaldırılması....61
6. TARTIŞMA....62
KAYNAKÇA....65

KISALTMALAR

δD	Döteryum
$\delta^{18}O$	Oksijen 18 İzotopu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analytic Hierarchy Process *Analitik Hiyerarşi Süreci*
AO	Arktik Salınım
Cb	Kümülonimbüs
CFC	Kloroflorokarbonlar
CH_4	Metan
CO_2	Karbondioksit
CRD	Karbondioksit Uzaklaştırma
DDSLR	Son Yağış Olayından Sonra Gerçekleşen En Uzun Yağışsız/Kuru Günler
E	Eksantrisite
ENSO	El Niño – Güney Salınımı
GKDB	Güneş Radyasyonu
GUDB	Yer Işınımı
H_2O	Su Buharı
HFC	Hidroflorokarbonlar
ICTP	International Centre for Theoretical Physics *Uluslararası Teorik Fizik Merkezi*
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change *Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli*
KDBR	Kısa Dalga Boylu Radyasyondan
KYK	Kuzey Yarımküre
M-K	Mann-Kendall
MCI	Mediterranean Climate Index *Akdeniz İklim İndisi*
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N_2O	Diazot Monoksit
NAO	North Atlantic Oscillation *Kuzey Atlantik Salınımı*
O_3	Ozon
PFC	Perflorokarbonlar
P	Presesyon
RCP	Representative Concentration Pathway *Temsili Konsantrasyon Yolu*
T	Tilt
T_{min}	Minimum hava Sıcaklığı
UDBR	Uzun Dalga Boylu Radyasyondan
WMO	World Meteorological Organization *Dünya Meteoroloji Örgütü*

YÖNETİCİ ÖZETİ

Küresel iklim yaklaşık 4.6 milyar yıl yaşındaki Yerküre'nin oluşumundan günümüze değin, tüm alan ve zaman ölçeklerinde önemli değişiklikler ve değişimler göstermiştir. Bu değişiklikler sırasında, Dünya'nın ve oluşmaya başladığı ilk zamanlardan beri Anadolu'nun fiziki coğrafyasında (yeryüzü şekilleri, hava ve iklimi, toprak ve bitki örtüsü, yüzey ve yeraltı suları, akarsu ve gölleri, buzulları, ekosistem[1], biyom ve biyolojik çeşitliliği, vb.) çok önemli ve büyük değişiklikler gerçekleşmiştir.

Küresel iklim, atmosfer (hava küre), hidrosfer (su küre), buz küre, litosfer (taş küre) ve biyosfer (yaşam küre) olarak adlandırılan başlıca beş bileşeni bulunan ve bu bileşenler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de içeren çok karmaşık bir sistemdir ve kısaca iklim sistemi olarak da adlandırılır. Bu kapsamda, iklimin kendi doğal değişkenliğinin dışındaki değişikliklere yol açan dış zorlamalar ve etmenler, iklim sisteminin alt sistemleri ile etkileşim içinde bulunan ve onlardan etkilenen değişiklikleri, örneğin Yerküre'nin katı kabuğundaki levha hareketleri ve volkanik püskürmeler, Güneş etkinliklerindeki değişimler ve Yerküre – Güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki [2] değişiklikler gibi doğal olaylar ile asıl olarak sanayi devrimiyle birlikte atmosferin bileşimindeki antropojen (fosil yakıt kullanımı, ormanların yok edilmesi, vb. gibi insan etkinlikleri) değişiklikleri içerir. Başka bir deyişle, dış zorlama ve etmenlerin neden olduğu iklim değişmeleri, iklim sisteminin dışındaki doğal olaylar ile antropojen zorlama ve etmenlerin denetiminde ve etkisiyle gelişir. Astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişmelerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir.

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 ışınımsal zorlama oluşturarak, dünya ikliminin daha sıcak ve daha değişken olmasını sağlamasıdır. Öte yandan, ister küresel isterse bölgesel ölçekte olsun, iklim değişikliği, 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 aşırılıklarda da 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 olaylı 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 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 değişmeler gerçekleşmiştir.

[1] Yaşayan organizmaların birbirleri ve fiziksel çevreleriyle etkileşim içinde bulundukları sistemdir.

[2] Yerküre'nin, kendi eksen eğikliği (tilt, T), Güneş'in çevresindeki yörüngesinin şekli (eksantrisite, E) ve Güneş'in ve kendi ekseni çevresindeki dönüşü sırasında yaptığı kafa sallama (presesyon, P) hareketleri yoluyla Güneş ile gerçekleştirdiği etkileşimler.

Gözlenen değişme ve eğilimlere ek olarak, iklim model benzeşimleri, genel olarak alt troposfer ve yüzey hava sıcaklıklarında öngörülen artış eğilimi, artan termal enerji (pozitif ışınımsal zorlama) ve hızlanan ve/veya kuvvetlenen hidrolojik döngü ile bağlantılı olarak, 21. yüzyılda Dünya'nın birçok bölgesinde aşırı hava ve iklim olaylarının sıklık ve/veya şiddetinde artışlar olabileceğini göstermektedir.

Bu modülün birinci amacı, iklim değişikliğinin kavramsal ve kuramsal olarak ne olduğunu, iklim değişikliğinin kapsamını, nedenlerini ve anlaşılmasını ana çizgileri ile tartışmak ve iklim değişikliği konusunun bilimsel bir çerçeveye (iklim değişikliğinin fiziksel bilim temeli) oturmasını sağlamak olarak özetlenebilir. İkinci amacıysa, Dünya'da ve Türkiye'de gözlenen iklim değişikliği ile çeşitli sera gazı emisyon senaryolarına dayanarak çalıştırılan 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.

1. GİRİŞ

Giriş bölümüne konuyla ilgili iki önemli kavramın tanımlanmasıyla başlamakta yarar bulunmaktadır. Bunlardan birincisi olan iklim değişikliği, *"iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler"* olarak tanımlanabilir (Türkeş, 2008a ve 2008b). İkinci önemli kavram olan iklimsel değişkenlik ise, *"tüm zaman ve alan ölçeklerinde iklimin ortalama durumunda ve standart sapmalar ile uç olayların gerçekleşme sıklık ve olasılıkları gibi öteki istatistiklerinde ortaya çıkan değişimler"* şeklinde tanımlanabilir (a.g.e.). İklim değişikliği/değişkenliği ya da değişebilirliği, iklim sistemi içerisindeki doğal iç süreçlere ya da insan (antropojen) ve doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere bağlı olarak oluşabilir.

Küresel iklim, atmosfer (hava küre), hidrosfer (su küre), buz küre, litosfer (taş küre) ve biyosfer (yaşam küre) olarak adlandırılan başlıca beş bileşeni bulunan ve bu bileşenler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de içeren çok karmaşık bir sistemdir. Kısaca, iklim sistemi olarak da adlandırılmaktadır (Türkeş, 2010). Dış zorlamalar ve etmenler, iklim sisteminin alt sistemleri ile etkileşim içinde bulunan ve onlardan etkilenen değişikliklerdir. Örneğin, volkanik püskürmeler, Güneş etkinliklerindeki değişimler ve Yerküre – Güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikler gibi doğal olaylar ile atmosferin bileşimindeki antropojen değişiklikleri içerir (Türkeş, 2012a ve 2013a). İnsan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazları ve aerosoller, etki süreleri değişmekle birlikte, iklim değişikliklerine neden olabilecek başlıca dışsal zorlama ve etmenlerdir.

İklim değişikliğinin potansiyel 'dış' nedenleri, temel olarak Yerküre'nin katı kabuğundaki levha hareketleri, Güneş etkinlikleri ve Yerküre ile Güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikleri içerir. Başka bir deyişle, dış zorlama ve etmenlerin neden olduğu değişiklikler, iklim sisteminin dışındaki doğal olaylar ile antropojen zorlama ve etmenlerin denetimiyle ve etkisiyle gelişir. Astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişikliklerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir (Erlat, 2010; Türkeş, 2013a).

2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE NEDENLERİ

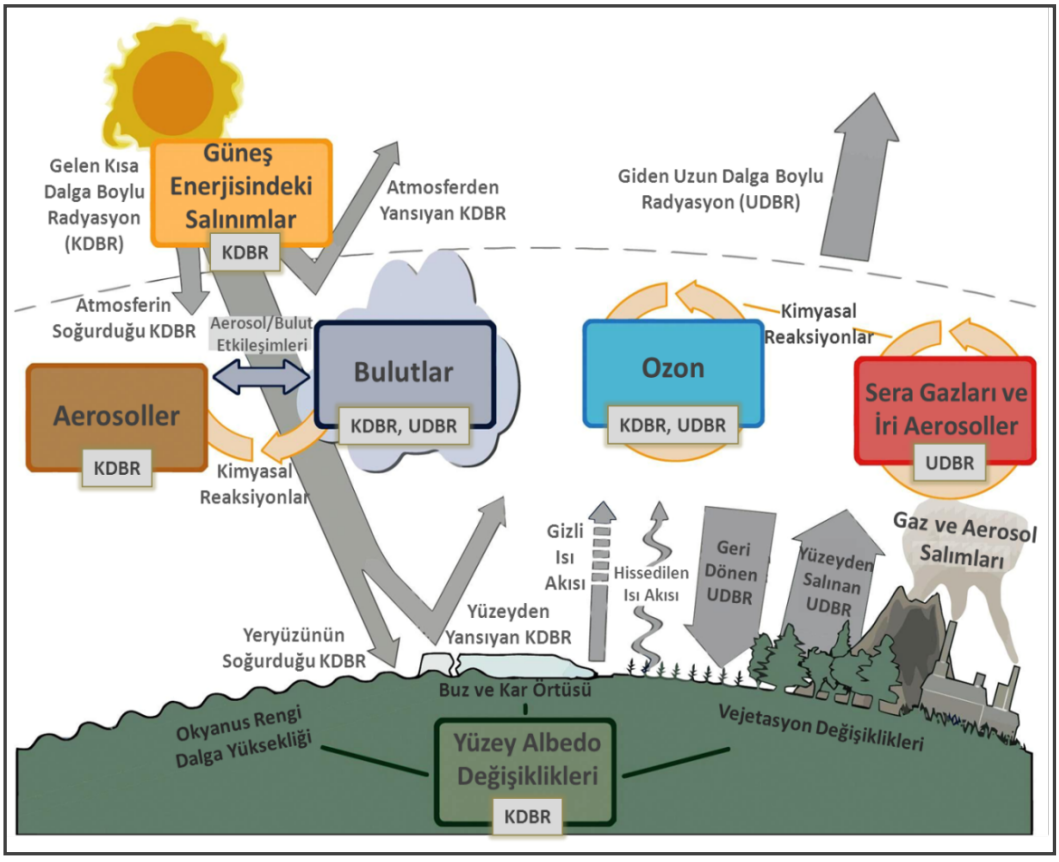
2.1. İklim Değişikliğinin Ana Yönlendiricileri

Atmosferdeki birikimleri (konsantrasyon) değişken, pek çok insan etkinliğinden etkilenen ve doğal sera etkisi düzeneğinin çalışmasından sorumlu olan başlıca doğal sera gazları, karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O), diazot monoksit (N_2O), metan (CH_4) ve ozon (O_3) ile insan ürünü (yapay) kloroflorokarbonlar (CFC'ler), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perfloroka rbonlar (PFC'ler) ve bunların çok çeşitli türevlerini içerir. Şekil 1, Güneş'ten atmosferin üst sınırına ulaşan (gelen, G) kısa dalga boylu radyasyondan (KDBR) ve yeryüzünden salınan (giden, G) uzun dalga boylu radyasyondan (UDBR), aerosoller, bulutlar, ozon katmanı, sera gazları ve iri aerosollerin iklim sistemi ile olan etkileşimleri ve ışınımsal zorlamalarına, yeryüzündeki ve atmosferdeki enerji akılarından yeryüzündeki albedo[3] ve vejetasyon değişikliklerine kadar çok geniş bir perspektifte iklim değişikliğinin ana yönlendiricilerinin ve nedenlerinin çizimsel bir bireşimini göstermektedir.

GKDB Güneş radyasyonu[4] (ışınım) ve GUDB yer ışınımı arasındaki ışınımsal denge, küresel ölçekte birçok iklim yönlendiricisi (sürücüler) tarafından etkilenmektedir. Güneş akısı çıktılarındaki doğal salınımlar (Güneş döngüleri), GKDB Güneş ışınımı değerindeki ya da şiddetindeki salınımlar yoluyla Yerküre'nin enerji dengesinde değişikliklere neden olabilmektedir. Fosil yakıtların yakılması, sanayi süreçleri, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormansızlaşma vb. insan etkinlikleri, havadaki ozon ve aerosol[5] tutarlarındaki değişikliklerle sonuçlanan atmosferdeki kimyasal tepkimelerle bağlantılı gaz ve aerosol emisyonlarını değiştirmektedir. Atmosferdeki O_3 (Ozon) ve aerosol parçacıkları, GKDB Güneş ışınımını emerek, saçarak ve yansıtarak enerji dengesini değiştirmektedir. Bazı aerosol türleri, bulut yoğunlaşma (yoğuşma) çekirdeği olarak görev yaparak, bulut (su) damlacıklarının özelliklerini değiştirerek ya da bozarak olasılıkla yağış oluşumunu ve karakteristiklerini etkileyebilmektedir (Şekil 1). Bulutların KDBR ve UDBR ile olan etkileşimleri etkili ya da kuvvetli olduğu için de, bulut özelliklerindeki küçük değişiklikler bile iklim sisteminin ışınım ya da enerji bütçesi açısından önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

[3] Cisimlerin gelen kısa dalga boylu Güneş ışınımını (radyasyon) yansıtma oranı.
[4] Genel olarak, ısı enerjisinin elektromanyetik dalgalar aracılığıyla taşınmasıdır.
[5] Atmosferdeki uçucu ya da havadaki asılı parçacıklar (örneğin, sülfat aerosolleri, vb.).

Şekil 1: *İklim değişikliği ana yönlendiricilerinin çizimsel gösterimi (Cubasch ve ark. 2013'e göre yeniden çizildi ve düzenlendi)*



Atmosferde bulunan sera gazlarındaki (ör. CO_2, CH_4, N_2O, O_3, CFC'ler) antropojen değişiklikler ve iri aerosoller (> 2.5 µm), GUDB yer ışınımını soğurarak ve daha düşük hava sıcaklığında daha az enerjiyi yeniden salarak GUDB ışınımın tutarını ya da şiddetini değiştirir. Yerküre yüzeyinin albedosu ise, arazi (kara) örtüsü ve vejetasyon, kar ya da buz örtüsü ve okyanus renginde oluşan değişiklikler ve bozulmalar nedeniyle değişebilir. Tüm bu değişiklikler, doğal mevsimsel ve günlük değişiklikler (ör. kar örtüsü) ile insan etkisi ve etkinlikleri (ör. arazi kullanımı değişiklikleri, vejetasyon formasyonlarının ya da tiplerinin değiştirilmesi, vb.) tarafından yönlendirilir ve/veya denetlenir.

2.2. İklim Değişikliğinin Doğal Nedenleri

Bugünkü bilgilerimize göre, küresel iklim, Yerküre'nin 4.6 milyar yıllık jeolojik tarihinin başlangıcından beri tüm alan ve zaman ölçeklerinde değişme eğiliminde olmuştur (Türkeş, 2013a). İklim milyonlarca yıl boyunca yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarının kutup (polar) bölgelerinde 10 °C'nin üzerindeki hava sıcaklıklarıyla nitelenen çok sıcak koşullardan, inlandsis'lerin[6] (buzul kalkanlarının ya da kıta buzullarının) orta enlem karalarının çoğunluğunu kapladığı buzul devirlerinde ya da çağlarındaki iklimleri arasında salınım

[6] Özellikle buzul çağlarında Yerküre'nin kutup ve kutup çevresi bölgelerini kaplayan buzul kalkanları ya da kıta buzullarıdır.

göstermiştir (bkz. Şekil 4). Bazı varsayımlara göre, geçmişteki bazı soğuk dönemlerde Yerküre'nin tüm yüzeyi buzla kaplanmıştır (Kartopu Yerküre Hipotezi). Paleozoik'ten (Birinci Zaman) günümüze yaklaşık 545 milyon yıl uzunluğundaki zaman dizisi izgesinin, günümüze yakın bölümünde daha düşük genlikli dalgalanmaların, içinde bulunduğumuz yaklaşık son 10.000 yıllık Holosen dönemindeyse neredeyse bir yılın kendinden önceki yıla göre tam olarak aynı olduğu bir yılın gözlenmediği yıllar arası, onlarca ya da daha uzun yıllık zaman ölçeklerinde geliştiği görülür (Erlat, 2010; IPCC, 2013; Türkeş, 2010, 2012a ve 2013b).

Kendi evrimiyle bağlantılı olarak, ortalama Güneş-Yerküre uzaklığında Güneş'in fotosfer katmanından tüm dalga boylarında yaydığı ve atmosferin üst sınırında Güneş ışınlarına dik bir birim alana birim zamanda ulaşan toplam radyant enerji (toplam Güneş irradyansı ya da Güneş sabiti, W/m^2), Yerküre'nin 4.6 milyar yıllık tarihi boyunca yaklaşık %30 kadar artmıştır. Toplam Güneş irradyansında daha kısa zaman ölçeklerinde gerçekleşen değişimlerse, genellikle benzer bir genliğe sahip olmaktadır. Yerküre'nin orbital karakteristiklerinde oluşan düşük sıklıklı değişmeler, Yerküre yüzeyindeki her nokta üzerinde belirli bir mevsimde alınan Güneş enerjisi tutarını değiştirir. Bu kapsamda oluşan en önemli dalgalanmalar, 10.000 – 100.000 yıl aralığında gözlenir. Tek volkan püskürmeleri, püskürmeyi izleyen ilk yıllarda genel bir soğumaya yol açar (Erlat & Türkeş, 2015a). Ayrıca, volkanik etkinlikler, belirli bir on yıllık ya da yüz yıllık dönemde yoğunlaşırsa, düşük sıklıklı bir zorlamadan da sorumlu olabilir (Şekil 1). Daha uzun zaman ölçeklerinde, levha tektoniğine bağlı olarak bir okyanusal levha ile bir kıtasal levhanın ve/ya da iki okyanusal levhanın birbirine yaklaşması ve çarpışması sonucunda oluşan sırasıyla büyük ölçekli dağ oluşum alanları (ör. Güney Amerika'da And Dağları) ve ada yayları (ör. Büyük Okyanus'takiler) ile bağlantılı artan volkanik etkinlikler, binlerce yıldan milyonlarca yıla kadar uzun dönemler boyunca sürebilen kuvvetli bir soğuma eğiliminin oluşmasına neden olabilir (Türkeş, 2010).

Bu kapsamda, El Niño – Güney Salınımı (ENSO), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ya da Arktik Salınım (AO) gibi atmosferik salınımlar ya da uzak bağlantı desenleri, küresel iklim sisteminin atmosfer kökenli içsel zorlamalarına verilebilecek önemli örneklerdir (Şahin *ve ark*., 2015; Türkeş, 1998, 2000; Türkeş & Erlat, 2003, 2006, 2008 ve 2009). İkinci olarak, okyanusların ve inlandsis'lerin büyük ataleti nedeniyle, yüksek sıklıklı değişimler bastırılırken, herhangi bir perturbasyonun[7] (sarsımın) baskın etkisi, zorlamanın uzun zaman ölçeklerindeki birleşmesi ya da bütünleşmesi ile bağlantılı olabilir. Atalet, bir sarsıma verilecek yanıtın gecikmesine de yol açabilir. Ayrıca, sistemin yanıtı (tepkisi), zorlamanın karakteristikleri ile zorlamanın kendisinin neden olduğu iklim değişiklikleri arasında büyük farklılıkların doğmasına yol açan karmaşık düzenekleri kapsayabilir. Örneğin, eğer bir zorlama – bir çeşit rezonansı yönlendirerek- sistemin içsel değişkenliğinin bir modunu belirli bir frekansta harekete geçirir ya da tetiklerse, zorlama o frekansta belirgin şekilde kuvvetli olmamasına karşın, o frekanstaki tepkinin büyüklüğü daha fazla olacaktır. Öte yandan, eğer bir eşik (değer) – sistemin neredeyse kendiliğinden ve olasılıkla oldukça farklı bir durumdan başka bir duruma evrilmesi sonucunda- aşılırsa, zorlamadaki küçük değişiklikler iklim sisteminde büyük değişimlerin ortaya çıkmasına yol açabilir. Derin okyanus dolaşımını içeren böyle bir geçiş, son buzul çağında Grönland buz kalkanında kaydedilen ve buz karotlarının çözümlenmesiyle elde edilen ani iklim değişikliklerinin bazılarını açıklamak için önerilebilir.

[7] Genel olarak atmosferdeki siklonik (hava kütlelerinin rüzgârın etkisiyle saat akrep ve yelkovanının tersine hareket ettiği) dönüşlü cephesel ya da cephesel olmayan dinamik kökenli alçak basınç merkezleri, oluk ya da dalgalarıdır.

Milankovitch Döngüleri

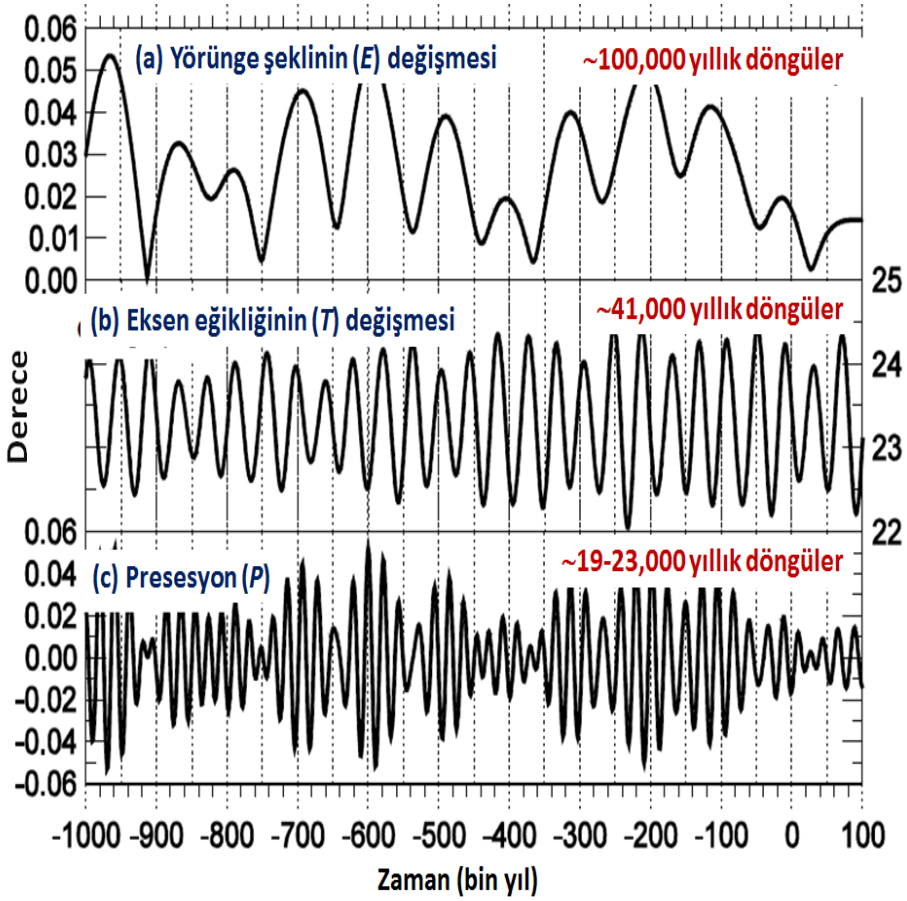
"Atmosferin tepesinde (ya da atmosferin etkisini göz ardı ettiğimizde yeryüzünde) 1 m^2 genişliğindeki yatay bir düzlemde birim zamanda (s) alınan anlık Güneş enerjisi (W/m^2)" şeklinde tanımlanan güneşlenme, Güneş-Yerküre arasındaki uzaklığın ve Güneş'in *zenith*[8] uzaklığının kosinüsünün bir fonksiyonudur. Bu iki değişken, günün zamanı, enlem ve Yerküre yörüngesinin karakteristiklerinden yararlanarak hesaplanabilir. Klimatolojide, Yerküre ile Güneş arasındaki astronomik ilişkiler Milankovitch Döngüleri olarak adlandırılır. Astronomik ilişkiler, özellikle Yerküre'nin eksen eğikliği (tilt, *T*), Yerküre'nin Güneş'in çevresindeki yörüngesinin şekli ya da eksantrisite (*E*) ve presesyon (*P*) olarak bilinen üç orbital parametre tarafından belirlenir (Şekil 2). Kısaca, eğiklik (*T), "ekliptik*[9] *düzleminin*[10] *ekvator düzlemine göre olan eğikliğinin bir ölçüsü"* (daha eğik ya da daha dik) ve eksantrisite (*E*), *"Yerküre'nin Güneş'in çevresindeki yörünge şeklinin bir ölçüsü"* [ör. daha fazla ekliptik (yuvarlaklık az) ya da daha az ekliptik (daha yuvarlak)] olarak tanımlanır. İklimsel presesyon (*P*) ise, *yaz gündönümünde (solstis) Güneş-Yerküre uzaklığındaki daha açık bir söyleyişle, 'günberi zamanındaki' değişikliklerle* bağlantılıdır. Bu yüzden, küresel iklimin değişmesine neden olabilecek başlıca astronomik ilişkiler, Yerküre'nin Güneş'in çevresindeki yörüngesinin şeklindeki (orbital zorlama), eksen eğikliğindeki ve presesyonundaki (günberi zamanındaki) değişiklikleri içerir (Türkeş, 2013a) (Şekil 2 ve 3).

[8] Hayali bir göksel küre üzerindeki belirli bir noktanın tam yukarısındaki hayali noktadır. Kısaca, -yeryüzündeki bir nokta ya da insan açısından- gökyüzündeki başucu noktasıdır.

[9] Güneş'in göksel bir küre üzerindeki görünür hareketinin Yerküre'den görülen yoludur.

[10] Yerküre ekseni Güneş'in çevresinde izlediği yörüngeye göre 23.5° eğiktir. Bu yüzden, Güneş'in yörünge düzleminin Yerküre'nin hayali ekvatoru ile yaptığı (ekvatora göre eğikliği) açı da 23.5°'dir.

Şekil 2: *Olasılıkla son 1 milyon yılda ve gelecek 100 bin yılda (Yıl 0, Milattan Sonra 1950'ye karşılık gelir), Yerküre'nin eksantrisite (E), eksen eğikliği (T, derece cinsinden) ve iklimsel presesyon (P) hareketindeki değişimler (Berger 1978'e göre Goosse ve ark. 2010'dan yeniden düzenlendi). İklimsel presesyonun en düşük değeri, günberi zamanında boreal[11] (KYK kutupsal) kış (Aralık) gündönümüne karşılık gelir.*



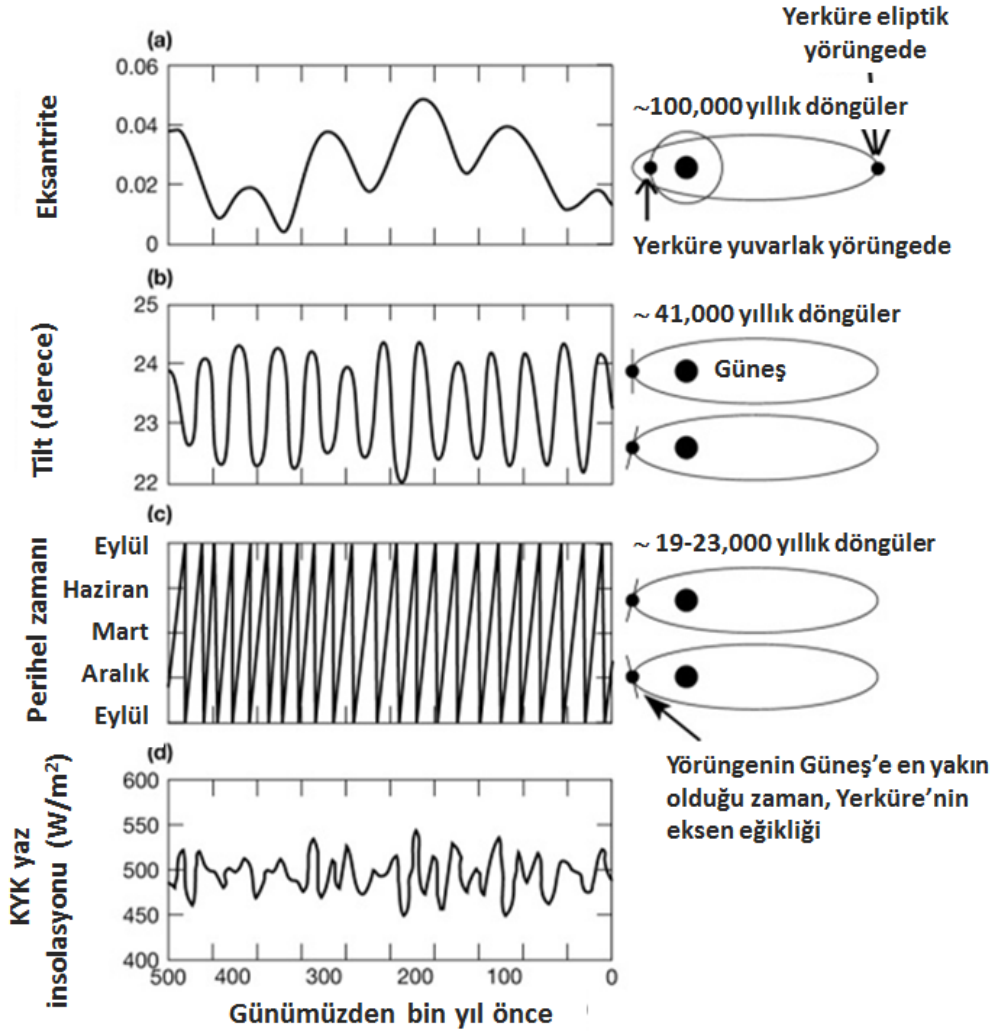
Yerküre'nin yörünge biçimindeki değişiklikler, başka bir deyişle orbital zorlama, Yerküre - Güneş arasındaki uzaklığı etkiler. Astronomik hesaplamalar, Yerküre'nin eksantrisitesindeki periyodik (dönemsel) değişimlerin, Güneş insolasyonunun[12] mevsimsel ve enlemsel dağılışını yakından denetlediğini gösterir (Türkeş, 2013a). İnsolasyonun geçmişteki ve gelecekteki olası değişiklikleri, yüksek bir güven düzeyinde milyonlarca yıl için hesaplanabilmektedir. Yerküre yörüngesinin eksantrisitesi, geçen birkaç milyonda neredeyse yuvarlak bir yörüngeye karşılık gelen sıfır (0) ile elipse karşılık gelen 0.054° arasında değişmiştir (Şekil 2 ve 3). Bu nedenle, Yerküre'nin aldığı yıllık ortalama enerji tutarı, Yerküre'nin yörüngesi yuvarlak olduğunda en düşüktür ve eksantrisite ile birlikte artar. Ancak, eksantrisitedeki değişimler görece küçük olduğunda (Şekil 2 ve 3), Yerküre'nin aldığı yıllık ortalama radyasyon tutarlarında çok küçük farklılıklar ortaya çıkar.

[11] Kuzey, kuzey bölgeleri ya da kuzeye ilişkindir. Fiziki coğrafya ve biyocoğrafyada, Arktik kutup dairesinin güneyinde, huş ve kavak ağacı toplulukları ve ormanları ile tayga (iğne yapraklı ağaç türlerini içeren kuzey ormanları: yerine göre, örneğin, sarıçam, göknar vb. gibi çam türlerini içerir) ormanlarından oluşan soğuk iklim kuşağıdır.

[12] Atmosferin tepesinde (ya da atmosferin etkisini göz ardı ettiğimizde yeryüzünde) 1 m2 genişliğindeki yatay bir düzlemde birim zamanda (s) alınan anlık Güneş enerjisidir (W/m2).

Maksimum bağıl değişim, yaklaşık 0.5 W/m²'ye karşılık gelen %15 oranına eşittir. Yerküre yörüngesinin şekil (*E*) değişiklikleri, ortalama 100.000 yıllık ve 400.000 yıllık daha uzun yarı-dönemsellikler göstermektedir (Şekil 3 ve 4). Yörüngenin şeklindeki değişiklikler, Güneş ve Yerküre arasındaki uzaklıkta ortaya çıkan çok küçük değişiklikler nedeniyle, Güneş insolasyonu üzerinde sınırlı bir etkiye sahiptir. Ancak, bu değişiklikler, eksen eğikliğinin ve presesyonun neden olduğu mevsim etkileriyle de etkileşerek, daha karmaşık birleşik bir etki ortaya çıkar. Bugünkü bilgilerimize göre, yaklaşık 400.000 yıl önce olduğu ve olasılıkla gelecek 100.000 yıl süresince olabileceği gibi, küçük yörünge değişiklikleri süresince presesyonun neden olduğu mevsimlik Güneş ışınımı değişimleri, daha geniş eksantrisite dönemleri boyunca olanlar kadar büyük değildir.

Şekil 3: *Olasılıkla son 500 bin yılda (Yıl 0, Milattan Sonra 1950'ye karşılık gelir), Yerküre'nin (a) eksantrisite (E), (b) eksen eğikliği (T, derece cinsinden) ve (c) perihel zamanındaki değişimler (Berger 1978'e göre Goosse ve ark. 2010'dan yeniden düzenlendi)*



Yerküre'nin eksen eğikliği, Yerküre üzerinde mevsimlerin oluşumundan sorumludur. On bin yıllık zaman ölçeklerinde, Yerküre'nin eksen eğikliği arttığında, mevsimlik enerji dengesi bozulduğu ve sıcaklık zıtlıkları kuvvetlendiği için, her iki yarımkürede de kışlar daha soğuk ve yazlar daha sıcak olur. Başka bir deyişle, güneşlenme (insolasyon) yaz mevsiminde kutup bölgelerde daha yüksek olurken, kışın kutup bölgelerinde uzun gece süresince sıfır olur. Yerküre'nin eksen eğikliği azaldığındaysa, mevsimler daha az şiddetli geçer; yazlar daha serin, kışlarsa daha ılıman olur.

Daha serin yaz mevsimlerinin, yüksek enlemlerde (kutup ve kutup altı bölgelerde) kar ve buz örtüsünün daha az erimesine ve yerde daha fazla kalmasına neden olarak, kutup bölgelerinde kütlesel buzul kalkanlarının oluşmasına yol açmış olabilir (Türkeş, 2013a). Ayrıca, yine uzun zaman ölçeklerinde olmak koşuluyla, daha fazla kar ve buz/buzullar ile kaplanan Yerküre, GKDB Güneş ışınımını uzaya daha fazla yansıtarak ek soğumaya neden olduğu için, iklim sisteminde (bu örnekteki etkisi negatif olan) bir buz-albedo geri besleme düzeneği oluşturur (Türkeş, 2012a ve 2013b).

Son birkaç milyon yılda, Yerküre'nin eksen eğikliği, ortalama olarak yaklaşık 41.000 yıllık yarı-dönemsellikle birlikte yaklaşık 22.5° ve 24.5° arasında değişim göstermiştir (Şekil 2 ve 3). Bu değişimin enerji karşılığı, günlük ortalama güneşlenme tutarında kutuplarda 50 W/m^2'ye ulaşan önemli değişikliklerdir. Eksen eğikliğinin değeri, yıllık ortalama güneşlenme üzerinde de, yüksek enlemlerde birkaç W/m^2'lik artışa neden olurken, Ekvator'da büyüklük olarak daha küçük bir azalma şeklinde beliren bir etki yapmaktadır. Sonuç olarak, eksen eğikliğindeki değişimler mevsimlik zıtlıkları düzenlemekle birlikte, yıllık ortalama GKDB Güneş ışınımı değişimleri alçak enlemlerde yüksek enlemlere göre bir zıt etki yaptığı için, küresel ortalama güneşlenme üzerinde önemli bir etki oluşmaz (Türkeş, 2013a).

Son olarak, mevsimlerin zamansal olarak perihel (günberi) noktasına göre konumu olarak tanımlanabilecek olan Yerküre'nin *'iklimsel presesyon'* hareketinin, güneşlenme ve iklim değişikliği üzerindeki etkisinin önemli olduğunu söylemek gerekir. Eğer Yerküre uzun kutup yazında Güneş'e daha yakın ve uzun kutup kışında daha uzak olursa, Kuzey Yarımküre'de (KYK) yaz mevsimi daha sıcak, kış mevsimiyse daha soğuk olacak ve mevsimler arası enerji ve sıcaklık zıtlığı daha da artacaktır. Öte yandan, Yerküre Güneş'e uzun kutup kışında daha yakın olursa, kış mevsimi daha sıcak olacağından, bu kez KYK'deki mevsimlik zıtlık daha küçük olacaktır. Bu etki, özellikle eksantrisite daha büyük (yörünge daha ekliptik) olduğunda belirgindir. Eğer eksantrisite sıfıra çok yakın (yörünge yuvarlak) olursa, Güneş ve Yerküre arasındaki uzaklık hemen hemen sabittir ve mevsimlerin perihel (günberi) noktasına göre konumlarındaki (mevsimlerin zamansal yerlerindeki) değişiklikler üzerinde herhangi bir etkiye yol açmaz (Türkeş, 2013a). İklimsel presesyonun değeri, yaklaşık olarak -0.05 ve 0.05° arasında değişir (Şekil 2 ve 3). Bu değişiklikler, hemen tüm enlemlerde 20 W/m^2'den daha büyük değişikliklere yol açar. Bu yüzden, iklimsel presesyon alçak ve orta enlemlerdeki Güneş insolasyonu değişimleri üzerinde daha etkilidir.

Sonuç olarak, presesyon, Yerküre'nin, yaklaşık 19.000 ve 23.000 yıllık yarı-periyodik bir döngüsellikle birlikte, Güneşe en yakın olma konumunun (perihel) gerçekleşme zamanındaki yarı-döngüsel değişimlere ya da salınımlara karşılık gelir. Yörünge üzerinde mevsimlerin süresi ve konumundaki değişimler, Güneş insolasyonunun enlemsel ve mevsimsel dağılışını düzenler (Türkeş, 2013a). Güneş insolasyonundaki mevsimlik değişimler yıllık ortalama değişimlerin genliğinden daha büyüktür ve değeri 60 W/m^2'ye ulaşabilir. Yerküre'nin *'iklimsel presesyon'* hareketi nedeniyle, Yerküre 11.000 yıl önceki boreal (KYK) yazı süresince Güneş'e en yakın konumundayken, günümüzde Güneş'e en yakın konumu boreal kışa karşılık gelmektedir

2.3. Küresel İklimin Kısa Tarihçesi

Küresel iklim, atmosfer (hava küre), hidrosfer (su küre), buz küre, litosfer (taş küre) ve biyosfer (yaşam küre) olarak adlandırılan başlıca beş bileşeni bulunan ve bu bileşenler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de içeren çok karmaşık bir sistemdir ve kısaca iklim sistemi olarak da adlandırılır. Dış zorlamalar ve etmenler, iklim sisteminin alt sistemleri ile etkileşim içinde bulunan ve onlardan etkilenen değişiklikleri, örneğin volkanik püskürmeler, Güneş etkinliklerindeki değişimler ve Yerküre – Güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikler gibi doğal olaylar ile atmosferin bileşimindeki antropojen değişiklikleri içerir. İnsan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazları ve aerosoller, etki süreleri değişmekle birlikte, iklim değişikliklerine neden olabilecek başlıca dışsal zorlama ve etmenlerdir.

İklim değişikliğinin potansiyel 'dış' nedenleri, temel olarak Yerküre'nin katı kabuğundaki levha hareketlerini, Güneş etkinliklerindeki ve Yerküre ile Güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikleri içerir. Başka bir deyişle, dış zorlama ve etmenlerin neden olduğu değişiklikler, iklim sisteminin dışındaki doğal olaylar ile antropojen zorlama ve etmenlerin denetiminde ve etkisiyle gelişir. Astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişikliklerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir.

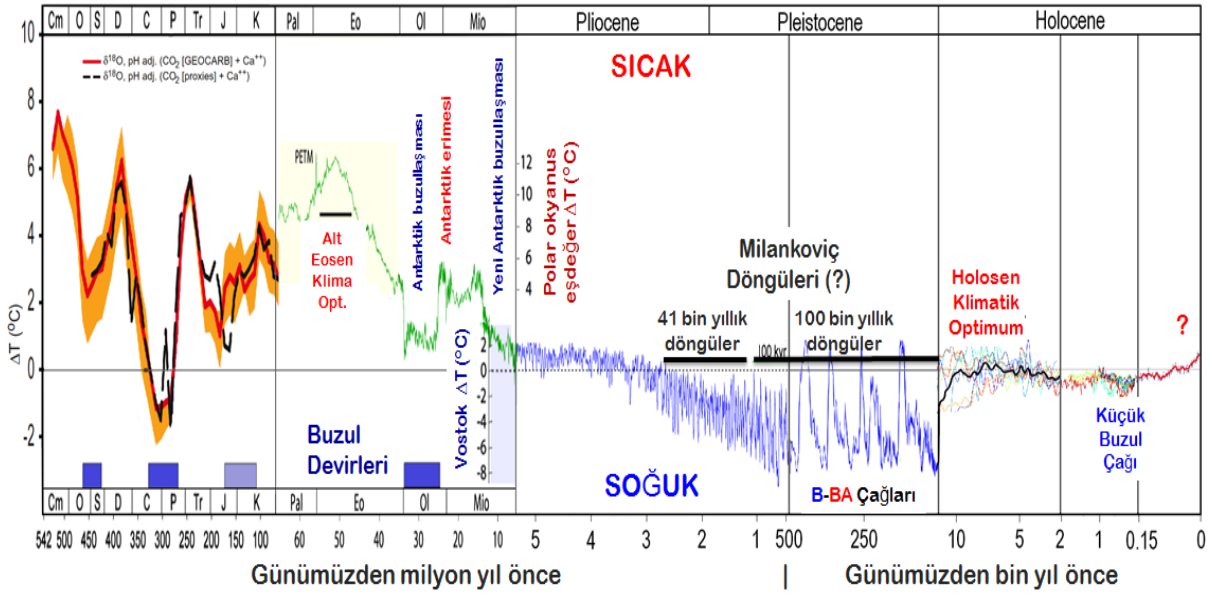
Yerküre'nin ilk 1 milyar yıllık tarihi süresince egemen olan iklimini araştırmak için, dolaylı kayıtlara ve öngörülere dayanmak zorunda olduğumuzu kabul etmek zorundayız. Örneğin, jeomorfolojik (yeryüzü şekilleri, oluşum ve evriminin bilimi) olarak, en azından bölgesel ölçekte, belirli bir jeolojik dönemdeki glasiyel sedimentlerin[13] (buzul çökeltileri) varlığı glasiyasyonu (buzullaşmayı) gösterirken, kaya tuzu ve jips ya da anhidrit gibi evaporit çökelti[14] kayaçlarının varlığı buharlaşmanın etkili olduğu kurak ve sıcak bir dönemin ve o dönemdeki sığ bir denizin ya da tuzlu/sodalı bir gölün kanıtlarını oluşturabilir. Geçmiş iklimlerin ve o iklimlerdeki değişikliklerin ek göstergelerini sağlayabilecek olan çeşitli mineral ve kayaç çeşitlerinin oluşması içinse, özel klimatolojik, hidrolojik, jeolojik ve jeomorfolojik koşulların bir araya gelmesine gerek vardır.

Ancak, henüz bu konuda pek çok önemli belirsizlik vardır. En iyi çözünürlüklü (yüksek ayrıntılı) iklim rekonstrüksiyonları bile, yeni bilgi ve teknikler ortaya çıktığında düzenli olarak değiştirilmektedir. Yerküre'nin ilk zamanlarındaki iklimine ilişkin kanıtlar ise özellikle çok azdır. Konuya ilişkin bilimsel araştırmalar, Yerküre'nin 4.6 milyar yıl önce ilk oluştuğu zaman, gelen toplam Güneş ışınımının bugünkünden yaklaşık %30 oranında daha az olduğunu ortaya koymaktadır. Eğer, albedo (cisimlerin gelen kısa dalga boylu Güneş ışınımını yansıtma oranı), atmosferin bileşimi, Yerküre ve Güneş arasındaki uzaklık gibi koşulların o zaman da şimdiki ile aynı olduğu kabul edilirse, Yerküre'nin temel enerji dengesi modellerinden (ör. gezegensel enerji dengesi ve emisyon sıcaklığı eşitlikleri) yararlanarak yapılacak bir hesaplama sonucunda, ortalama yüzey sıcaklığının bugünkünden 30 °C daha soğuk olması gerektiği gösterilebilir.

[13] Buzulların, aşındırma, ilerleme ve çekilmeleri ile bağlantılı olarak, buzulların yan, ön ve tabanlarında oluşan tortullardır (çökeltilerdir).

[14] Yerküre'nin jeolojik geçmişinde buharlaşmanın etkili olduğu kurak ve sıcak dönemlerde sığ bir denizin ya da tuzlu/sodalı bir gölün buharlaşması sonucunda eski deniz ya da göl kıyılarında, tabanında ya da tam kuruma gerçekleşmesi durumunda tamamında oluşan kaya tuzu ve jips ya da anhidrit gibi çökelti kayaçlarıdır.

Şekil 4: *Yerküre'nin Kambrien devrinden günümüze (Holosen) değin yaklaşık 545 milyon yıllık dönemdeki jeolojik geçmişinde çeşitli zaman ölçeklerinde gerçekleşen iklim değişikliklerinin birleştirilmiş çeşitli sıcaklık zaman dizileriyle gösterimi. Robert A. Rohde tarafından Global Warming Art için hazırlanan orijinal çizimden yararlanarak yeniden düzenlendi (bkz. www.globalwarmingart.com/wiki/File:65Myr_Climate_Change_Rev_png, erişim: Haziran 2013).*



Yerküre iklim tarihinin 700-800 milyon yıl uzunluğundaki ilk bölümünde, küçük gezegenimsilerin ve meteoritlerin sürekli bombardımanı da küresel iklimi bir ölçüde ısıtmış olmasına karşın; kuramsal olarak sözü edilen koşullarda, Yerküre'nin iklim tarihinin büyük bölümünde çok soğuk ve donmuş olması beklenirdi. Ancak bu varsayım, en azından 4 milyar yıl önceki sıvı bir okyanusun varlığına ilişkin jeolojik kanıtla ters düşer. Bu belirgin zıtlık, '*faint early Sun paradox*' (Türkçe'ye '*solgun erken Güneş paradoksu*' şeklinde çevrilebilir) olarak adlandırılır. Bu paradoksun ana nedeni, olasılıkla Yerküre'nin erken zamanlarında gerçekleşmiş olan daha kuvvetli bir sera etkisinin varlığı olabilir. O zamanki atmosfer, çok daha yüksek CO_2 birikimi nedeniyle, bugünün atmosferinden çok farklıydı. O zamanki atmosferde CO_2 birikiminin günümüz değerine göre yaklaşık 100 kat daha yüksek olduğu ve hemen hiç oksijen (O_2) molekülü bulunmadığı öngörülür. Atmosferde oksijen yokluğu durumundaysa, CO_2 gibi ışınımsal olarak etkin bir gaz (sera gazı) olan CH_4, günümüz atmosferinde olduğu kadar hızla oksitlenmiyordu ve atmosferdeki birikimleri günümüzden çok daha yüksek düzeydeydi.

Yerküre'nin Birinci Zamanın (Paleozoyik) başından, başka bir deyişle, Kambrien Devrinden günümüze kadar geçen 545 milyon yıllık jeolojik ve iklimsel geçmişindeki çeşitli zaman ölçeklerinde gerçekleşen iklim değişiklikleri, Şekil 4'de birleştirilmiş sıcaklık zaman dizileriyle gösterildi. Şekil 4'de zaman olarak, günümüz 0 ile gösterilirken; değişimleri ve sapmaları daha iyi izleyebilmek ve karşılaştırabilmek amacıyla, günümüz iklimi de 0 ile gösterilmiştir. Öte yandan, zaman dizisi çiziminde gerçek bir logaritmik ölçek yerine, her biri günümüze doğru daha ayrıntılı doğrusal bir ölçekle gösterilerek, ancak çok yaklaşık bir logaritmik ölçek kullanılmıştır.

Geçen 65 milyon yıl süresince, atmosferdeki CO_2 birikimleri yavaş yavaş Paleosen devrindeki ve alt (erken) Eosen'deki 1000 ppmv düzeyinden, Pleyistosen devresinde 300 ppmv'nin altına inmiştir. Yaklaşık 2.588 milyon yıl uzunluğundaki Kuvaterner devrinin, günümüze yakın 0.0117 milyon ya da yaklaşık 11.000 yıl uzunluğundaki Holosen devresi dışında kalan çok büyük bölümü, Pleyistosen devresine karşılık gelir. Beklendiği gibi, bu uzun süreli ve yavaş gelişen azalma, özellikle Paleosen ve Eosen devirlerindeki levha hareketleri ve dağ oluşumları (orojenez) nedeniyle artmış olan volkanik gaz ve kül emisyonlarıyla –ki, volkanik püskürmeler o zamandan beri giderek azalmıştır- ve silikat kayaçlarının ayrışma oranındaki değişikliklerle kısmen bağlantılıdır. Bugünkü bilgilerimize göre, CO_2 birikimlerindeki azalma, günümüzden önce 52 ve 50 milyon yılları arasında oluşan *Erken Eosen Klimatik Optimum* devresindeki sıcak koşullardan sonraki soğumayla bağlantılı olmalıdır (Şekil 4). İklimdeki bu önemli kayma, çoğunlukla, bir kuvvetli sera etkisi ikliminden kıtasal örtü buzullarının günümüze göre Antarktika'da yaklaşık 35 milyon yıllarında ve Grönland'da yaklaşık 3 milyon önceden başlayarak var olduğu (ara dönemlerdeki görece daha soğuk ya da daha sıcak dönemlerle birlikte) "*sıcak bir küresel iklimden soğuk bir küresel iklime* ya da bir '*buzevine*' geçiş" olarak kabul edilir. Bu devirdeki iklim rekonstrüksiyonları çoğunlukla foraminifera (bazı yeni çalışmalarda, 'foraminiferida') olarak adlandırılan planktonik (pelajik) ve bentik[15] yaşayışlı küçük deniz organizmalarının kavkılarının ($CaCO_3$ bileşimli kabukların) oksijen izotop bileşimindeki değişimlere dayanır.

Buzul çağlarının Milankovitch ya da orbital kuramına göre, Kuvaterner devrinin Pleyistosen devresindeki buzul çağları genel olarak KYK'deki yüksek enlem yaz güneşlenmesindeki azalmayla tetiklenir. Bunun sonucunda, kış mevsimindeki kar yağışı yıl boyunca daha uzun bir süre etkili olur ve KYK'de kıtasal örtü buzullarını (buzul kalkanlarını) ve Alpin dağ (takke ve vadi) buzullarını oluşturmak üzere birikir. Benzer biçimde, Yerküre'nin yörünge değişikliklerince (orbital zorlama) belirlenen özellikle KYK'deki kuvvetli yüksek enlem yaz güneşlenmesi dönemlerinin, hızlı deglasyasyonu[16] (buzulların erimesi ve çekilmesi), onunla bağlantılı iklim değişikliklerini ve deniz düzeyi yükselmesini tetiklediği kabul edilir. Bu orbital zorlamalar, iklim değişikliğinin gidişini belirlerken, büyük yanıtların orbital zorlamaları güçlendiren kuvvetli geri beslemeler tarafından belirlendiği görülür.

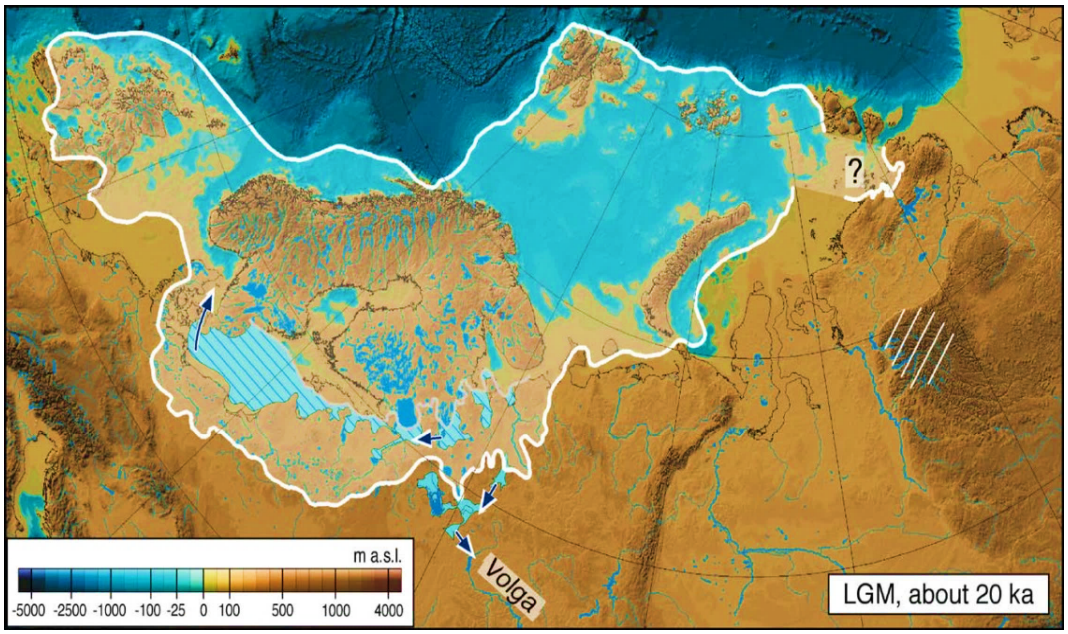
Antarktika buzulundan alınan buz örnekleri (karot) içinde hapsolmuş havanın kimyasal çözümlemeleri, atmosferdeki CH_4, CO_2 ve N_2O birikimlerinin Pleyistosen devresinin son 650 bin yıllık döneminde (yaklaşık Orta ve Geç Pleyistosen dönemlerine karşılık gelir) yerel sıcaklık koşulları için iyi bir dolaylı kayıt ve gösterge olan döteryum[17] (δD) değişimleriyle ve buna bağlı olarak da buzul ve buzularası çağlarla uyum içinde olabildiğini göstermiştir. Bentik oksijen 18 izotopu ($\delta^{18}O$) ise, küresel buz hacmindeki değişimler için iyi bir dolaylı kayıt ve göstergedir: Yüksek bir bentik $\delta^{18}O$ değeri, düşük bir buz hacmine karşılık gelir. Daha pozitif döteryum değerlerine karşılık gelen sıcak dönemlerin arasında ise, daha negatif döteryum değerlerinin egemen olduğu uzun ve belirgin buzul çağları yer alır. Sonuç olarak, Antarktika buz karotlarında kayıtlı bilgiden yararlanarak, Orta ve Geç Pleyistosen dönemlerinde egemen olan uzun glasiyel dönemler ('*Buzul Çağları*') ve görece daha kısa süreli interglasiyel dönemler ('*Buzularası Çağlar*') arasındaki ardalanma belgelenmiştir (Şekil 4).

[15] Okyanus, deniz, göl ya da akarsu gibi bir su kütlesinin en alçak seviyesinde ya da tabanında yer alan ekolojik kuşağa (yaşam kuşağı) ilişkindir. Bu kuşakta yerleşik olarak yaşayan organizmalar ise bentik ya da canlılar olarak adlandırılır.

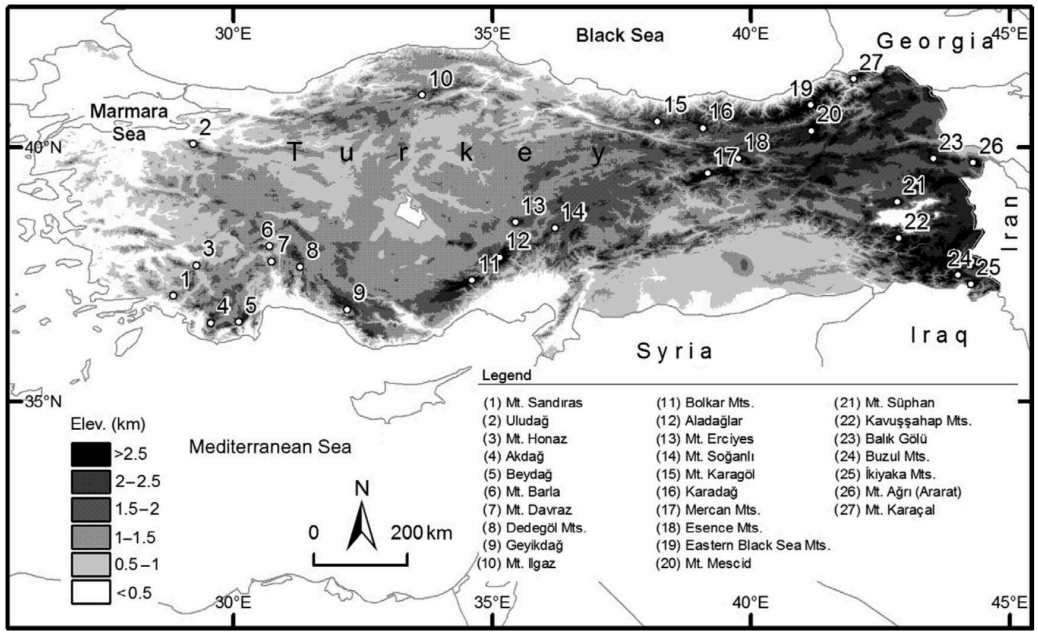
[16] Buzul arası çağlarında ya da sıcak iklim dönemlerinde kara buzullarının erimesi ve çekilmesidir.

[17] Hidrojen elementinin çekirdeğinde 1 proton (+) ve 1 nötron bulunduran kararlı (çevresel) izotoplarından birisidir.

Şekil 5: *Avrasya'nın Kuzeyinde Geç Pleyistosen Würm Buzullaşmasının Son Buzul Maksimumunda Örtü Buzullarının Kapladığı Alanların Coğrafi Dağılışı (Mangerud ve ark., 2004)*



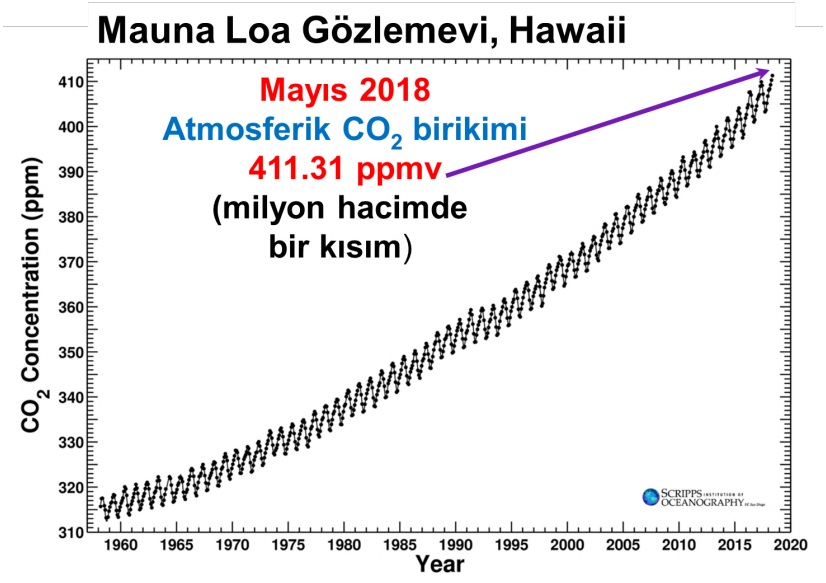
Şekil 6: *Türkiye'de Kuvaterner Buzullaşmasının Yaşandığı Dağların İsimleri ve Coğrafi Dağılışı (Sarıkaya ve ark., 2011)*



Günümüz insanı, jeolojik zaman ölçeğine göre Pleyistosen devresinde oluşan buzularası çağların sonuncusu olan Holosen'de yaşamaktadır. Pleyistosen buzullaşmasının en iyi bilineni, en şiddetli zamanı yaklaşık 20-22 bin yıl önce oluşan ve *'Würm Maksimumu'* ya da *'Son Glasiyel Maksimum'* (Son Buzul Çağı Maksimumu, LGM) olarak adlandırılan en sonuncusudur. Son buzul çağında, buzul kalkanları yüksek enlemlerdeki anakaraların çoğunluğunu kaplamış ve Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'nın (Şekil 5) topografik olarak elverişli olduğu bölgelerinde yaklaşık 40° enlemine kadar güneye yayılmıştır. Aynı dönemde dağlık alanlarda [ör. Alpler'de, Türkiye'de (Şekil 6) Doğu Karadeniz ve Toroslar gibi yüksek sıra dağların ve Uludağ, Erciyes, Ağrı, Süphan, Cilo, vb. yüksek tek dağların doruklarında] Alpin vadi buzulları ve takke buzulları da, alansal ve hacimsel olarak büyümüş, dağın ve kalıcı kar sınırının yükseltisine uygun olarak bugünkünden yüzlerce metre aşağılara kadar inmiştir.

Öte yandan, atmosferdeki suyun anakaralar üzerinde buz biçeminde birikmesi nedeniyle, ortalama deniz düzeyi yeryüzüne yeni kara parçaları ekleyerek bugünkünden yaklaşık 120 m daha alçaktı. Örneğin, Kuzey Amerika ve Asya arasında bugünkü Bering Boğazı boyunca ve başka bir örnek olarak Avrupa anakarası ve Britanya arasında kara köprüleri oluşmuştu (Şekil 5). Aynı dönemde, yüksek enlemlerin permafrost[18] toprakları ve tundra biyomu, bugünkünden daha güneye inmiş, tropikal yağmur ormanları biyomunun yayılış alanıysa görece daralmıştı. Tropikal iklimler karalar üzerinde 2-4 °C daha soğuktu ve olasılıkla okyanuslarda da bezer koşullar ortaya çıkmıştı. Soğuma ve buzullaşma yüksek enlemlerde daha kuvvetli olduğu için, deniz buzları (ör. Arktik ve Antarktik) bu bölgelerde daha fazla yayılış göstermekteydi. Genel olarak, küresel ortalama yüzey sıcaklığının, günümüzden olasılıkla 4-7 °C dolayında daha soğuk olduğu kestirilmektedir (Şekil 4).

Şekil 7: *Atmosferdeki CO_2 birikiminin 1958-2018 yılları arasındaki aylık değişimleri ve uzun süreli eğilimi*



[18] Sıcaklığın yıllarca 0 °C'nin altında kaldığı yerlerde oluşan, iki ya da daha uzun yıllar boyunca donmuş kalan topraktır. Yüzeyin biraz altındaki toprak sıcaklığı, hiçbir zaman donma sıcaklığının üzerine çıkamaz. Yazın, yalnız üstteki birkaç cm'lik bölüm erir; buna etkin katman denir. Yerküre'nin kuzey kutbu çevresindeki bölgeleri, binlerce yıldır permafrost özelliği gösterir.

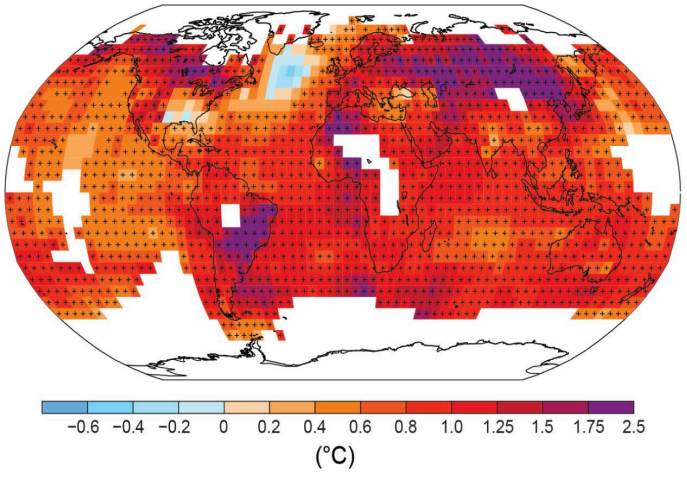
2.4. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Küresel Isınma

Atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde sanayi devriminden beri gözlenen artış sürmektedir. Özellikle atmosferdeki birikiminin büyüklüğü, artış hızı, 50-200 yıl arasında değişen yaşam süresi ve GUDB kızılötesi yer ışınımının büyük bölümünü emme özelliği dikkate alındığında, CO_2'nin önemi daha iyi anlaşılır. Yerküre atmosferindeki CO_2 birikimi çok hızlı bir biçimde artmaktadır. Aylık ortalama CO_2 zaman dizileri incelendiğinde, sanayi öncesinde yaklaşık 280 ppmv (milyon hacimde bir molekül ya da milyonda bir parçacık) ve 1958 yılında yaklaşık 315 ppmv olan atmosferdeki yıllık ortalama CO_2 birikimi, 2012'de yaklaşık 394 ppmv ve Mayıs 2018'de 411 ppmv'ye ulaşmıştır (Türkeş, 2013b ve 2018) (Şekil 7). Atmosferdeki CO_2 birikiminin günümüzdeki düzeyi, geçmiş yaklaşık 700 bin yıllık kayıttaki doğal CO_2 birikimi değişimlerinin (yaklaşık 180-300 ppmv arasında değişmiş) çok üzerindedir. Sera gazı birikimlerindeki bu artışlar, Yerküre'nin GUDB kızılötesi ışınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, onu daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ışınımsal zorlamanın oluşmasını sağlar.

Bu yüzden, *Yerküre/atmosfer ortak sisteminin enerji dengesine yapılan pozitif katkı*, kuvvetlenen sera etkisi olarak adlandırılır (Türkeş, 2008a ve 2008b). Bu ise, Yerküre atmosferindeki doğal sera gazları (su buharı, CO_2, CH_4, N_2O ve O_3) sayesinde yüz milyonlarca yıldan beri çalışan bir küresel düzenek olan doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi anlamını taşır.

Küresel ısınma, *sanayi devriminden beri, özellikle fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, tarımsal etkinlikler ve sanayi süreçleri gibi çeşitli insan etkinlikleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de katkısıyla doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında saptanan sıcaklık artışı* şeklinde tanımlanabilir (Türkeş, 2008b ve 2012a). Tanımdan da anlaşılabileceği gibi, insan kaynaklı iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya yol açan sera gazları; çoğunlukla fosil yakıtların yakılması (enerji ve çevrim), sanayi (enerji ilişkili; kimyasal süreçler ve çimento üretimi, vb. enerji dışı), ulaştırma, arazi kullanımı değişikliği, atık yönetimi ve tarımsal (enerji ilişkili; anız yakma, çeltik üretimi, hayvancılık ve gübreleme vb. enerji dışı) etkinliklerden kaynaklanır.

Şekil 8: *Yıllık ortalama yüzey sıcaklıklarında 1901-2012 dönemi için hesaplanan doğrusal eğilim oranlarına göre gözlenen değişikliklerinin alansal dağılışı (IPCC, 2013)*

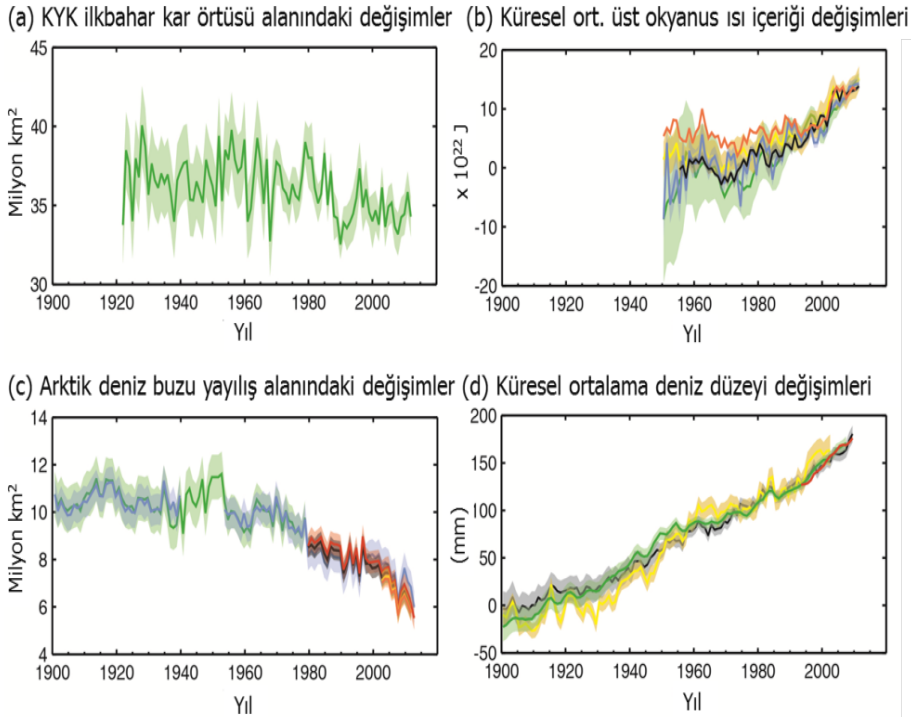


2
.90
.80
.70
.60
.50
.40
.30
.20
.10
.90
.80
.70

3. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÖZLENEN İKLİM DEĞİŞMELERİ

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 ışınımsal zorlama oluşturarak, dünya ikliminin daha sıcak (Şekil 7a ve 8), bazı bölgelerde daha kurak (Şekil 10) ve daha değişken olmasını sağlamasıdır. İster küresel isterse bölgesel 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 10). 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 ve 2012b, 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 ve 2014a).

Şekil 9: *(a) Kuzey Yarım Küre 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 yıllar arası değişimler (IPCC, 2013)*



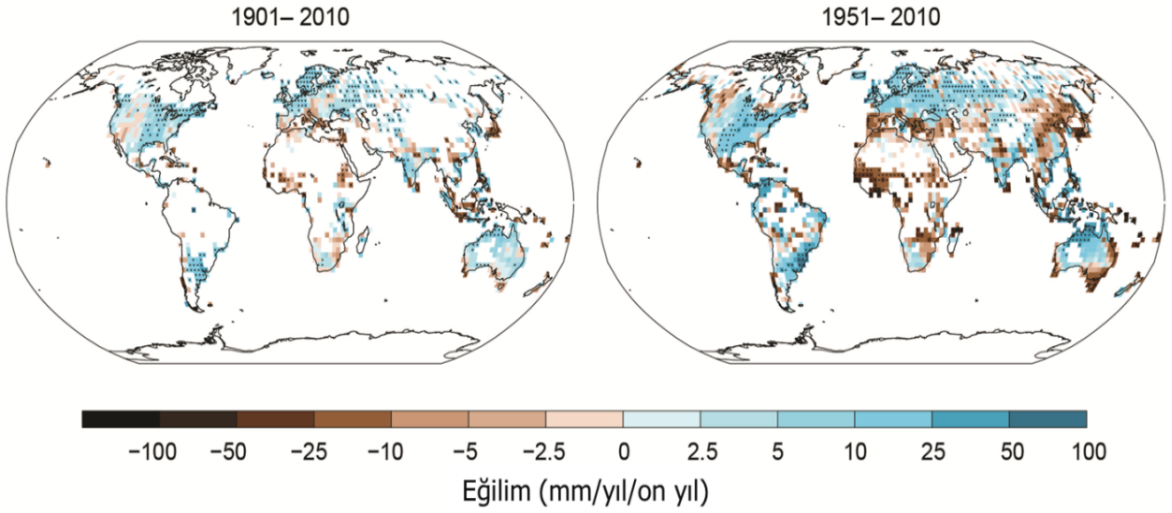
3.1. Küresel İklimde Gözlenen Değişmeler

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) yeni yayımlanan İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli Raporuna (IPCC, 2013) göre, *küresel iklimdeki ısınma kesindir ve 1950'li yıllardan beri iklimde gözlenen değişikliklerin çoğu son bin yıllık döneme kadar daha önce hiç görülmemiş düzeydedir*. Geçen 30 yılın her 10 yılı, yeryüzünde 1850'den beri kaydedilen küresel yüzey sıcaklıklarının tüm on yıllık dönemlerinden daha sıcak olmuştur. Küresel ortalama yüzey sıcaklığı verileri, 1901 – 2010 döneminde, 0.89 °C'lik [0.69 – 1.08 °C güven aralığında] doğrusal bir artış göstermiştir. Bu dönem boyunca hemen tüm Yerküre yüzeyi (Şekil 8) ve atmosferin yaşamın ve hava olaylarının oluştuğu en alt katmanı olan troposfer, küresel olarak 20'nci yüzyılın ortalarından beri ısınmıştır. 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 9). 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 9b). 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^{22} J değerindedir (IPCC, 2013) (Şekil 9b). 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.

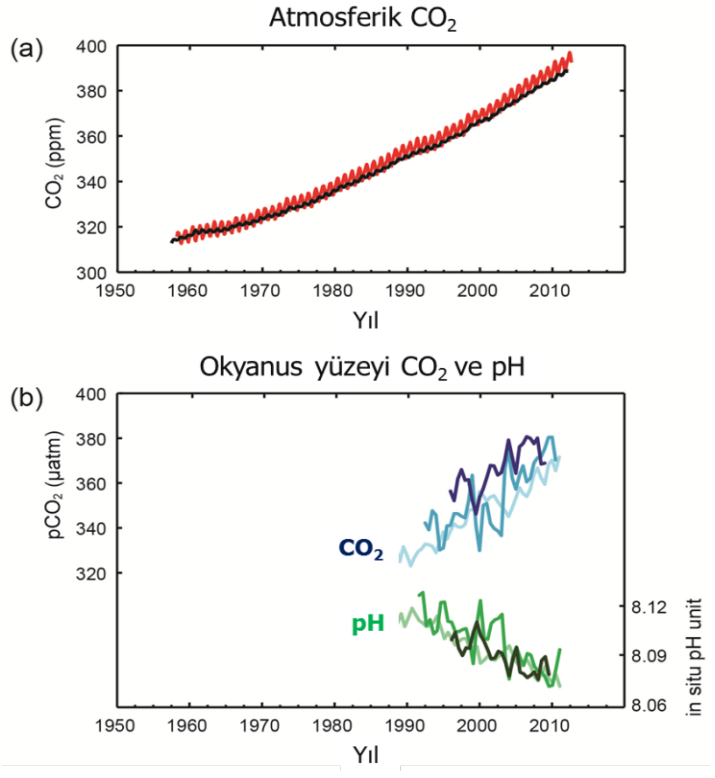
Okyanus tuzluluğunda gözlenen bu bölgesel eğilimler, okyanuslar üzerindeki buharlaşma ve yağışın değiştiğine ilişkin dolaylı kanıtlar sunmaktadır.

Grönland ve Antarktika buz kalkanları geçen 20 yıllık dönemde kütle kaybetmekte, dağ vadi ve takke buzulları buzullar neredeyse küresel ölçekte küçülmekte, Arktik deniz buzu ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsü alansal olarak azalmasını sürdürmektedir (Şekil 9a ve 9c). 19'ncu 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 9d). 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 (ör. Yerküre ve Güneş arasındaki ilişkilerdeki değişimler) yoluyla oluştuğu düşünülmektedir (IPCC, 2013).

Şekil 10: *Doğrusal eğilim hesaplamalarına göre, (a) 1901 – 2010 ve (b) 1951 – 2010 dönemlerinde gözlenen yağış değişikliklerinin alansal dağılış desenleri (IPCC, 2013)*



Şekil 11: *Küresel karbon döngüsünün gözlenen çoklu göstergeleri: (a) Mauna Loa ve Güney Kutbu'nda 1958 yılından beri gözlenen atmosferik CO_2 birikimlerindeki ve (b) okyanus yüzeyindeki çözünmüş CO_2'nin kısmi basıncı ile okyanus suyunun asitliğinin bir ölçüsü olan pH düzeylerinde yaklaşık olarak 1990'ların başından beri gözlenen yıllar arası değişimler (IPCC, 2013)*

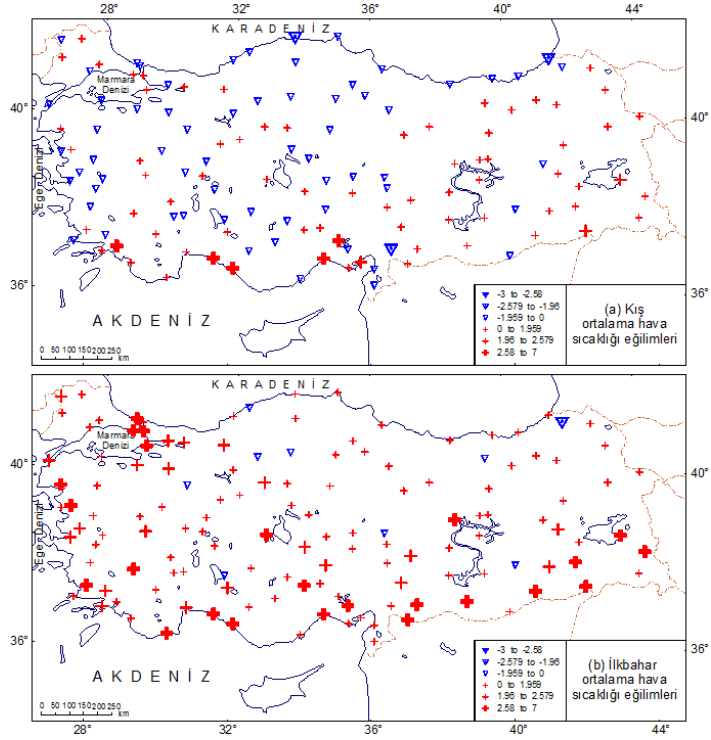


Kuzey Yarımküre karalarında yağışlar, 1901'den beri artmıştır. Akdeniz Havzası'nı ve Türkiye'nin Akdeniz ikliminin egemen olduğu batı ve güney bölgelerini içeren subtropikal ve bazı tropikal bölgelerde ise, aynı dönemde yağış tutarlarında belirgin azalışlar gözlenmiştir (Şekil 10). Birçok aşırı hava 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.

CO_2, CH_4 ve N_2O gazlarının atmosferik birikimleri, en azından son 800,000 yıllık dönemde hiç olmadığı kadar yüksek bir düzeye ulaşmıştır. CO_2 (Şekil 11a), CH_4 ve N_2O gazlarının atmosferdeki birikimleri, insan etkinlikleri (temel olarak fosil yakıt yanması ve ikincil olarak net arazi kullanımı değişikliğinden kaynaklanan emisyonlar) nedeniyle 1750 yılından beri artmıştır. 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 atmosfere salınan insan kaynaklı karbonun yaklaşık %30'unu emerek asitlenmiştir (Şekil 11b).

Şekil 12-1: *Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye kış (a) ve ilkbahar (b) mevsimi ortalama hava sıcaklığı dizilerindeki uzun süreli eğilimlerin 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) sınama örneklem değerlerine karşılık gelen harita simgelerini içeren lejanta göre, sırasıyla dizilerdeki %5 ve %1 anlamlılık düzeyindeki azalma (artma) eğilimlerini gösterir.*



UNEP

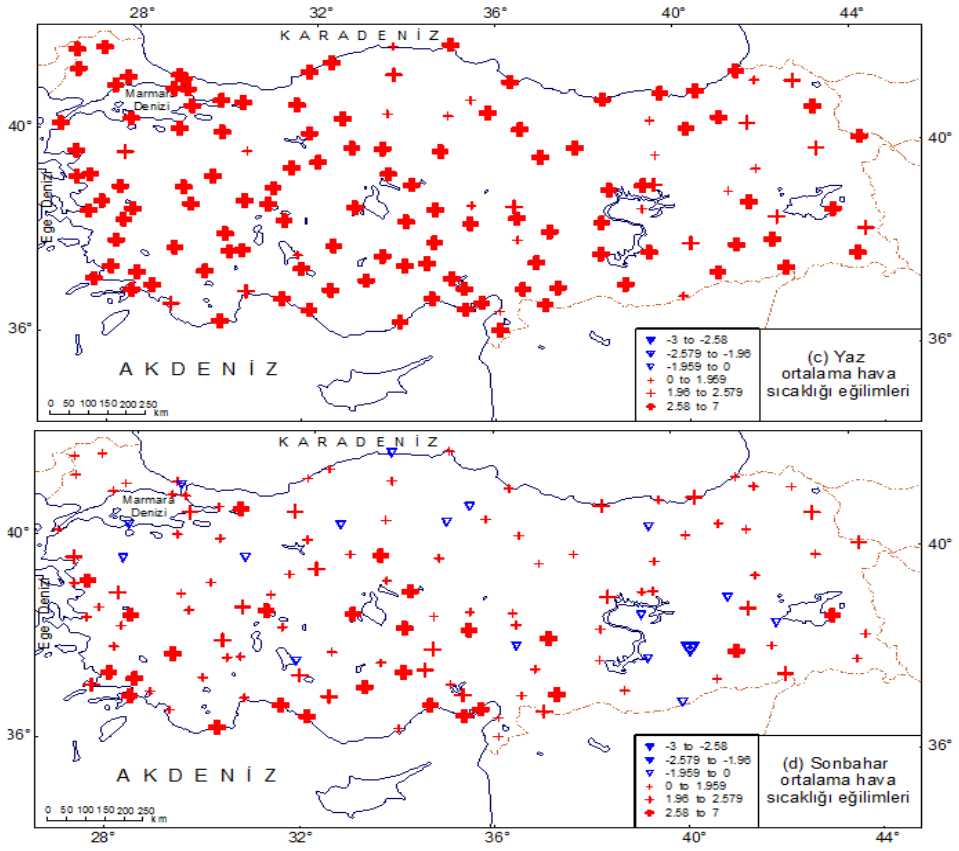
3.2. Türkiye İkliminde Gözlenen Değişmeler

Bu bölümde, 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 (°C) ile aylık toplam yağışın (mm ya da kg/m^2) istatistiksel ve klimatolojik zaman dizisi çözümlemelerinin sonuçları kullanılarak, Türkiye'deki yağış ve hava sıcaklığı dizilerindeki uzun süreli eğilimler ve değişimler incelendi (Türkeş, 2013b). İstasyon verilerindeki eğilimleri belirlemek amacıyla, uzun süreli zaman dizilerine *Mann-Kendall* (M-K) *sıra ilişki 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 (Türkeş, 1996, 1998, 1999), aylık ortalama hava sıcaklığı ve toplam yağış eğilimlerinin istatistiksel çözümlemesi ve anlamlılık sınaması için 138 istasyonun verileri kullanıldı. Ortalama maksimum ve ortalama minimum hava sıcaklığı dizilerindeki eğilimlerinin belirlenmesi içinse, ayrıntılı türdeşlik ve rastgelelik 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 toplamları için yıllık ve mevsimlik M-K sonuçları, ortalama maksimum ve ortalama minimum hava sıcaklıkları içinse yalnız yıllık M-K sonuçları verildi.

3.2.1. Hava Sıcaklıklarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler

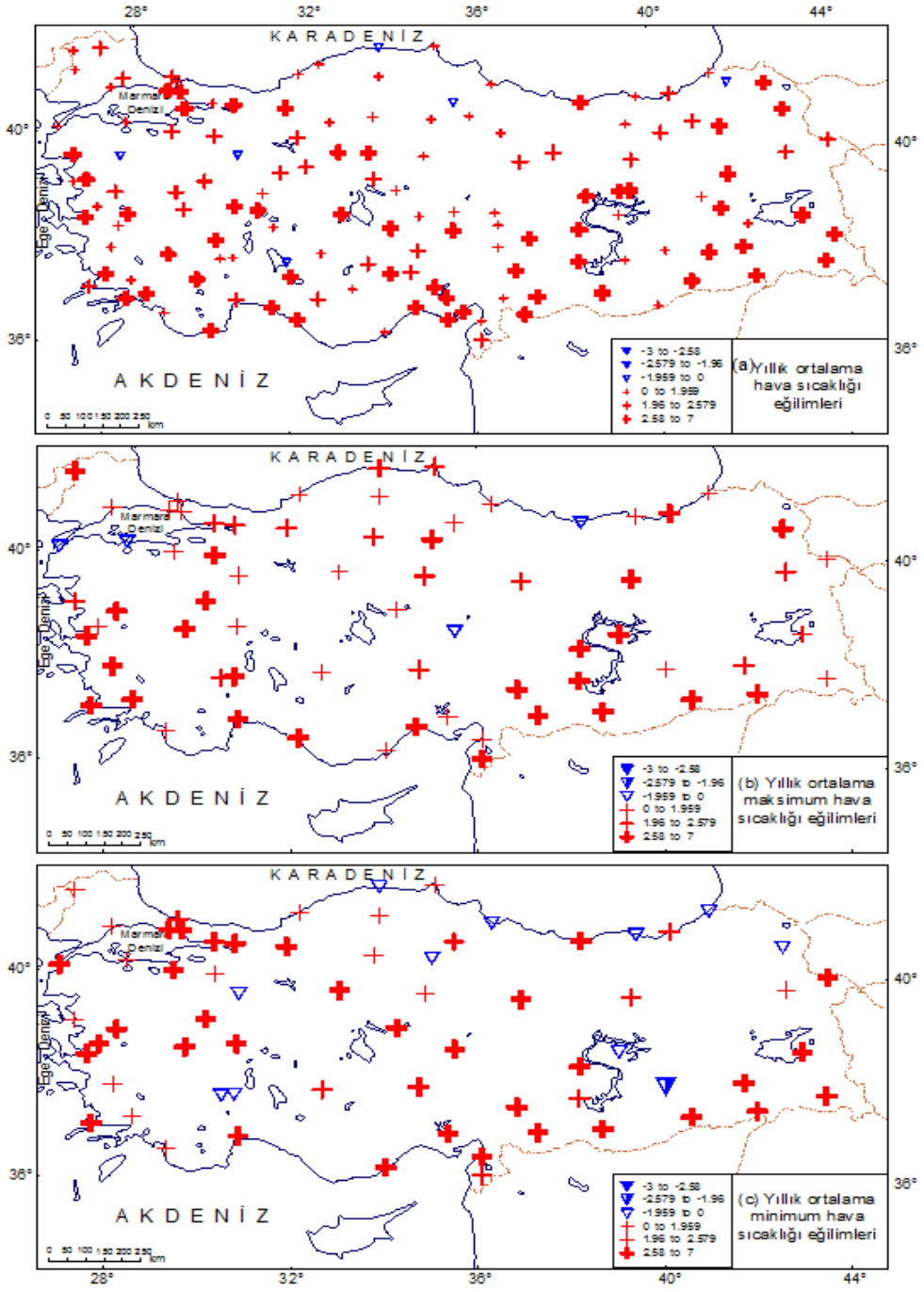
Türkiye'nin mevsimlik ortalama hava sıcaklıklarındaki uzun süreli eğilimler incelendiğinde, kış mevsiminde bir bölümü istatistiksel açıdan anlamlı olmak üzere, hem artış hem de azalış eğilimleri görülür (Şekil 12.1a). *M-K sınamasının* sonuçlarına göre, istatistiksel açıdan anlamlı (önemli) ısınma eğilimleri 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 12.1a). 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 12.1b).

Şekil 12-2: *M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye yaz (c) ve sonbahar (d) mevsimi ortalama hava sıcaklığı dizilerindeki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 12-1'deki ile aynıdır.*



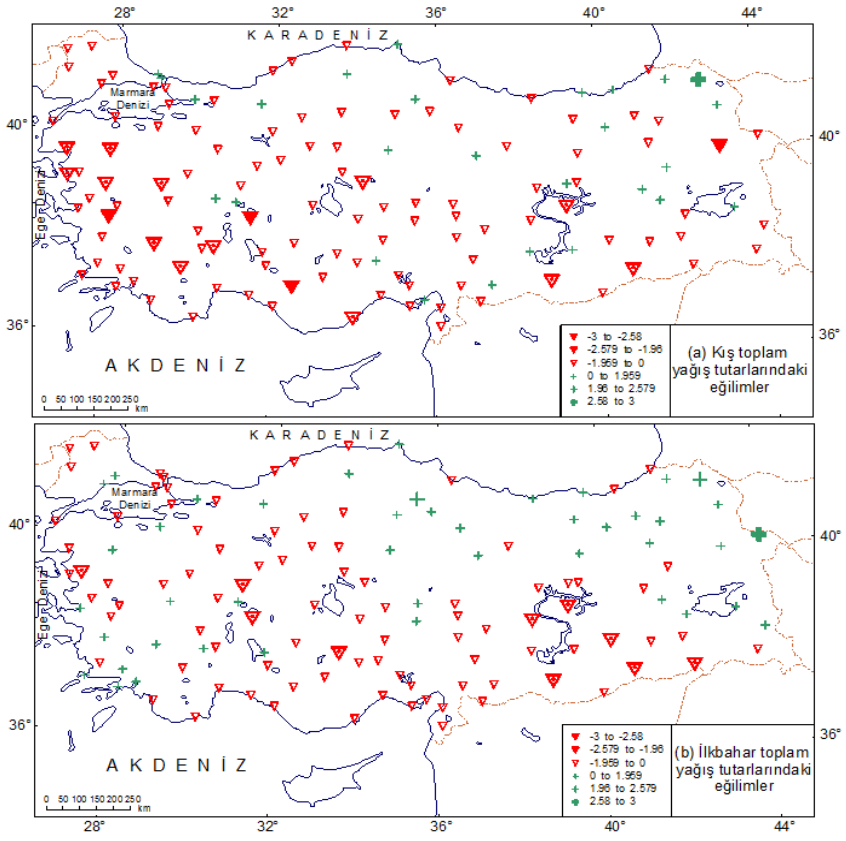
Burada sonuçları verilen yeni çalışmanın, Türkiye için gerçekleştirilen önceki hava sıcaklığı eğilim çalışmalarından en önemli farkı, ısınma eğilimlerinin giderek daha da kuvvetlendiği yaz ve sonbahar mevsimlerinde görülmesidir (Şekil 12.2c ve 12.2d). Yaz mevsiminde gözlenen kuvvetli ısınma eğilimleri, istasyonların büyük çoğunluğunda istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır (Şekil 12.2c). 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 1980'li yıllarla birlikte hızlanmış ve önemli bir sıçramayla 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, bazılarındaysa 1990'ların başında gerçekleşmiştir. Sonbahar ortalama hava sıcaklıkları da, çoğunlukla ısınma eğilimi gösterir (Şekil 12.2d). 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.

Şekil 13: *M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye yıllık ortalama (a), yıllık ortalama maksimum (b) ve yıllık ortalama minimum (c) hava sıcaklıklarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 12-1'deki ile aynıdır.*



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 13a, 13b ve 13c). Yıllık ortalama, yıllık ortalama maksimum ve yıllık ortalama minimum hava sıcaklıklarında, rastgele bir dağılış 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 sinyalleriyse, çok belirgin bir alansal tutarlılık deseni gösterir. Tüm bu sonuçlar, ötekilerin yanı sıra, insan kaynaklı küresel iklim değişikliğinin en belirgin ve görece kolay belirlenen sonuçlarından birisi olan küresel ısınmanın Türkiye'de etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 14-1: *M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye kış (a) ve ilkbahar mevsimi toplam yağış tutarlarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016). Ters üçgen simgeleri, toplam yağış dizilerindeki azalma ya da kuraklaşma eğilimlerini gösterirken, artı simgeleri toplam yağış dizilerindeki artma ya da daha yağışlı (nemli) olma eğilimlerini gösterir. İçi noktalı ve dolu daha iri üçgen simgeler (görece kalın ve daha kalın artı simgeler), M-K u(t) sınama örneklem değerlerine karşılık gelen harita simgelerini içeren lejanta göre, sırasıyla dizilerdeki %5 ve %1 anlamlılık düzeyindeki azalma (artma) eğilimlerini gösterir.*



3.2.2. Yağış Toplamlarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler

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 & Yıldız, 2014).

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, çok kurak ile yarı nemli arasındaki iklim kuşaklarının, iklimdeki kuvvetli değişmelerin etkilerine karşı daha açık olduğu anlaşılır. Bölgesel yağıştaki kısa süreli değişimler ve uzun dönemli dalgalanmalar, kurak ve yarı kurak 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, 2013b, 2014a ve 2014b).

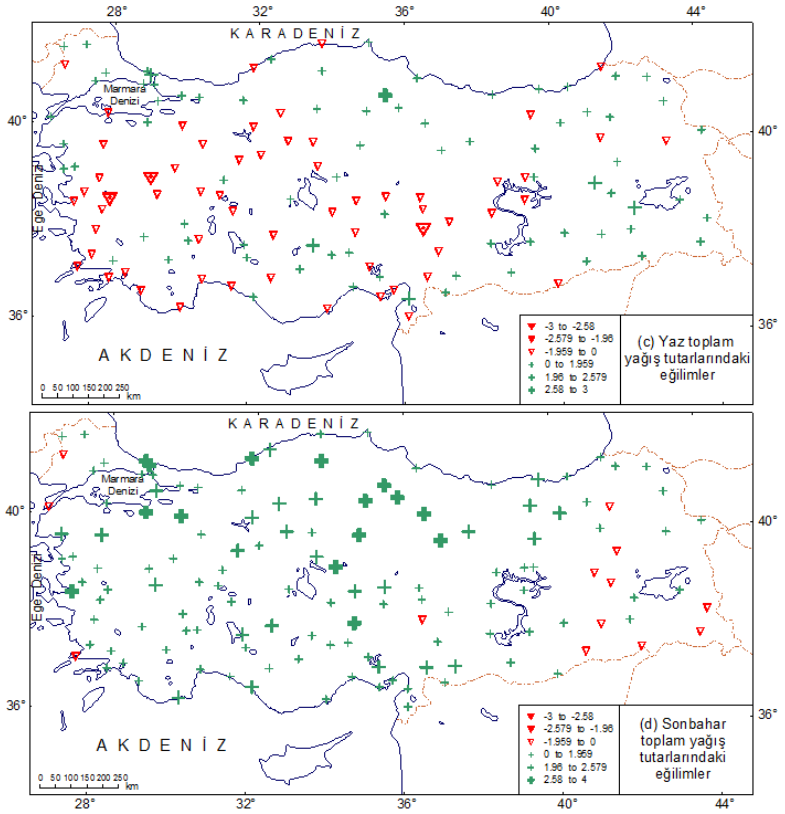
Gerçekte, bir karşılaştırma yapılırsa, Türkiye'de gözlenen mevsimlik ve yıllık yağış eğilimlerinin (bkz. Şekil 14-1, 14-2 ve 15), hava sıcaklıklarında gözlenen eğilimler kadar kuvvetli olmadığı görülür. Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi, yağışlardaki değişmeler uzun süreli eğilimlerden çok, çeşitli değişim ve dalgalanma biçimleriyle birlikte kurak ve nemli (yağış) dönemlerin sıklıklarında ve büyüklüklerinde belirlenen önemli değişiklikler biçiminde olmaktadır (Tatlı & Türkeş, 2008 ve 2011; Trenberth *ve ark.*, 2007; Trigo *ve ark.*, 2006; Türkeş, 1996, 1998, 2011a, 2011b ve 2013b; Türkeş & Erlat, 2003, 2005; Türkeş & Tatlı, 2009; Türkeş *ve ark.*, 2009a ve 2009b, vb.). Yağış değişmelerinin alansal değişkenliği de kuvvetlidir. Sözü edilen bu kuraklaşma eğiliminden Türkiye'de en fazla, Ege, Akdeniz, Marmara, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri etkilenmiştir.

Son 40 yılda özellikle kış mevsimindeki ve yıllık yağış değişiklikleri dikkate alındığında, Türkiye'deki kuraklık olaylarının en şiddetli ve geniş yayılımlı olanları, 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990 ve 2007-2008 dönemleri ile 1996 ve 2001 yıllarında oluşmuştur (Tatlı & Türkeş, 2008; Türkeş, 1996, 1998, 1999, 2008b ve 2011a; Türkeş & Erlat, 2003 ve 2005; Türkeş & Tatlı, 2009; Türkeş *ve ark.*, 2009a ve 2009b, vb.). 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, 2013b, 2014a ve 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 & Yıldız, 2014). 2013-2014 kuraklığı, 6 ay ve daha uzun zaman ölçekleri için hesaplanan SPI dağılış desenlerine bakıldığında açıkça görüleceği gibi, bir meteorolojik kuraklık olayı olmaktan çıkarak birçok bölgede ve yörede tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara dönüşmüştür (Türkeş, 2014a ve 2014b).

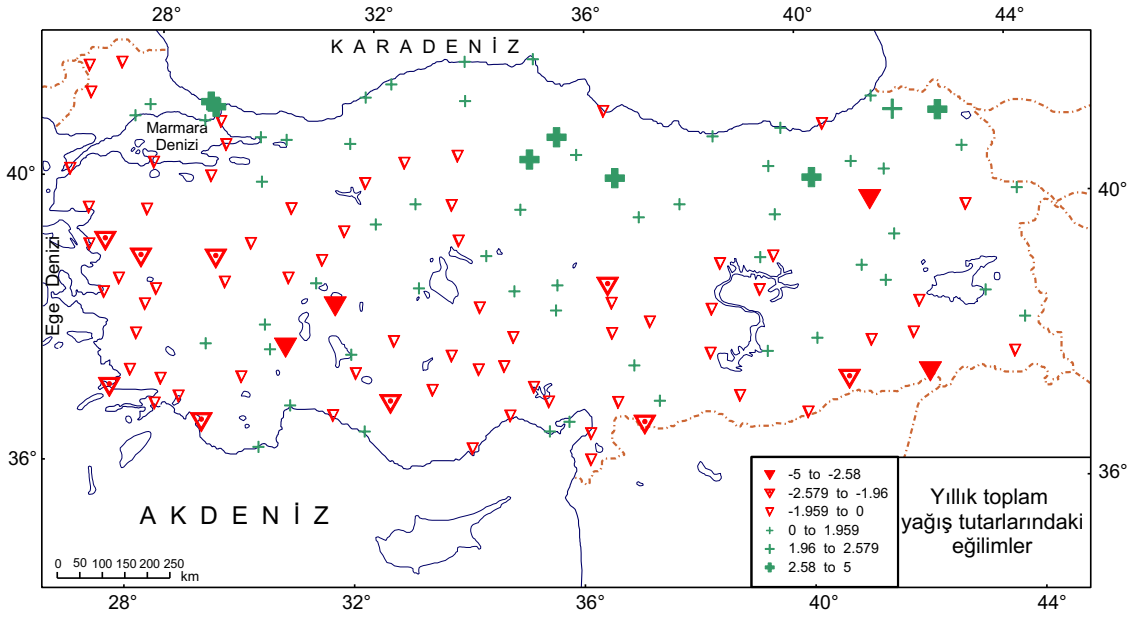
Türkiye yağışlarındaki uzun süreli eğilimler ve değişimler incelendiğinde, genel olarak kış ve ilkbahar yağış toplamlarında Türkiye'nin Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin iç ve güney bölümlerinde belirgin bir azalma eğiliminin (kuraklaşma) olduğu görülür (Şekil 14-1a ve 14-1b). Kış mevsiminde Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gözlenen kuraklaşma eğilimlerinin bazıları istatistiksel olarak önemlidir (Şekil 14-1a). 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).

Şekil 14-2: *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 14-1'dekinin aynısıdır.*



Yazın, önceki çalışmaların sonuçlarına benzer olarak, birkaçı istatistiksel olarak önemli olmak üzere, hem artış hem de azalış eğilimleri egemendir (Şekil 14-2c). 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 14-2d.). Bu artış eğilimlerinin ortaya çıkmasında, *Azorlar bölgesi üzerindeki subtropikal yüksek basınç ile Grönland ve İzlanda üzerindeki orta enlem alçak basıncı arasındaki geniş ölçekli atmosferik basınç dalgalanması* olarak tanımlanan NAO negatif evresiyle bağlantılı olarak son yıllarda gözlenen uzun süreli ortalamadan daha nemli koşullar etkili olmuş olabilir (Türkeş, 2011a ve 2012a).

Şekil 15: *M-K sıra ilişki katsayısı anlamlılık sınamasına göre, Türkiye yıllık toplam yağış tutarlarındaki uzun süreli eğilimlerin alansal dağılış desenleri (Türkeş, 2016). Harita açıklaması Şekil 14-1'dekinin aynısıdır.*



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 15). 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.

Ayrıca, uzun süreli klimatolojik ve meteorolojik gözlemlerden elde edilen yeni bulgular, 1950'lerden beri bazı aşırılıklarda özellikle günlük aşırı 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'ye (2013) 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 (Erlat & Türkeş, 2008, 2012 ve 2013; Türkeş ve ark., 2002; Türkeş & Sümer, 2004; Kartum ve ark., 2011; vb.).

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, 2012a, 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* (ör. IPCC, 2007, 2013; Türkeş, 2012a, 2013b ve 2014a, vb.). 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.

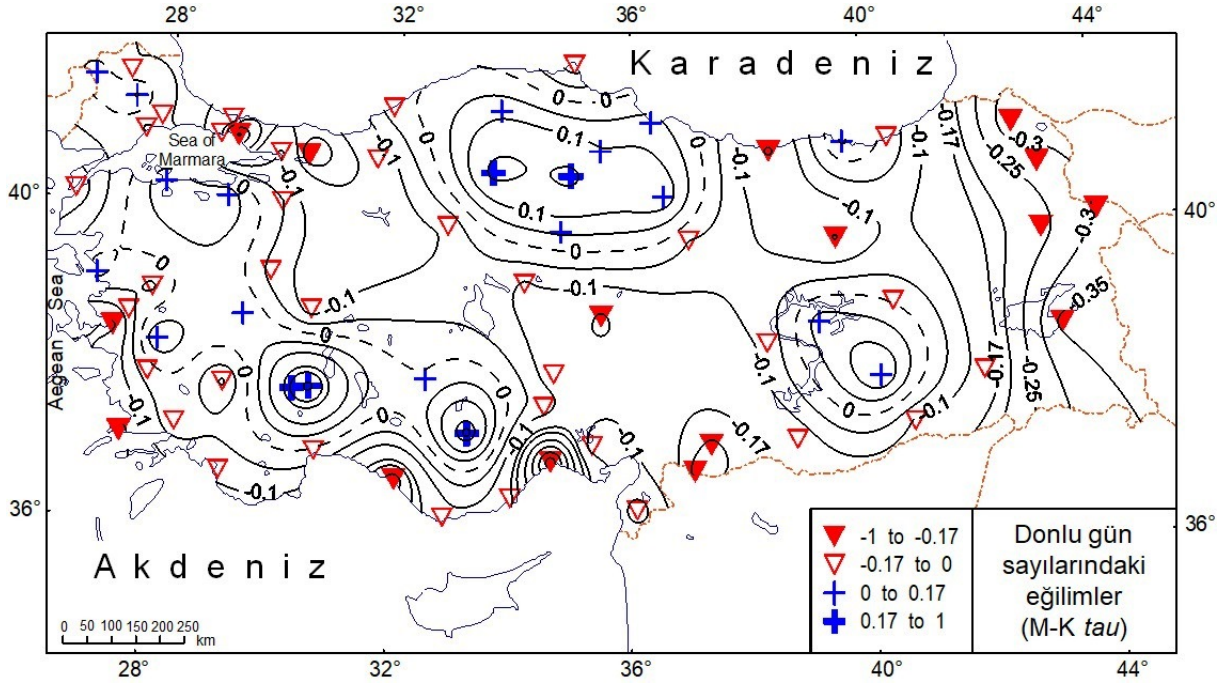
3.3. Ekstrem Hava ve İklim Olaylarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler

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 & Erlat, 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 hale gelen alt yapı tesisleri, geçmişe göre günümüzde toplumların aşırı hava/iklim olaylardan olumsuz etkilenme potansiyelini de arttırmaktadır (a.g.e.).

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 tekrarlama 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 ortalamanın 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.

Şekil 16: *1949/1950-2009/2010 döneminde kaydedilen yıllık donlu gün sayılarındaki uzun süreli doğrusal olmayan eğilimleri saptamak için hesaplanan Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı tau'nun (τ) Türkiye üzerindeki coğrafi dağılış deseni (Erlat & Türkeş, 2012). Burada ters üçgenler negatif (azalma) ve artı simgeler pozitif (artış) eğilimlerini gösterir. İçi dolu üçgenler ve kalın artı işaretleriyse, %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı eğilimlere karşılık gelir.*

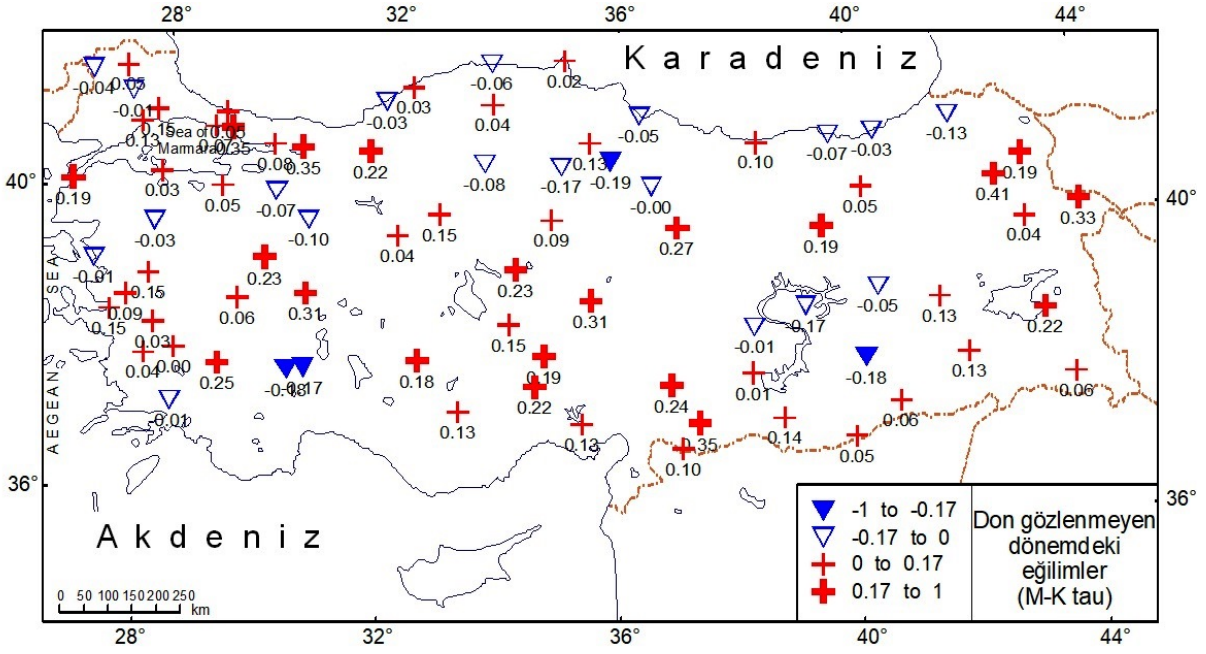


3.3.1 Yıllık Donlu Gün Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler

Ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında gözlenen bu artış ile ilişkili olarak, Türkiye'de don olayı, yaz ve tropik gün sayıları gibi aşırı 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 göstermiştir (Şekil 16). Ardahan, Iğdır ve Van gibi istasyonlarda azalma eğilimi her on yıl için 4 güne yaklaşmıştır.

***Şekil 17**: 1950-2013 döneminde don gözlenmeyen dönemin (FFP) uzunluğundaki uzun süreli doğrusal olmayan eğilimleri saptamak için hesaplanan Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı tau'nun (τ) Türkiye üzerindeki coğrafi dağılış deseni (Erlat & Türkeş, 2016). Burada ters üçgenler negatif (azalma) ve artı simgeler pozitif (artış) eğilimlerini gösterir. İçi dolu üçgenler ve kalın artı işaretleriyse, %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı eğilimlere karşılık gelir.*



3.3.2. Don Olayı Gözlenmeyen Dönemin Uzunluğundaki Değişimler ve Eğilimler

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 olmak üzere daha erken bir tarihte son bulma eğilimi göstermiştir. 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 17).

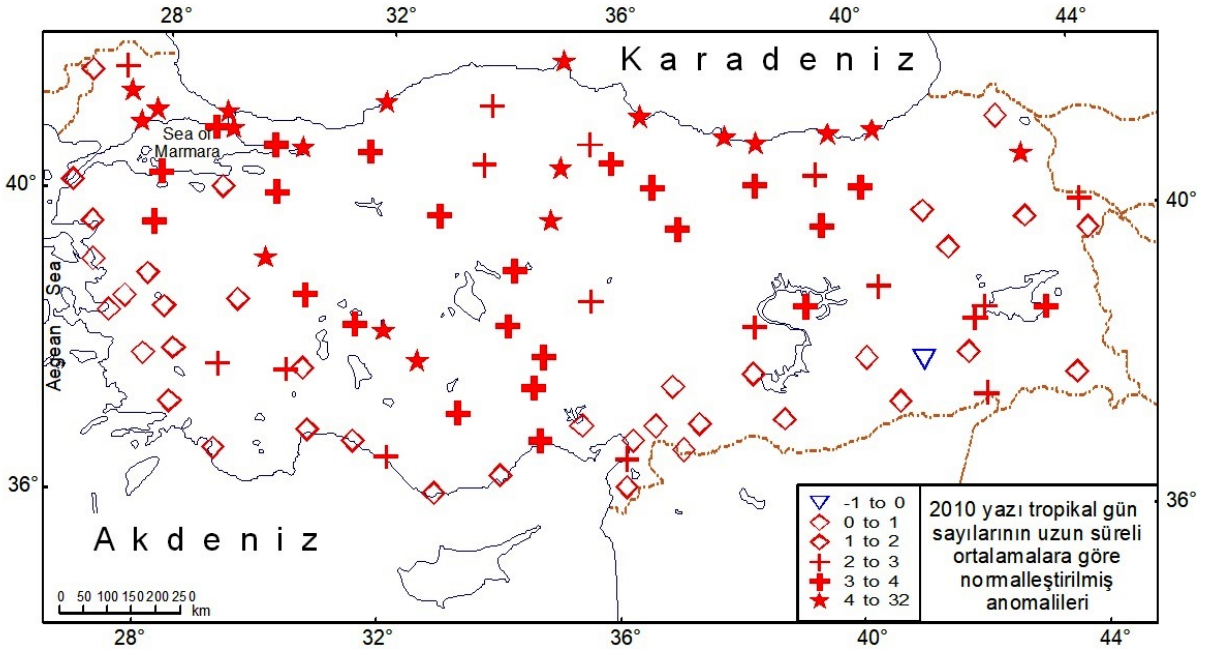
3.3.3. Yaz Günü, Tropikal Gün ve Tropikal Gece Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler

1950-2010 döneminde Türkiye'de yaz (≥ 25 °C) ve tropikal gün ≥ 30 °C) sayılarındaki değişimler 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 18) gün sayıları 1961-1990 ortalamasının 3 standart sapma değeri üzerine çıkmıştır.

Konuyla ilgili bir başka iklim değişikliği göstergesi '*tropikal gece*' olarak adlandırılan bir iklim indisidir. Tropikal gece, 2 metrede gözlenen gece en düşük (minimum) hava sıcaklıklarının (T_{min}) 20 °C'den büyük olduğu gece olarak tanımlanmakta *ve günlük T_{min}'lerin 20 °C'den yüksek olduğu günler sayısı* olarak adlandırılan basit bir indis aracılığıyla yıllık olarak incelenmektedir. Türkiye'deki 92 klimatoloji ve meteoroloji istasyonunda 1950–2016 döneminde kaydedilen yıllık tropikal gece sayılarında gözlenen değişmeler ve eğilimlerin incelendiği yeni bir çalışmaya göre (Erlat & Türkeş, 2017), tropikal gece sayılarının istasyonların çoğunluğunda (92'nin 87'sinde) istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi göstermektedir. Yıllar arası değişmeler göz önüne alındığında, değerlerin 1950-1984 döneminde uzun dönem ortalamasının genellikle altında kaldığı ve azalma eğilimi gösterdiği görülür.

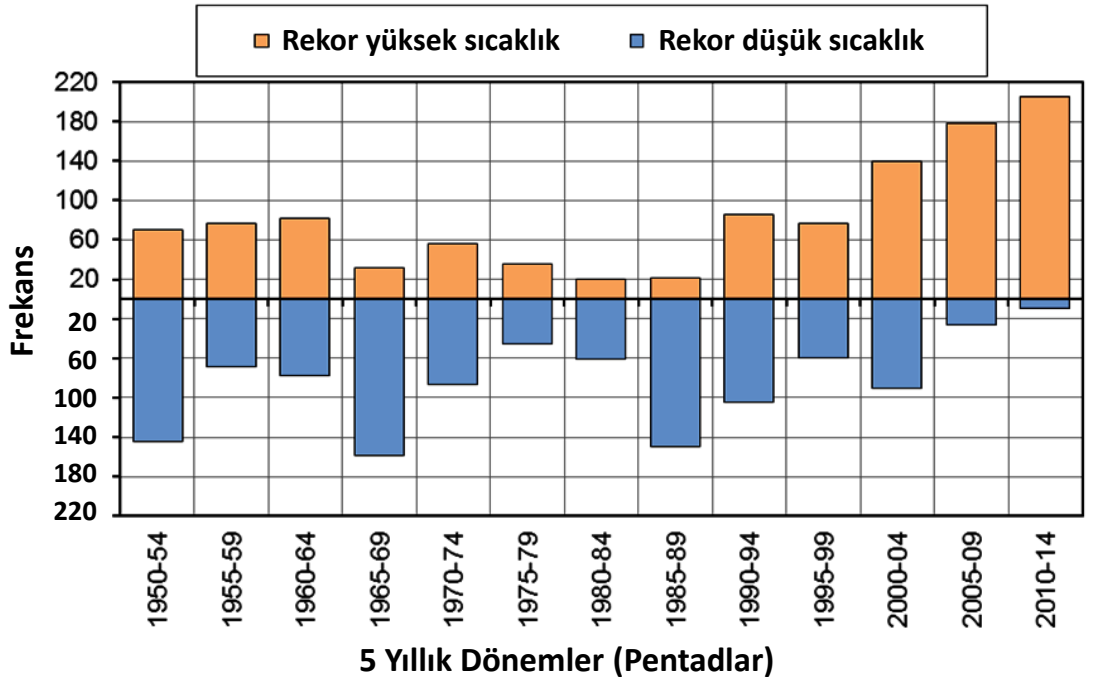
Türkiye'de bu dönem içinde en düşük yıllık tropikal gün sayılarına 1976, 1968 ve 1984 yıllarında rastlanmaktadır. Yıllık tropikal gün sayıları 1985 yılından sonra ortalamaya göre sürekli pozitif sapma (anomali) göstererek kuvvetli bir artış eğilimi sergilemiş ve en yüksek sayılara 2010, 2012 ve 2016 yıllarında ulaşmıştır. Gözlenen artış eğilimi tropik gece sayılarının zaten yüksek olduğu kıyı istasyonlarında belirginleşirken, karasallığın arttığı, tropik gece sayılarının düşük ve daha değişken olduğu İç ve Doğu Anadolu istasyonlarında zayıflamaktadır (a.g.e.). Bu sonuçlar Türkiye'de gece sıcaklıklarının 1980'li yılların ortalarından itibaren hızla yükseldiğini ve minimum sıcaklık rejiminin ya da istatistiksel dağılımının dikkat çekici bir biçimde değiştiğini göstermektedir.

Şekil 18: *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 & Türkeş, 2013). En kuvvetli ve kuvvetli anomaliler, sırasıyla kalın artı ve içi dolu yıldız simgesi ile gösterilmiştir.*



Ayrıca, WMO İklim Komisyon'u tarafından önerilen 27 iklim indisine göre Türkiye'de aşırı 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.

Şekil 19: *1950-2014 döneminde Türkiye'deki 81 istasyonda gözlenen rekor maksimum ve rekor minimum hava sıcaklığı olaylarının yıllık sayılarının pentadlara göre değişimi (Türkeş & Erlat, 2018)*



3.3.4. Rekor Maksimum ve Rekor Minimum Hava Sıcaklıklarındaki Değişimler ve Eğilimler

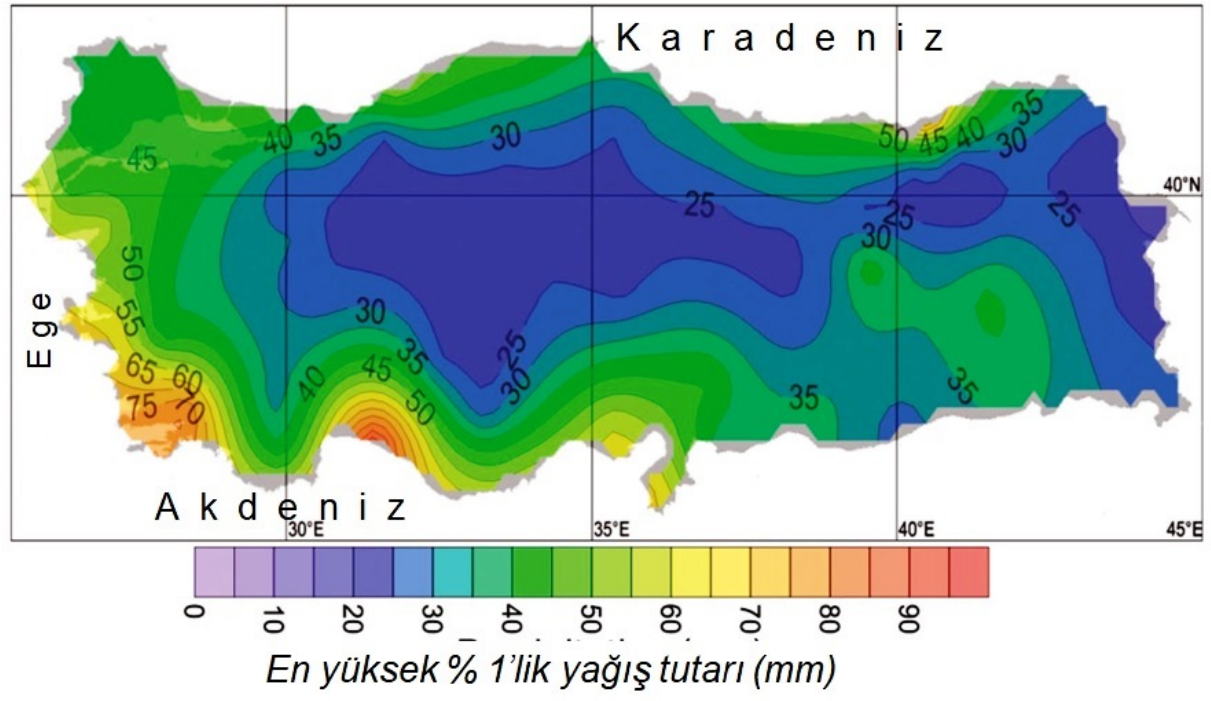
Türkiye'de 1950-2014 döneminde kaydedilen rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının yıllık sayılarındaki zamansal değişimler incelendiğinde, rekor minimum hava sıcaklığı frekansının 1950'li yıllardan günümüze doğru azaldığı görülmektedir. Buna karşın özellikle 2000'li yıllarla birlikte rekor maksimum hava sıcaklığı frekansında ise bir artış eğilimi olup, 1950 yılından bu yana rekor maksimum sıcaklık olaylarının yarısı 2000-2014 döneminde kaydedilmiştir (Şekil 19). Çalışmada kullanılan 81 istasyonda en yüksek sıcaklık değerleri 2000 yılında, en düşük sıcaklıklar ise 1950 yılında kaydedilmiştir. 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.

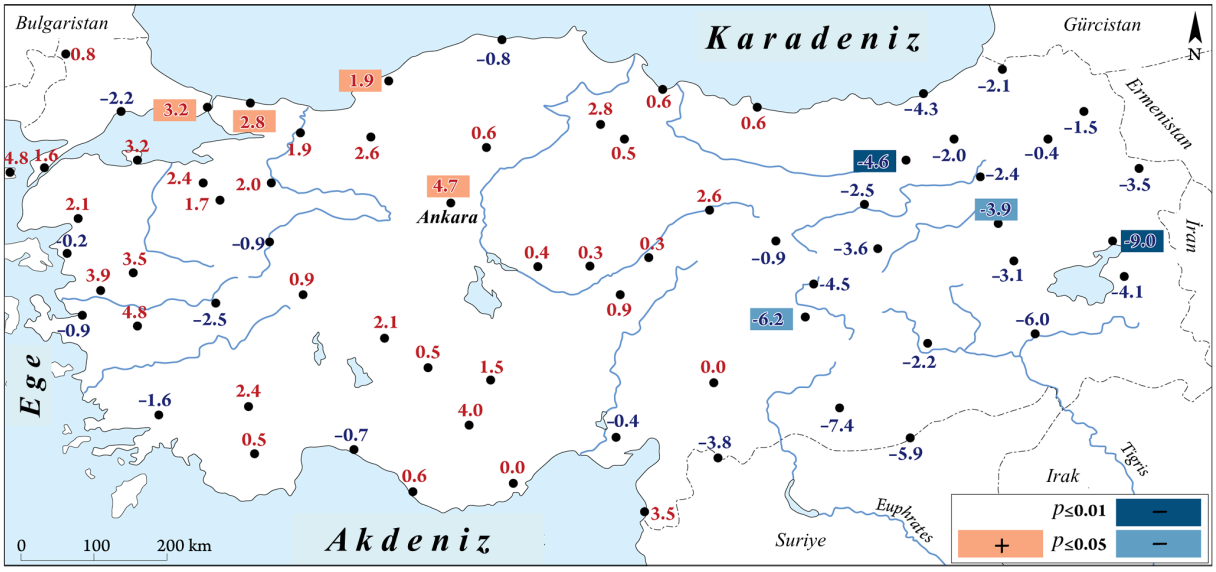
3.3.5. Son Yağıştan Sonra Gerçekleşen En Uzun Yağışsız Gün Sayılarındaki Değişimler ve Eğilimler

Türkiye'de aşırı yağışların oluşumunu sağlayan Avrupa ve Akdeniz Havzası'ndaki atmosfer dolaşımı karakteristiklerinin çözümlendiği bir çalışmada, 1979-2011 döneminde MGM'nin 70 istasyonunda kaydedilen günlük yağış toplamlarının 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 dağılış desenleri Şekil 20'de gösterilmiştir. Bu dağılış 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.

Şekil 20: *Türkiye'deki günlük yağış toplamlarına göre, en yüksek %1'lik günlük yağış eşiklerinin (mm) Türkiye üzerindeki alansal dağılışı (Lolis & Türkeş, 2016)*



Şekil 21: *Türkiye'de DDSLR sayılarındaki doğrusal eğilimler (Kutiel & Türkeş, 2017)*



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 (İngilizcesi: *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 yıllar arası 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 yarı kurak 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 bölümlerinde daha belirgindir (Şekil 21).

3.3.6. 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.

***Şekil 22**: Türkiye'de oluşan hortum olaylarının alansal dağılış 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 (bkz. http://www.severe-weather.eu/).*

Uygun yüzey ve yüksek atmosfer koşullarında tam gelişme olanağı bulan şiddetli bir gök gürültülü 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 Amerika Birleşik Devletleri (ABD) dışındaki ülkelerde daha fazla ilgi görmesi, oluşum 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 kurulması ile ilişkilidir. Kuramsal olarak ve bazı iklim model çalışmalarına göre, yüzey ve alt atmosfer sıcaklıklarının, buharlaşmanın ve atmosferin su buharı içeriğinin (ör. su buharı karışma oranı ya da özgül nemin) artması sonucunda, konvektif kararsızlık ya da konveksiyon artabilecektir (Türkeş, 2015a ve 2015b). Bunun sonucunda, özellikle daha fazla yoğunlaşma gizli ısısının açığa çıkması, hava kütlesi orajlarının (olağan gök gürültülü fırtına) ve süper hücre fırtınalarının şiddetlerinin ve hortum oluşturma kapasitelerinin kuvvetlenmesi beklenebilir (Türkeş, 2015b ve 2017). Şiddetli gök gürültülü fırtına ve hortum sıklıklarının değişmesi konusu ise, oluşumları farklı düzenekler ile çeşitli fiziki coğrafya öğe ve etmenlerine de bağlı olduğu için, henüz daha az kesinlikle öngörülebilir bir aşamadadır.

Daha önceki çeşitli çalışma ve açıklamalarımızda (ör. Türkeş, 2015a, 2017; HürriyetDailyNews, 2017; Cengiz, 2019; vb.) ve 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 gözlendiği coğrafi alana karşılık gelmektedir (Şekil 22). 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 gök gürültülü fırtına yani bir kümülonimbüs (Cb)[19] bulutunun ya da birleşik bir Cb kütlesinin ya da bazı çok şiddetli hortumlarda orta ölçekli bir siklonun[20] (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[21] 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 değişimlerini incelemek gerekir. Bunun için yapılması gereken en doğru yaklaşım ise, hortum olayı sıklıklarına ilişkin zaman dizisi verilerinin alansal ve zamansal değişmelerinin istatistiksel çözümlemeleridir.

[19] Atmosferdeki dikine gelişimi belirgin, kalın ve geniş karnabahar biçimli (kümülüs) küme, kule ve sütunlarından oluşan, çoğunlukla sağanak ve gök gürültülü sağanak yağışlarla (sağanak yağmur ve/ya da dolu ya da kar sağanağı, vb.) nitelenen, gök gürültüsü, şimşek ve yıldırım olaylarıyla birlikte gözlenen bulutlardır.

[20] Meteorolojik hava haritalarında, bir alçak basınç merkezi çevresinde siklonik (kuzey yarım kürede, saat akrep ve yelkovanının hareket yönünün tersine) bir rüzgâr akışının, başka bir deyişle yatay hava hareketinin egemen olduğu bir sinoptik özelliktir.

[21] Hava kütlelerinin hâkim hava akımlarına dönük dağ ya da sıradağ yamaçları boyunca yükselmeye zorlanması ve bunun sonucunda gelişen meteoroloji ve atmosferik olaylardır.

Şekil 23: *Şiddetli Hava Avrupa'nın elde ettiği ve doğrulamasını yaptığı bilgi ve verilere dayanarak hazırlandı (bkz. http://www.severe-weather.eu/).*

(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 yıl 20 günlük dönemde Türkiye'de oluşan toplam hortum olayı sayılarının coğrafi dağılışı.

Henüz Türkiye'de bu tür ayrıntılı klimatolojik ve istatistiksel çözümlemeleri yapabilecek 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 23). 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 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[22] 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, 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 eğilimde olan daha değişken ve aşırılıkları daha kuvvetli bir iklimimiz olması beklenmelidir.

[22] Rüzgârın, merkez basınç değeri çok düşük (çok derin) bir alçak basınç merkezi çevresinde çok yüksek hızla estiği, şiddetli ve yıkıcı siklonik sarmallardır.

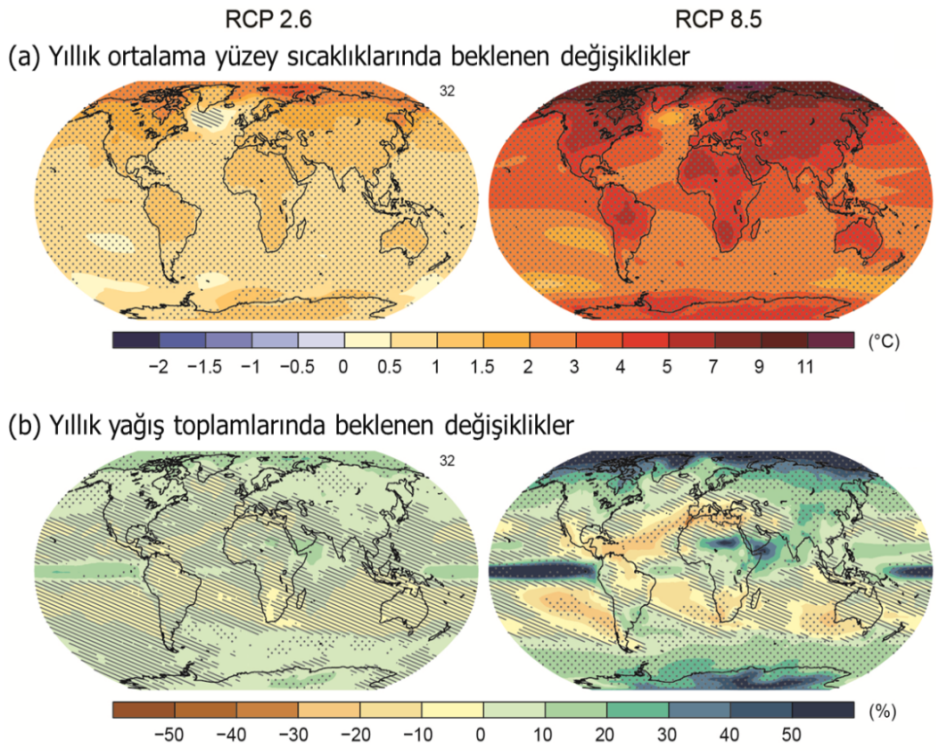
4. MODEL BENZETİMİ KÜRESEL VE BÖLGESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ

Hızla gelişen iklim modelleri, gözlenen kıtasal ölçekli yüzey sıcaklığı desenlerini ve onlarca yıllık zaman ölçeklerindeki eğilimleri, 20. 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. yüzyılın ortasından beri gözlenen ısınmanın en önemli nedeni olmuştur (IPCC, 2013).

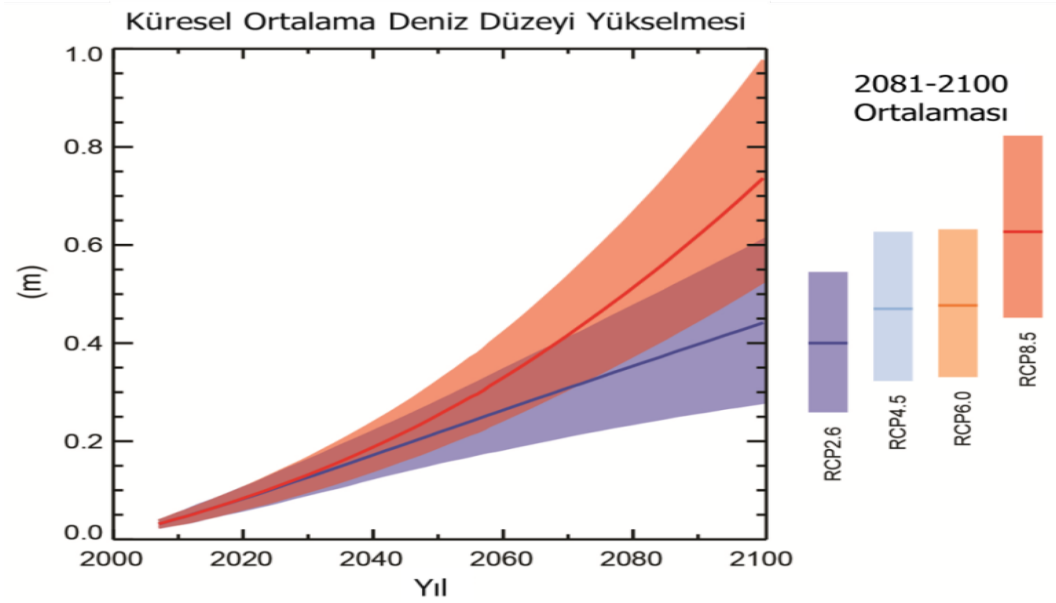
4.1. Küresel İklim Değişikliği Kestirimleri

IPCC'ye (2013) göre, sera gazlarının sürmekte olan emisyonları, daha fazla ısınmaya (Şekil 24a) ve başta buharlaşma ve yağış (Şekil 16b) gelmek üzere iklim sisteminin tüm bileşenlerinde değişikliklere neden olacaktır. İklim değişikliğinin sınırlandırılması, sera gazı emisyonlarının 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.

Şekil 24: *Yeni IPCC senaryolarına (RCP2.6 ve RCP8.5) dayanarak; (a) Yıllık ortalama yüzey sıcaklığı (°C olarak) ve (b) yıllık yağış toplamlarında (% olarak) 1986-2005 ortalamasına göre 2081-2100 döneminde gerçekleşmesi beklenen model kestirimi değişiklikler (IPCC, 2013)*



Şekil 25: *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.*

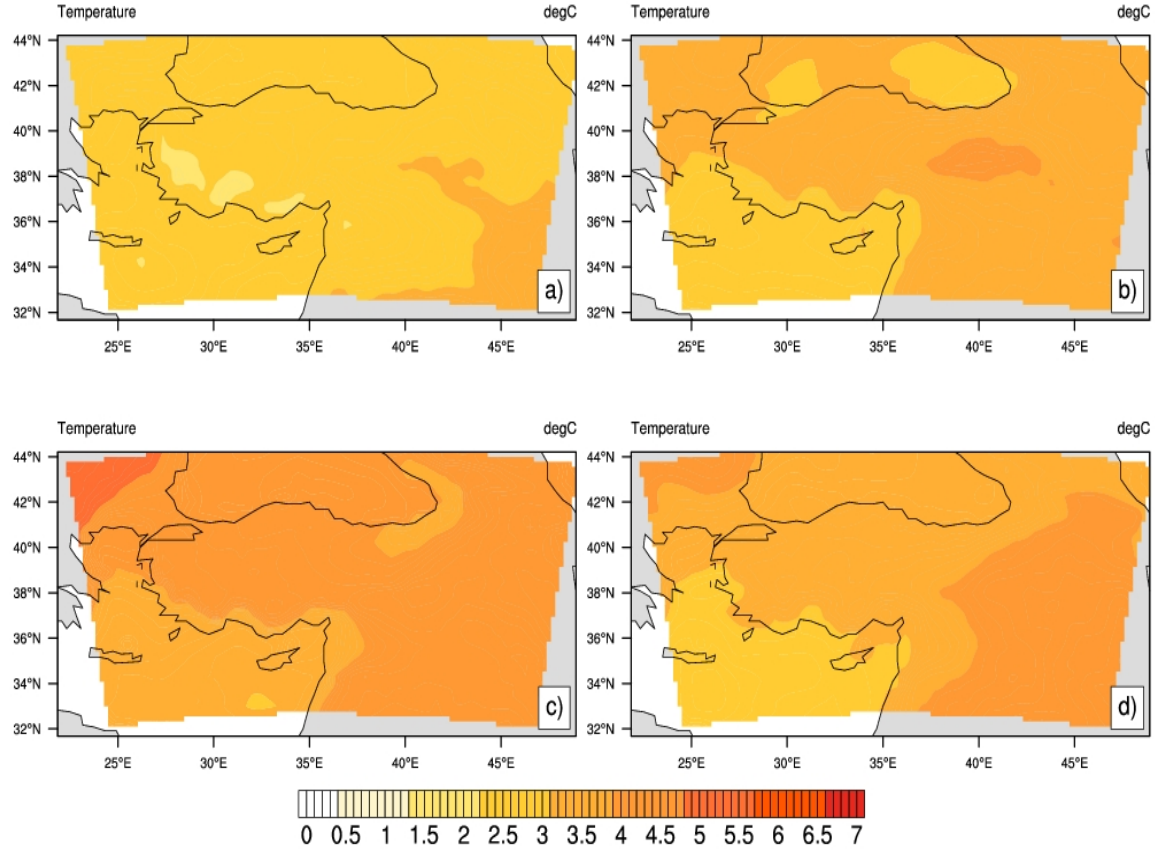


Küresel yüzey sıcaklığı değişikliği, 21. yüzyılın sonuna kadar, biri (RCP2.6) dışında tüm yeni IPCC senaryolarına (RCP'ler) dayanarak *olasılıkla* 1850 - 1900 dönemine göre 1.5 °C'yi ve iki yeni senaryoya (RCP6.0 ve RCP8.5) göre *olasılıkla* 2 °C'yi aşacaktır. Küresel ısınma, 2100 yılı sonrasında da sürecektir. Isınma ve yağış değişimleri, yıllar arası değişkenlikten on yıllık değişkenliklere kadar çeşitli değişkenlikler sergilemeyi sürdürecek ve bölgesel olarak türdeş olmayacaktır (Şekil 24a ve 24b).

Okyanuslar, 21. 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. yüzyıl boyunca azalacaktır. Küresel ortalama deniz düzeyi 21. yüzyıl boyunca yükselmesini sürdürecektir (Şekil 25). 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_2'nin artışını daha da büyüterek, karbon döngüsü süreçlerini etkileyecektir. Karbonun okyanuslar tarafından daha fazla biriktirilmesiyse, okyanus asitliğinin artmasına yol açacaktır.

Son olarak, küresel iklim değişikliğinin pek çok özelliğinin ve etkisinin, CO_2 ve diğer sera gazı emisyonları durdurulsa bile yüzyıllarca süreceğini hatırlatmakta yarar görüyorum. Ayrıca bu olgu, insan kaynaklı sera gazlarının geçmiş, günümüz ve gelecek emisyonlarının neden olduğu yüzyıllarca sürecek önemli bir iklim değişikliği yükümlülüğünün (ör. BM Kyoto Protokolü ve sonrası) de varlığını sürdüreceğini göstermektedir.

Şekil 26: *Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 emisyon 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 dağılış desenleri (Öztürk ve ark., 2014)*



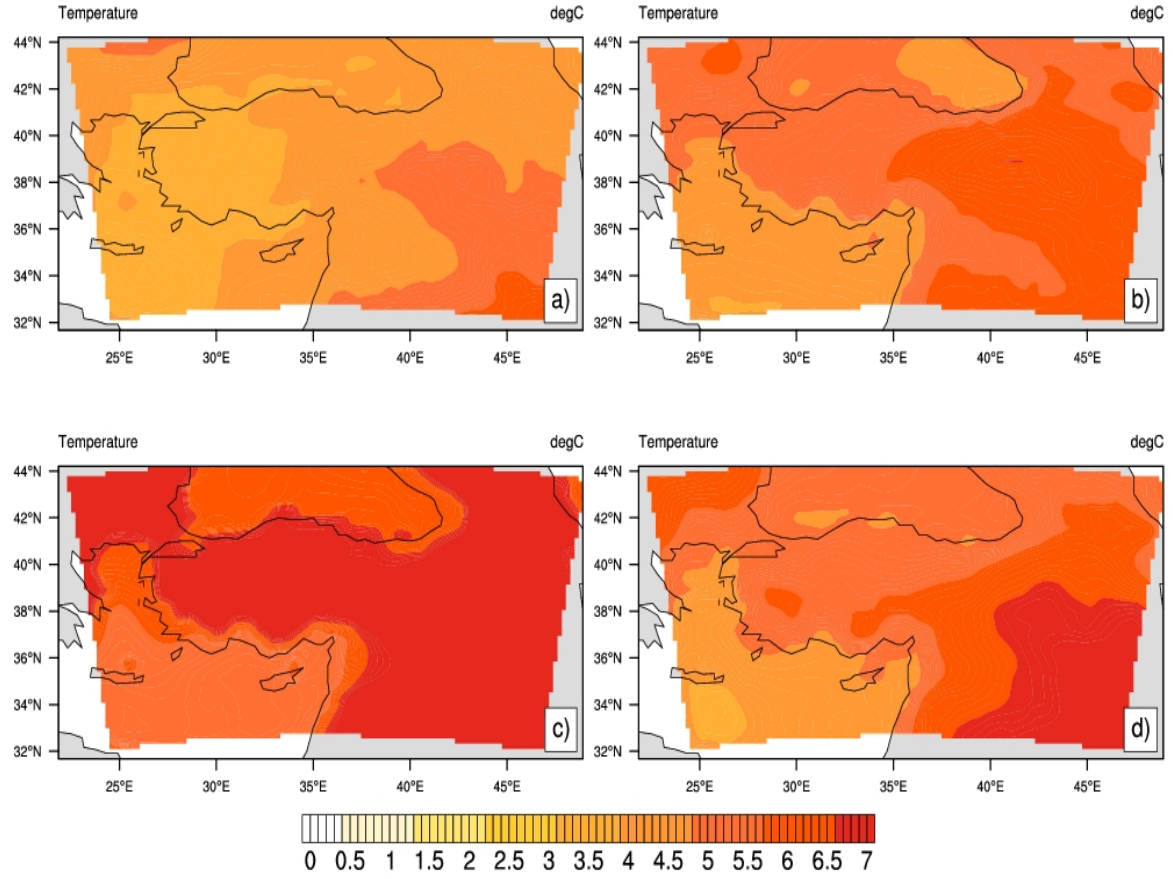
4.2 Türkiye ve Bölgesi İçin İklim Değişikliği Kestirimleri

Türkiye'de ve onu çevreleyen bölgelerde (genel olarak Balkanları ve Orta Doğu Bölgesi'ni 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, 2013; Trigo *ve ark.*, 2006; Türkeş, 1996, 1998, 1999, 2008b, 2012a ve 2012b, 2013b ve 2014a; Türkeş & Sümer, 2004; Türkeş & Tatlı, 2009; Türkeş *ve ark.*, 2002; Türkeş *ve ark.*, 2009a ve 2009b; Türkeş *ve ark.*, 2011; Turp *ve ark.*, 2014; Öztürk *ve ark.*, 2015, vb.). 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), Önol ve Semazzi (2009), Altınsoy *ve ark.* (2012), Önol 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 değişiklerin 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 – Uluslararası Teorik Fizik Merkezi) 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, küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryoları çıktıları kullanıldı.

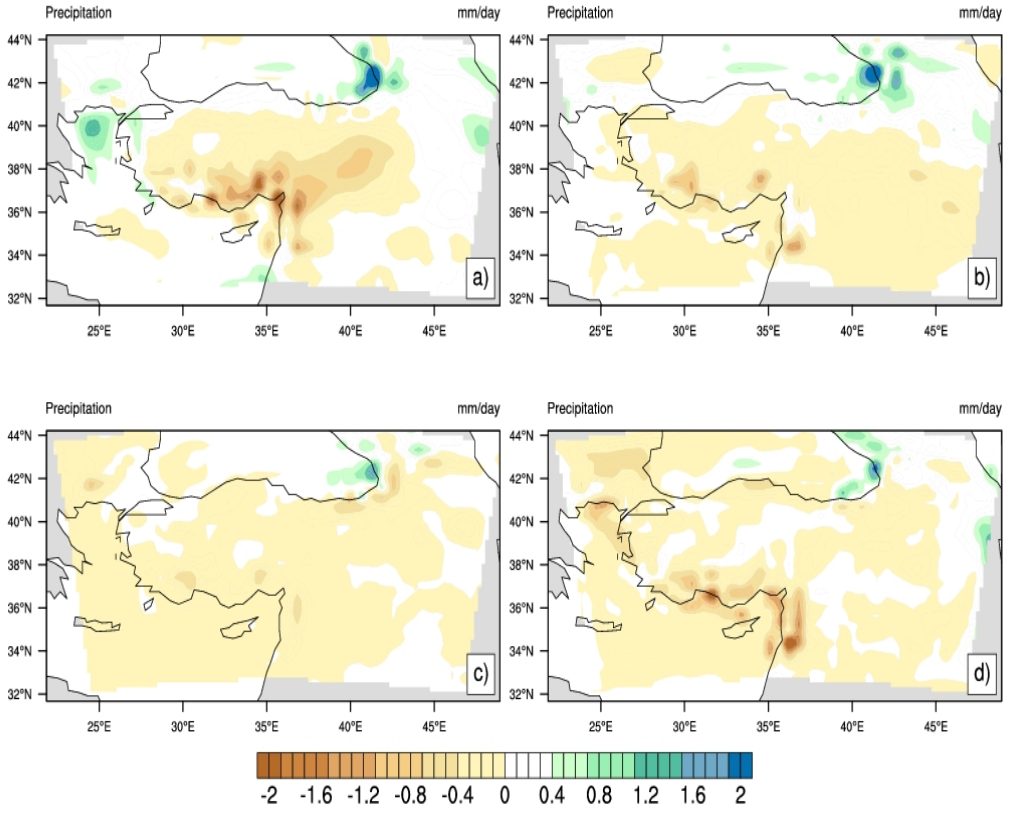
Şekil 27: *Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 emisyon senaryosu çıktıları kullanılarak bölgesel iklim modeli RegCM'in 1970-2000 referans dönemi klimatolojisine göre gelecek 2070-2100 dönemi (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için kestirilen ortalama hava sıcaklıklarındaki değişikliklerin Türkiye ve yakın çevresi üzerindeki coğrafi dağılış desenleri (Öztürk ve ark., 2014)*



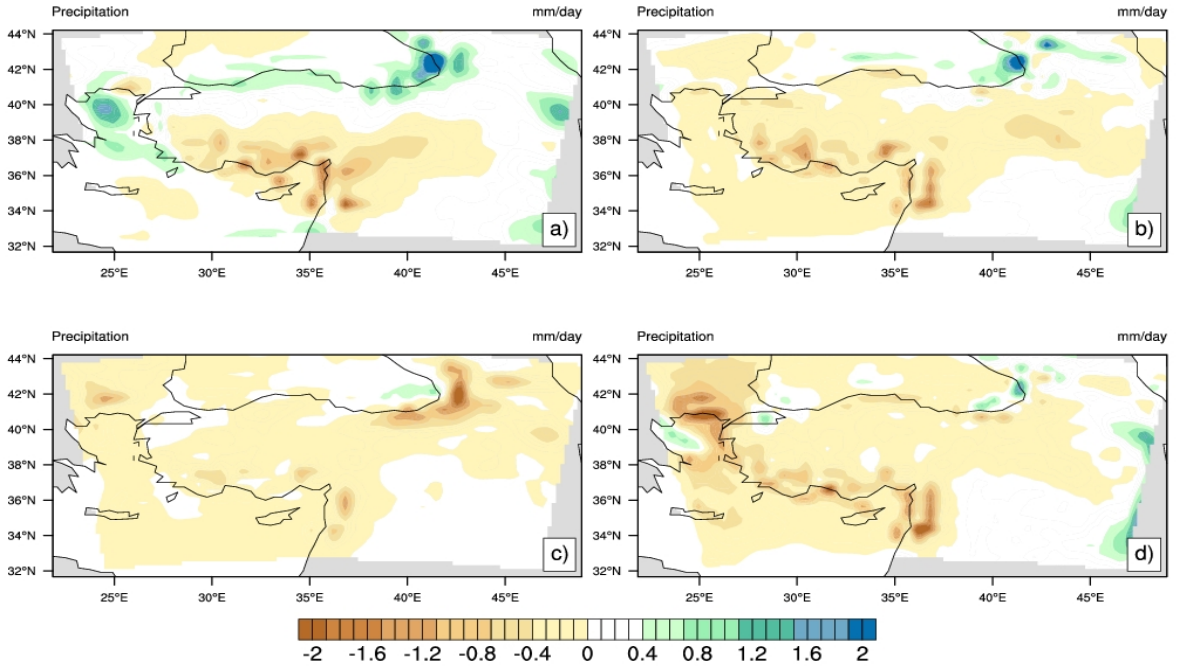
Kullanılan HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 emisyon senaryosuna göre, Türkiye'de 2070-2100 yılları arasında yaz mevsimi hava sıcaklıklarının 1970-2000 klimatolojisine göre 4-6.5 °C arasında artması beklenmektedir. Ortalama hava sıcaklıklarındaki artışlar, kış mevsimi için 3.5 °C dolaylarında seyrederken, ilkbahar ve sonbahar mevsiminde bu artışlar 4-4.5 °C'ye kadar çıkar (Şekil 26). HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 emisyon 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 sıcaklıklarındaki artışının 4.5 °C dolayında olduğu, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri için ise, doğuya gidildikçe artarak 5-7 °C arasında olduğu görülmektedir (Şekil 27).

Toplam yağış kestirimleri incelendiğinde, HadGEM2 iklim modeli ve RCP4.5 emisyon 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 azalmasının (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 28).

Şekil 28: *Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP4.5 emisyon 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)*



Şekil 29: *Küresel iklim modeli HadGEM2 RCP8.5 emisyon 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)*



HadGEM2 iklim modeli ve RCP8.5 emisyon senaryosu kullanılarak yapılan benzeştirmeye dayalı gelecek kestirimleri, RCP4.5 emisyon senaryosu çıktılarındaki eğilimin hemen aynısını gösterir.

Öte yandan, bölgenin güneyinde toplam yağışlarda azalma beklenirken, kuzeydoğusunda yağışların artması beklenir (Şekil 29).

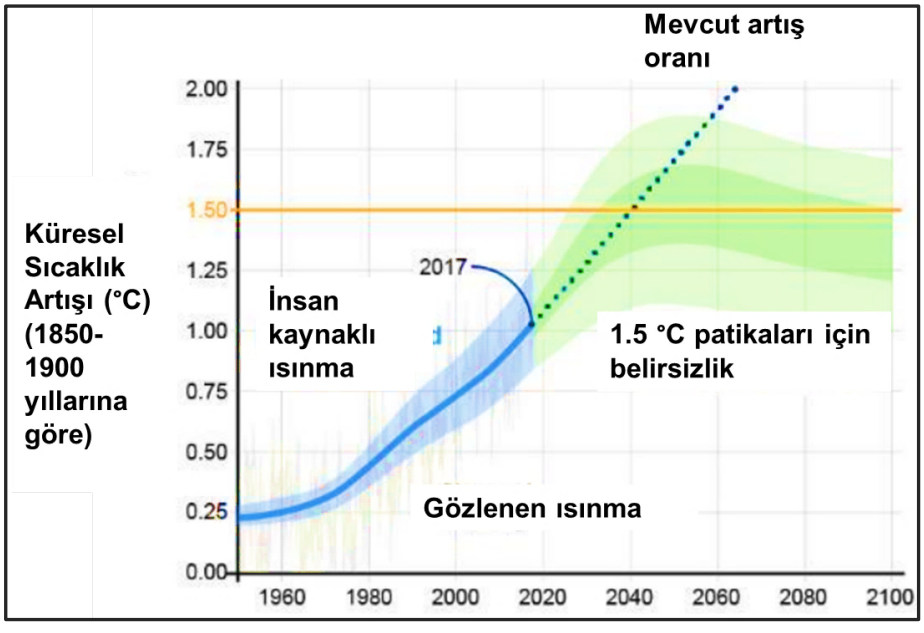
5. HÜKÜMETLERARASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PANELİ 1.5 °C KÜRESEL ISINMA ÖZEL RAPORU'NA GENEL BİR BAKIŞ VE RAPORUN ANA ÇİZGİLERİ

Hükümetlerarası 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'lik küresel ısınmanın doğal ve insan sistemler ile ilişkili küresel sera gazı emisyon yolları üzerindeki etkilerini, iklim değişikliği tehdidine karşı gerekli olan küresel sera gazı emisyonları azaltımı (yanıt), sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğu ortadan kaldırma çabaları bağlamında ele almaktadır (bkz. https://www.ipcc.ch/sr15/).

IPCC ÖR1.5 °C tam raporu 5 ana bölümden oluşur. 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 Emisyon 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.

***Şekil 30**: Küresel Sıcaklık Artışı (°C) (1850-1900 yıllarına göre) (IPCC 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu, 2018; bkz. https://www.ipcc.ch/sr15/)*



5.1. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1.5 ºC Küresel Isınma Özel Raporu'nun Ana Mesajları

Özetlemek gerekirse, ÖR1.5 °C bu konuyu 4 ana başlık altında ele almıştır. 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 Emisyon Yolları ve Sistem Geçişleri
- Sürdürülebilir Kalkınma ve Yoksulluğun Ortadan Kaldırılması Çabaları Bağlamındaki Küresel Yanıtların (Küresel Etkinlik, Çalışma ve Girişimlerin) Kuvvetlendirilmesi

5.1.1. Küresel Isınmanın Anlaşılması

Konuyla ilgili önemli noktalar ÖR1.5 °C'de şöyle özetlenmiştir:

Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklıkları, fosil yakıt yakılması başta gelmek üzere, insan etkinlikleri sonucunda sanayi öncesi döneme göre 1.0 °C artmıştır (0.8 °C – 1.2 °C güven aralığında) (Şekil 28).

Artış 2030-2052 arası dönemde 1.5 °C'ye ulaşacak (Şekil 30).

Sanayi devriminden bugüne antropojen emisyonlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları atmosferde uzun yıllar boyunca (yüzyıldan binyıla 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 anki duruma göre daha yüksek, ancak 2 °C'den daha düşük olacaktır.

***Şekil 31**: 1.5 ºC Küresel Isınmayı ya da Sıcaklık Artışını Anlamak*

5.1.2. Öngörülen İklim Değişiklikleri, Potansiyel Etkiler ve Bağlantılı Riskler

Öngörülen riskler hem ısınmanın büyüklüğüne, oranına, coğrafi bölgeye, gelişmişlik ve etkilenebilirlik düzeyine göre, hem de uyum ve savaşım (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 31).

Hükümetler 3 yıl önce Aralık 2015'te Paris Anlaşması kapsamında büyük bir istekle yüklendikleri 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 emisyon oranlarının sürmesi durumunda, 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. Rapor, 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 emisyon 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 kıyısal 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 km²'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.

5.1.3. 1.5 °C ile Uyumlu Emisyon Yolları ve Sistem Geçişleri

Örneğin, IPCC 1.5 °C ayrıca umut ışığı haberleri de vermektedir!

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

Buna göre, 2030 yılına kadar 2010 yılına göre insan kaynaklı (antropojen) karbondioksit (CO_2) emisyonlarının mutlaka %45 oranında azaltılması ve 2050 yılına değin net sıfır emisyona düşmesi gerekmektedir.

Bu ise, ancak enerji, sanayi, tarım, konut, ulaştırmadan kaynaklanan CO_2 emisyonlarının 2050 yılına gelindiğinde 2010 yılına göre %75-90 oranında azaltılmış olması anlamına gelmektedir.

Hedefi ileri atmayan 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 emisyon azaltımlarını kapsayan senaryolara dayanır.

***Şekil 32**: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri*

5.1.4. Sürdürülebilir Kalkınma ve Yoksulluğun 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 32) ulaşılmasına yardımcı olur. Örneğin, bu kapsamda 5. Bölüm'de 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;
- Ör: **ÖZEL BÖLÜM: Kurak arazilerdeki ekosistem ve toplumsal temelli uygulamalar.**
- İklim 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 öncesi döneme göre 1.5 °C daha sıcak bir Dünya'da, sürdürülebilir kalkınmaya erişim, yoksulluğun ortadan kaldırılması ve sosyal eşitsizliğin 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 arıtılması (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.

6. TARTIŞMA

İklim değişikliği günümüzde üzerinde en çok durulan, en çok bilimsel araştırma yapılan ve hükümetler arası düzeyde en çok tartışılan küresel değişiklik konularının başında gelmektedir. Öngörülen iklim değişiklikleri, su kaynakları, tarım, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahiptir. İklimdeki değişiklikler büyüdükçe, olumsuz etkilerin egemenliği de artar. Sosyoekonomik sektörler (ör. 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 aşırılıkları ve afetleri ile iklimsel değişkenlikteki değişiklikler kadar, iklim değişikliklerinin büyüklük ve hızlarına karşı da oldukça duyarlıdır.

Gelecek iklim model benzetimi çalışmalarına, örneğin Öztürk *ve ark*. (2014 ve 2015)'nın yeni sonuçlarına göre, Türkiye'de 21. 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) ülkenin 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 değişmemekle 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 yıllar arası 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 yarı nemli alanlar olarak kabul edilmelidir. 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 düşünceyi 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 etkilenmişlik 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 etkilenme ya da etkilenmişlik) oldukça iyi bilinmesine karşın, gerçek verilere dayalı sosyoekonomik etkilenebilirlik veri ve bilgileri eksik ya da kullanılabilir/erişilebilir değildir. 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 yönüyse, 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 tasarımla 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 alınmamaktadır. 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 dönüşmektedir.

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 yarı nemli 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), Çevresel ve Sosyal Etkilenebilirlik ve Risk Çözümlemeleri; Topsis ve Electre gibi çeşitli "*karar verme*" ve/ya da öncelik belirleme yöntemleri uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Akçar, N. ve Schlüchter, C. (2005). Paleoglaciations in Anatolia: A Schematic Review and First Results. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 55: 102–121.
- Bayrakdar, C. ve Özdemir, H. (2010). Kaçkar Dağı'nda Bakı Faktörünün Glasiyal ve Periglasiyal Topografya Gelişimi Üzerindeki Etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 54: 1-13.
- Bayrakdar, C., Çılgın, Z., Döker, M. F. ve Canpolat, E. (2015). Evidence of an Active Glacier in the Munzur Mountains, Eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24: 56-71.
- Berger, A.L. (1978). Long-term Variations of Daily Insolation and Quaternary Climatic Changes. *Journal of Atmospheric Sciences*, 35: 2363-2367.
- Altan, G., Türkeş, M. ve Tatlı, H. (2011). Çanakkale ve Muğla 2009 Yılı Orman Yangınlarının Keetch-Byram Kuraklık İndisi ile Klimatolojik ve Meteorolojik Analizi. 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book: 263-274, 27-29 April, İstanbul.
- Altınsoy, H., Öztürk, T., Türkeş, M. ve Kurnaz M. L. (2012). *Simulating the Climatology of Extreme Events for the Central Asia Domain Using the RegCM 4.0 Regional Climate Model*. [C.G. Helmis ve P. Nastos (der.)] Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Springer-Verlag, Berlin. 365-370.
- Cengiz, P. (Ocak 30, 2019). İklim Değişir Akdeniz Olmaz, Akdeniz'de Hortum Olur, Fırtına Olur. *Artıgerçek*, https://www.artigercek.com/yazarlar/pelincengiz /iklim-degisir-akdeniz-olmaz-akdeniz-de-hortum-olur-firtina-olur adresinden erişildi.
- Cohen, K.M., Finney, S., ve Gibbard, P.L. (2013). *International Chronostratigraphic Chart: International Commission on Stratigraphy*. www.stratigraphy.org/ICSchart/Chronostrat Chart2013-01.pdf adresinden erişildi.
- Cuffey, K.M. ve Clow, G.D. (1997). Temperature, Accumulation, and Ice Sheet Elevation in Central Greenland through the Last Deglacial Transition. *Journal of Geophysical Researches*, 102: 26383–26396.
- Çiner, A. (2004). *Turkish Glaciers and Glacial Deposits*. [Ehlers, J. ve Gibbard, P.L. (der.)]. Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, Part. I: Europe. Elsevier Publishers, Amsterdam. 419-429.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, I., Tunçel, H. ve Gürgen, G. (1993). Kaçkar Dağında Buzul Şekilleri, Yaylalar ve Turizm. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2: 157-184.
- Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feuerstein, B. ve Holzer. A. M. (2009). Overview of ESSL's Severe Convective Storms Research Using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93: 575–586.
- Erinç, S. (1952). Glacial Evidences of the Climatic Variations in Turkey. *Geografiska Annaler*, 34: 89-98.
- Erinç, S. (1953). Van'dan Cilo Dağlarına. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 2: 84-106.
- Erinç, S. (1978). *Changes in the Physical Environment in Turkey since the End of the Last Glacial*. [W.C. Brice (der).] The Environmental History of the Near and Middle East since the Last Ice Age. Academic Press, London. 87-110.
- Erlat, E. ve 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. (2010). *İklim Sistemi ve İklim Değişmeleri*. Genişletilmiş 2. Baskı, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları: 155, İzmir.

- Erlat, E. ve 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. ve 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. ve Türkeş, M. (2015a). 20. Yüzyılın İkinci Yarısında Tropikal Kuşakta Gerçekleşen Volkanik Püskürmelerin Türkiye'de Yaz Hava Sıcaklıklarına Etkisi. *Ege Coğrafya Dergisi,* 24(1): 1-14.
- Erlat, E. ve Türkeş, M. (2015b). Türkiye Rekor Maksimum ve Minimum Hava Sıcaklıklarının Frekanslarında 1950-2014 Döneminde Gözlenen Değişmeler ve Atmosfer Koşullarıyla Bağlantıları. *Ege Coğrafya Dergisi*, 24(2): 29-55.
- Erlat, E. ve 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.
- Erol, O. (1981). *Quaternary Pluvial and Interpluvial Conditions in Anatolia and Environmental Changes Especially in South-Central Anatolia since the Last Glaciation*. [W. Frey ve H.P. Uerpmann (der.)] Beitraege zur Umweltgeschichte des vorderen Orients, Beihefte zum Tuebinger Atlas des Vorderen Orients. 101-109.
- ESSL, (2019). *European Severe Weather Database*. https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/ adresinden erişildi.
- Gibbard, P.L., Head, M.J., Walker, J.C., ve Subcommission on Quaternary Stratigraphy. (2010). Formal Ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/ Epoch with a Base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science*, 25: 96-102.
- Goosse, H., Barriat, P.Y., Lefebvre, W., Loutre, M.F. ve V. Zunz. (2010). *Introduction to Climate Dynamics and Climate Modelling - Chapter 5. Brief history of Climate: Causes and Mechanisms*. http://www.climate.be/textbook adresinden erişildi.
- Gradstein, F.M, Ogg, J.G. ve Schmitz, M.D. (2012). *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Boston.
- HürriyetDailyNews, (Ağustos 25, 2017). Climate Scientist Warns of Possible Increase in Number of Whirlwinds in Turkey. http://www.hurriyetdailynews.com/climate-scientist-warns-of-possible-increase-in-number-of-whirlwinds-in-turkey-117179 adresinden erişildi.
- IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. [Solomon, S. ve ark. (der.)] Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. [Stocker, T.F. ve ark. (der.)] Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- IPCC, (2019). *Special Report: Global Warming of 1.5 °C*. https://www.ipcc.ch/sr15/ adresinden erişildi.
- İzbırak, R. (1951). Cilo Dağı ve Hakkari ile Van Gölü Çevresinde Coğrafya Araştırmaları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Yayını*, 67 (4), Ankara.
- Jansen, E. ve ark. (2007). *Palaeoclimate. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. [Solomon ve ark. (der.)] Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge and New York.

- Kartum, Ş., Koç, T. ve 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. ve Luterbacher, J. (2010). Heat Wave Changes in the Eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37: L04802.
- Kurter, A. (1991). *Glaciers of Middle East and Africa – Glaciers of Turkey*. [R.S. Williams ve J.G. Ferrigno (der.)] Satellite Image Atlas of the World, USGS Professional Paper. 1–30.
- Kutiel, H. ve Türkeş, M. (2017). Spatial and Temporal Variability of Dryness Characteristics in Turkey. *International Journal of Climatology*. 37(1): 818–828.
- Lisiecki, L.E. ve Raymo, M.E. (2005). A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic δ18O Records. *Paleoceanography*, 20: PA1003.
- Lolis, C. J. ve Türkeş, M. (2016). Atmospheric Circulation Characteristics Favouring Extreme Precipitation in Turkey. *Climate Research*, 71: 139–153.
- Mangerud, J. ve ark. (2004). Ice-Dammed Lakes and Rerouting of the Drainage of Northern Eurasia during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 23: 1313–1332.
- Önol, B. ve Semazzi, F.H.M. (2009). Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22: 1944-1960.
- Önol, B. ve 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. ve 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. ve Kurnaz, L. (2014). RegCM4.3.5. İklim Modeli Benzetimleri Kullanılarak Türkiye'nin Gelecek Hava Sıcaklığı ve Yağış Klimatolojilerindeki Değişikliklerin Çözümlenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 20(1): 17-27.
- Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M. ve 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.
- Petit, J.R. ve ark. (1999). Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.
- Royer, D.L. ve ark. (2004). CO2 as a Primary Driver of Phanerozoic climate. *GSA Today*, 14(3): 4-10.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A. ve Zreda, M. (2011). *Quaternary Glaciations of Turkey*. [J. Ehlers, P.L. Gibbard ve P.D. Hughes (der.)] Quaternary Glaciations-Extent and Chronology; a Closer Look. Elsevier Pub., Developments in Quaternary Science, Amsterdam. 15: 393-403.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B. ve 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.
- Şahin, S., Türkeş, M., Wang, S-H., Hannah, D. ve Eastwood, W. (2015). Large Scale Moisture Flux Characteristics of the Mediterranean Basin and Their Relationships with Drier and Wetter Climate Conditions. *Climate Dynamics*, 45(11): 3381-3401.

- Tatlı, H. ve 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. ve Türkeş, M. (2011). Examinaton 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.
- Trenberth, K. E. ve ark. (2007). *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. [S. Solomon ve ark. (der.)] Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Trigo, R. ve ark. (2006). *Relations Between Variability in the Mediterranean Region and Mid-Latitude Variability*. [Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., ve Boscolo, R. (der.)] Chapter 3, Mediterranean Climate Variability. Elsevier Developments in Earth & Environmental Sciences 4, Amsterdam. 179-226.
- Turoğlu, H. (2011). *Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi*. Çantay Kitapevi, İstanbul.
- Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M. ve Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4.3.5 Bölgesel İklim Modelini Kullanarak Türkiye ve Çevresi Bölgelerin Yakın Gelecekteki Hava Sıcaklığı ve Yağış Klimatolojileri için Öngörülen Değişikliklerin İncelenmesi. *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 İlişkileri'. *Çevre, Bilim ve Teknoloji*, 1: 1-13.
- Türkeş, M. (2008a). Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1: 45-64.
- Türkeş, M. (2008b). *İklim Değişikliği ve Küresel Isınma Olgusu: Bilimsel Değerlendirme*. [E. Karakaya (der.)] Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. Bağlam Yayınları, İstanbul. 21-57.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi: 650 + XXII sayfa, İstanbul.
- Türkeş, M. (2011a). Dünyada ve Türkiye'de İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildiri Kitabı (EK), 22-25 Kasım 2011, Ankara. 5-19.
- Türkeş, M. (2011b). Akhisar ve Manisa Yörelerinin Yağış ve Kuraklık İndisi 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*. [N. Özgen (der.)] Günümüz Dünya Sorunları – Disiplinlerarası Bir Yaklaşım. Eğiten Kitap, Ankara. 1-42.
- 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 Pleyistosene, Geç Holosen'den 21. Yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(1): 1-25.

- Türkeş, M. (2013b). Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim 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*. İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu. Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi, İstanbul. 8-18.
- Türkeş, M. (2014a). Örneklerle Dünya'da ve Türkiye'de İklim Değişikliği ve Değişkenliği. *Bilim ve Gelecek*, 129: 60-64.
- Türkeş, M. (2014b). Türkiye'deki 2013-2014 Kuraklığının ve Klimatolojik/Meteorolojik Nedenlerinin Çözümlenmesi. *Konya Toprak Su Dergisi*, 2: 20-34.
- Türkeş, M. (2015a). Gökgürültülü 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 Dünya'da ve Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişiklikleri ve Değişkenliği*. [M. Somuncu (der.)] Küresel İklim Değişikliği ve Etkileri. Engin Ural Anısına, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara. 71-115.
- Türkeş, M. (2017). *Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri*. Gözden Geçirilmiş İkinci Baskı, Kriter Yayınevi Fiziki Coğrafya Serisi No: 4, Kriter Yayınevi, Berdan Matbaası: İstanbul.
- Türkeş, M. ve Erlat, 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. ve Erlat, 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. ve Erlat, 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. ve Erlat, E. (2008). Influence of the Arctic Oscillation on Variability of Winter Mean Temperatures in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 75-85.
- Türkeş, M. ve Erlat, E. (2009). Winter Mean Temperature Variability in Turkey Associated with the North Atlantic Oscillation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 105: 211–225.
- Türkeş, M. ve 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. ve 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. ve Erlat, E. (2018). *A scientific Assessment of Observed Changes and Trends in Extreme Weather and Climate Events in the World and Turkey*. [Ucal, M. (der.)] Climate Change and Green Perspective: Green Economy, Green Growth Istanbul, Turkey: Heinrich Böll Stiftung Foundation. 5-38.
- Türkeş, M. ve Yıldız, D. (2014). *Gözlenen Bugünkü ve Benzeştirilen Gelecek Yağış Değişimleri ve Kuraklık Olayları Perspektifinde Türkiye'de Hidroelektrik Santrallerin Geleceği*. Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları, Ankara.

- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve 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. ve Sarış, F. (2009a). Spatiotemporal Variability of Precipitation Total Series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 1056-1074.
- Türkeş, M., Akgündüz, A.S. ve 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. ve Altınsoy, H. (2011). Climate Changes versus 'Security and Peace' in the Mediterranean Macroclimate Region: Are They Correlated?. Proceedings of International Human Security Conference on Human Security: New Challenges, New Perspectives. 27-28 October 2011, İstanbul. 625-639.
- Walker, J.D., Geissman, J.W., Bowring, S.A. ve Babcock, L.E. (2012). Geologic Time Scale v. 4.0: *Geological Society of America*.
- Yozgatlıgil, C., Asar, Ö., Kartal, E., Batmaz, İ., Türkeş, M. ve Tatlı, H. (2010). Forecasting the Extreme Precipitation in Turkiye. 10th Symposium on Stochastic Hydraulics Fifth International Conference on Water Resources and Environment Research. 5-7 July 2010, Quebec.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan L., Thomas E. ve Billups, K. (2001). Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 ma to Present. *Science*, 292: 686–693.

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

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

iklimin.org

facebook.com/iklimin

twitter.com/iklimin

iklimIN Projesi

instagram.com/ikliminprojesi