

ARAŞTIRMA MAKALESİ Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler

Yazışma yazarı:
Murat Türkeş

Murat TÜRKES¹

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü

Referans:
Türkeş M., (2008), Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, İklim Değişikliği ve Çevre, 1, 26-37

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2008
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2008
Online Basım : 1 MART 2008

Özet Fosil yakıtların yakılması, sanayi süreçleri, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormansızlaşma gibi çeşitli insan etkinlikleri sonucunda, önemli sera gazlarının atmosferdeki birikimleri sanayi devriminden beri hızla artmakta ve doğal sera etkisi kuvvetlenmektedir. Kuvvetlenen sera etkisinin en önemli ve açık etkisi, Yerküre'nin enerji dengesini üzerinde ek bir pozitif ışınımsal zorlama oluşturarak, Yerküre iklimini ısıtmaktadır. 1906-2005 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında gözlenen artış, 0.74 °C'dir. Sera gazlarının atmosferik birikimlerindeki artışların, sıcaklık, yağış, nem, rüzgar gibi değişkenlerde bölgesel ve küresel değişikliklere yol açması bekleniyor. En gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 dönemi için, yaklaşık 3 °C'lik en iyi kestirmeyle birlikte olasılıkla 2-4.5 °C arasında bir artış olacağını öngörüyor. Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak, hidrolojik döngünün değişmesi, kara buzullarının ve deniz buzlarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, sıcak hava dalgalarının şiddet ve sıklığının artması, bazı bölgelerde ekstrem yüksek yağışların ve taşkınların, bazı bölgelerde ise kuraklıkların daha şiddetli ve sık oluşması gibi, sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşması bekleniyor. Bu bildirinin amacı, hava, iklim, iklimsel değişkenlik ve değişiklik kavramları, geçmişteki iklim değişiklikleri, doğal ve kuvvetlenen sera etkisi ve insan kaynaklı iklim değişikliği ile gözlenen ve öngörülen küresel iklim değişimlerinin bilimsel bir değerlendirmesini yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: İklim,; Doğal iklim değişikliği, Kuvvetlenen sera etkisi, İnsan kaynaklı iklim değişikliği, Gözlenen ve öngörülen iklimsel değişiklikler.

What is Climate Change? Basic Definition, Causes, Observed and Predicted Results of Climate Change

Abstract As a result of various human activities such as combustion of fossil fuels, industrial processes, land-use changes and deforestation, etc., atmospheric concentrations of main greenhouse gases have been significantly increasing since the industrial revolution, and natural greenhouse effect has been strengthening. The most significant and clearest impact of increased greenhouse effect is to cause an additional positive radiative forcing over energy balance of the Earth and thus to warm the Earth's climate. Observed increase in globally averaged annual mean surface temperatures is about 0.74 °C for the period 1906-2005. Increased atmospheric concentrations of greenhouse gases are projected to cause regional and global changes in the variables, such as temperature, precipitation, humidity and wind. The most developed climate models estimate that the global average surface warming is likely to be in the range 2 to 4.5 °C with a best estimate of about 3 °C for the period 1990-2100. Due to increases in global temperatures, significant changes, such as change of hydrological cycle, melting of land glaciers and sea ices, sea level rise, increases in frequency and intensity of the heat waves, occurrence of severe and more frequent droughts in some regions, while extreme high rainfalls and floods in other regions, have been predicted to affect directly human life, socioeconomic sectors and ecological systems. The aim of the paper is to make a scientific assessment of basic concepts of weather, climate, climate change and variability, past climate changes, natural and increased greenhouse effect, human-induced climate change, and observed and estimated global climate variations.

Keywords. Climate, Natural climate change, Increased greenhouse effect, Human-induced climate change, Observed and estimated climatic changes.

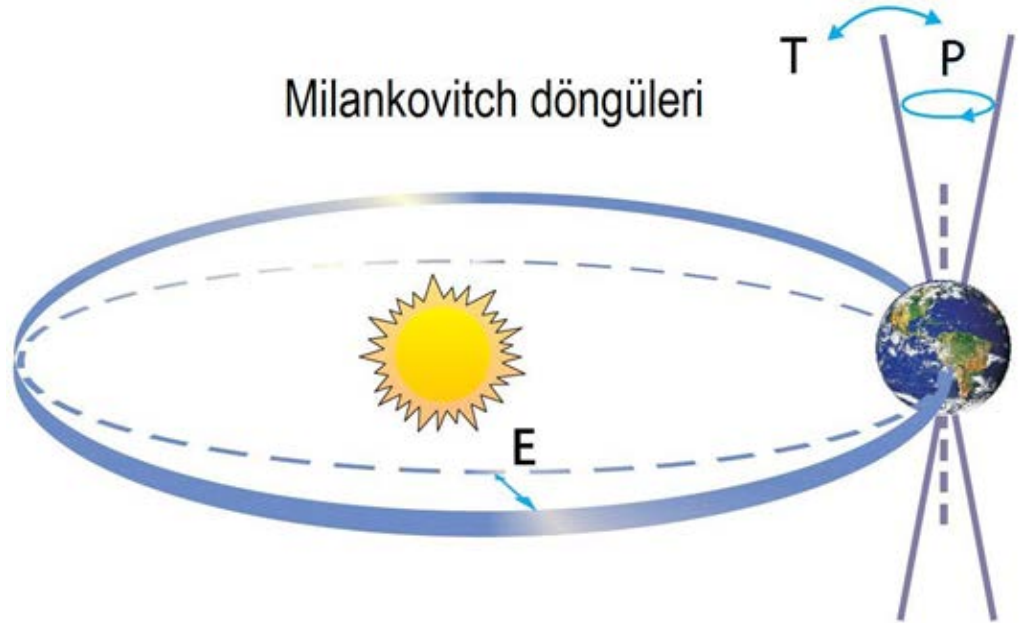
1. Hava, iklim ve iklim değişikliği

Son yıllarda, Türkiye'de, "iklim değişikliği" konulu çeşitli panel, konferans, kongre, seminer, radyo ve televizyon programlarındaki tartışmalarda ya da gazete ve dergilerdeki haber ve yazılarda, hava, iklim, iklim değişikliği, sera etkisi, insanın iklim değişikliğine yaptığı katkılar vb. gibi bilimsel kavram ve konular, genellikle yanlış ve bazen de

tümünü bilimsellikten çok uzak ve yanlı değerlendirmeler yapılarak ele alınmaktadır. Bu nedenle, bu makalede, bu konular iklimbilim ve iklim değişikliği biliminin ilkeleri ve küresel değerlendirmelerin ışığı altında tartışılacaktır.

Hava, "yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda yaşanan ya da gözlenen atmosferik olayların tümü"dür. İklim, "yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin yanı sıra, onların oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen ekstrem (aşırı, uç) değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerinin biresimi" biçiminde tanımlanır (Türkeş, 2001). Hava ve iklim, insan etkinliklerini, refahını ve sağlığını çok değişik yollardan etkiler. İnsanoğlu, yüzyıllar boyunca, barınaklarını, yiyecek ve enerji üretimlerini genel olarak iklim ve çevre koşullarıyla uyumlu bir yaşam tarzı yaratmak için düzenleme ve kendisini bu kaynağa uyarlama çabası içinde olmuştur. İklim değişikliği ise, "iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler" olarak tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal iç süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli antropojen (insan kaynaklı) değişiklikler nedeniyle oluşabilir. Konuyla ilgili bilinmesi gereken başka bir önemli kavram ise, 'iklim değişikliği' ya da 'değişebilirliktir.' İklimsel değişkenlik, "tüm zaman ve alan ölçeklerinde iklimin ortalama durumundaki ve standart sapmalar ile uç olayların oluşumu gibi öteki istatistiklerindeki değişimlerdir." İklimsel değişebilirlik, iklim sistemi içerisindeki doğal iç süreçlere (içsel değişebilirlik) ya da doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere (dışsal değişebilirlik) bağlı olarak oluşabilir.

İç süreç ve etmenler, doğrudan iklim sisteminin içerisinde gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel 'iç' nedenleri, atmosferin bileşimindeki ve yerkürenin yüzey özelliklerindeki doğal ya da insan kaynaklı önemli değişiklikleri içerir. Örneğin, insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazları ve aerosoller (çeşitli uçucu küçük parçacıklar) ile volkanik püskürmeler, etki süreleri değişmekle birlikte, iklim değişikliklerine neden olabilecek başlıca içsel süreç ve etmenlerdir.



Şekil 1. Milankovitch döngülerinin sadeleştirilmiş birlikte gösterimi [2]: (E) Yerküre'nin yörüngesinin şeklindeki, (T) eksen eğikliğindeki ve (P) presesyonundaki değişiklikler.

Dış süreç ve etmenlerin neden olduğu değişiklikler ise, iklim sisteminin dışında gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel 'dış' nedenleri, temel olarak Yer kabuğundaki levha hareketlerini (levha tektoniği kuramı), güneş etkinliklerindeki ve Yerküre ile güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikleri içerir. Astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişikliklerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir. Küresel iklimi etkileyebilecek olan başlıca astronomik ilişkiler, Yerküre'nin güneşin çevresindeki yörüngesinin şekil değişiklikleri (E) (eksantrisite daha yuvarlak ya da daha eliptik) ile Yerküre'nin eksen eğikliğindeki (T) ve presesyonundaki (P) (dönüş ekseninin yönündeki) değişiklikleri içerir (Şekil 1).

Astronomik hesaplamalar, Yerküre'nin yörüngesindeki periyodik değişikliklerin, atmosferin tepesine ulaşan gelen güneş ışınımının (insolasyon, W/m²) mevsimsel ve enlemsel

dağılımını yakından denetlediğini gösterir. İnsolasyondaki geçmiş ve gelecekteki değişiklikler, yüksek bir güven düzeyinde milyonlarca yıl için hesaplanabilmektedir. Presesyon, Yerküre'nin yaklaşık 19,000 ve 23,000 yıllık yarı-periyodik bir döngüsellikle birlikte, güneş en yakın olma durumunun gerçekleşme zamanındaki değişikliklere (perihel konumundaki salınımlara) karşılık gelir (Solomon ve diğ., 2007). Sonuç olarak, yörünge üzerinde mevsimlerin süresi ve konumundaki değişiklikler, insolasyonun enlemsel ve mevsimsel dağılımını düzenler. İnsolasyondaki mevsimlik değişiklikler, yıllık ortalama değişikliklerden daha büyüktür ve değeri 60 W/m^2 'ye ulaşabilir. Yerküre'nin eksen eğikliği, birbirine komşu yaklaşık 41,000 yıllık iki yarı-dönemselliklerle birlikte yaklaşık 22° ve 24.5° arasında değişir. Eksen eğikliğindeki değişiklikler mevsimlik zıtlıkları düzenlerken, yıllık ortalama insolasyon değişiklikleri alçak enlemlerde yüksek enlemlere göre zıt etkiler yapmaktadır. Bu yüzden, küresel ortalama insolasyon üzerinde önemli bir etki oluşmaz.

Yerküre yörüngesinin şekil değişiklikleri, yaklaşık 100,000 yıllık ve 400,000 yıllık daha uzun yarı-dönemsellikler göstermektedir (Solomon ve diğ., 2007). Yörünge şeklindeki değişiklikler, güneş ve Yerküre arasındaki uzaklıkta ortaya çıkan çok küçük değişiklikler nedeniyle, insolasyon üzerinde sınırlı etkilere sahiptir. Ancak, yörünge şeklindeki değişiklikler, eksen eğikliğinin ve presesyonun neden olduğu mevsimlik etkilerle etkileşir. 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 insolasyon değişiklikleri, daha geniş eksantrisite dönemleri boyunca olanlar kadar büyük değildir.

Glasiyal (buzul) çağların Milankovitch ya da orbital kuramına göre, buzul çağları genel olarak Kuzey Yarımküre'deki (KYK) yüksek enlem yaz insolasyonundaki azalmayla tetiklenir. Bunun sonucunda, kış mevsimindeki kar yağışı yıl boyunca daha uzun bir süre etkili olur ve KYK'de glasiyal buz kalkanlarını ve dağ buzullarını oluşturmak üzere birikir. Benzer biçimde, yörünge değişikliklerince belirlenen özellikle KYK'deki kuvvetli yüksek enlem yaz insolasyonu dönemlerinin, hızlı deglasyasyonu (buzulların erimesi ve çekilmesi), onunla bağlantılı iklim değişikliklerini ve deniz düzeyi yükselmesini tetiklediği kabul edilir. Bu orbital zorlamalar, iklim değişikliğinin dışını belirlerken, büyük yanıtların orbital zorlamaları güçlendiren kuvvetli geri beslemeler tarafından belirlendiği görülür.

Binlerce yıllık zaman ölçeklerinde olmak üzere, orbital zorlamalar ayrıca, Yerküre'nin başlıca geniş ölçekli basınç ve rüzgar sistemleri (örn., batı rüzgarları ve orta enlem siklonları, tropikler arası yaklaşma kuşağı (ITCZ) ve musonlar, vb.), küresel okyanus dolaşımı ve atmosferin sera gazı içeriği gibi önemli iklim sistemi bileşenleri üzerindeki en büyük etkileri ve zorlamaları da yönlendirir. Bugünkü kanıtlar, günümüzdeki ısınmanın, glasiyal koşullara (bir buzul çağına) yönelik bir doğal soğuma eğilimiyle önlenemeyeceği ya da durdurulamayacağı yönündedir. Yerküre'nin orbital zorlamaya verdiği yanıtı anlama düzeyimiz ve ona ilişkin bulgular dikkate alınarak, Yerküre'nin yakın bir gelecekte, en azından 30,000 yıllık bir dönem süresince bir buzul çağına doğal yollarla girmeyeceği kabul ediliyor (Solomon ve diğ., 2007). Sonuç olarak, burada özetle açıklanan tüm bu değişiklikler, Kuvaterner'deki buzul çağlarında olduğu gibi, Yerküre'nin jeolojik geçmişindeki iklim değişikliklerinin oluşmasında ve denetiminde önemli bir görev üstlenmiş olmalıdır. Ancak, iklim değişikliğinin bilinen 'dış' nedenlerinin, kısa süreli iklim değişikliklerini, özellikle iklimsel değişkenlikleri açıklaması olanaksızdır.

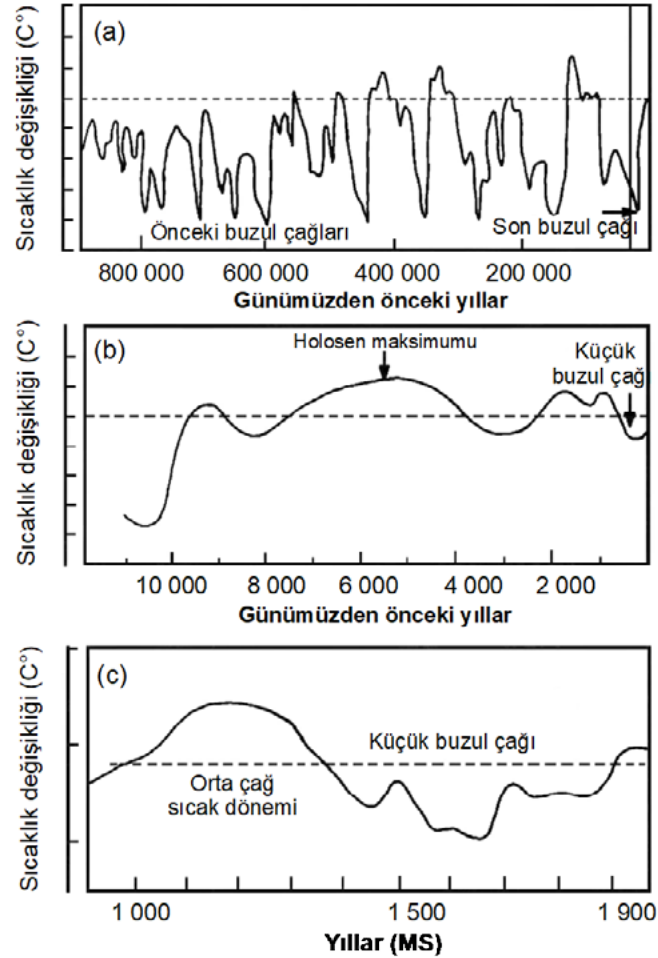
İklimdeki değişiklikler, buzul ve buzul arası çağlar arasında, dünyanın çeşitli bölgelerinde ortalama sıcaklıklarda oluşan büyük değişiklikler şeklinde ortaya çıktığı gibi, yağış değişimlerine de içermektedir. Bugünkü bilgilerimize göre, Yerküre'nin 4.6 milyar yıllık çok uzun jeolojik tarihi boyunca iklim sisteminde milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal etmenler ve süreçlerle birçok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, ekolojik sistemlerde de kalıcı değişiklikler oluşturmuştur. Ancak 19. yüzyılın ortalarından beri, iklimdeki doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan etkinliklerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girildi. Bu yüzden, günümüzde iklim değişikliği, sera gazı birikimlerini arttıran insan etkinlikleri dikkate alınarak da tanımlanabiliyor. Örneğin, iklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BM İDÇS), "karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik" biçiminde tanımlanmıştır.

2. Geçmişteki iklim değişiklikleri

Tüm alan ve zaman ölçeklerinde gerçekleşen iklim değişiklikleri, hem iklim sistemindeki içsel değişkenliğin, hem de doğal ve antropojen dış etmenlerin bir sonucu olarak

oluşabiliyor. Jeolojik zamanlardaki iklim değişikliklerine ilişkin bilimsel kanıtlar, jeoloji, jeomorfoloji, paleoklimatoloji, paleocoğrafya, paleontoloji ve paleoekoloji araştırmaları ile elde edilir. Etkileri jeomorfolojik ve klimatolojik olarak en iyi bilinen en son ve en önemli doğal iklim değişiklikleri ise, yaklaşık 2 milyon yıl sürmüş olan 4. Zamandaki (Kuvaterner) buzul ve buzul arası dönemlerde oluşmuştur. Kuvaterner'deki iklim değişiklikleri, günümüzde buzullardan alınan örnekler, deniz ve göllerde biriken ince çökelti katmanları, karstik mağaralardaki kalsiyum karbonat (CaCO_3) birikimleri (damla taşlar) ve ağaç halkaları gibi çeşitli dolaylı kayıtlar yardımıyla, kendisinden çok daha uzun sürmüş olan önceki jeolojik dönemlerdekilere göre, daha doğru ve ayrıntılı olarak açıklanabiliyor.

Paleoklimatolojik kayıtlar Yerküre'nin yüzey sıcaklığında tüm zaman ölçeklerinde çok belirgin salınımlar gerçekleştiğini açık bir biçimde kanıtıyor. Örneğin, Kuvaterner'in son 1,000,000 yıllık döneminde (Pleyistosen'in önemli bir bölümünü ve Holosen'in tümünü içerir), yüzey sıcaklıklarının çeşitli zaman ölçeklerinde gösterdiği belirgin dalgalanmalar çok dikkat çekicidir (Şekil 2).



Şekil 2. Pleyistosen'den beri gerçekleşen küresel sıcaklık değişimlerinin farklı üç zaman ölçeğindeki şematik gösterimi: (a) Son bir milyon yıllık dönem; (b) son 10,000 yıllık dönem; (c) Son 1,000 yıllık dönem (Coughlan ve Nyenzi, 1991). Grafiklerdeki kesikli düz çizgi, 20. yüzyılın başındaki ortalama koşulları temsil eder.

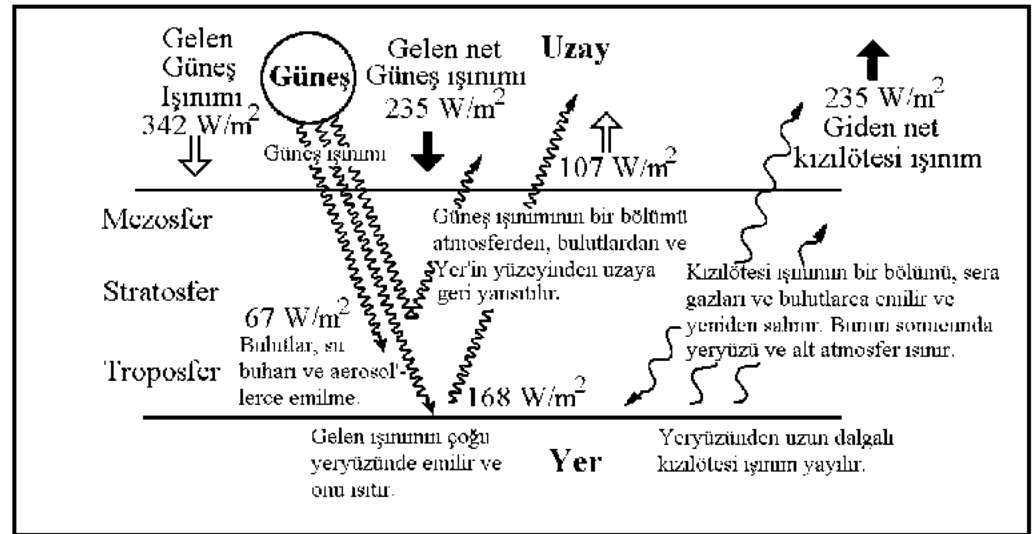
Geniş alanlara ilişkin ortalama sıcaklıklardaki 4-5 °C genlikli uzun süreli dalgalanmalar, buzul çağlarının yaygınlaşmasına ve gerilemesine neden olmuştur. Kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemlerinde binlerce yıl etkili olan buzul çağları, büyük bir olasılıkla, gelen güneş ışınımının Yerküre'nin yörüngesindeki değişiklikler yüzünden azalması ve yüzey sıcaklıklarında geniş ölçekli dalgalanmalara neden olması ile bağlantılıdır. Ancak, buzul koşullarının ortaya çıkması için, Milankovitch kuramını tek neden olarak kabul etmek gerekmez (Coughlan ve Nyenzi, 1991). Günümüzde, buzul çağlarının başka nedenleri üzerinde de duruluyor. Örneğin, Yerküre günümüzden 11,000-10,000 yıl önce son büyük buzul çağından (Würm) çıkarken, sıcaklıklardaki artış eğilimi tüm Kuzey Atlantik bölgesinde ve Güney Yarımküre'nin bazı bölgelerini de içeren çeşitli yerlerde, kısa bir dönem için bile olsa tersine dönmüştür. Derin Atlantik okyanusu dolaşımındaki değişikliklerin neden olduğu düşünülen bu soğuma dönemi, yaklaşık 500 yıl sürmüştür (Broecker ve diğ., 1985; Broecker ve Denton, 1989).

Konuyla ilgili birçok çalışma (Huntley ve Prentice, 1988; Webb ve diğ., 1987), yüzey sıcaklıklarının bugünden daha yüksek olduğu son buzul çağıının sonundan beri uzunlukları farklı çeşitli dönemlerin varlığını vurgulamıştır. Würm buzul çağı sonrasında yaklaşık 10,000 yıllık döneme (Holosen) bakıldığında, küresel sıcaklık kaydının, Pleyistosen'deki buzul ve buzul arası çağlara göre daha sıcak ve çok daha kararlı bir gidiş gösterdiği görülür (Şekil 2). Bu dönemin başlıca özelliklerinden birisi, günümüzden yaklaşık 7,000-4,000 yıl önce Holosen maksimumu (buzul sonrası iklim optimumu) adı verilen sıcak bir dönemin varlığıdır (Şekil 2). Bu dönemde, Antarktika ve Avrupa'daki yaz sıcaklıkları günümüzden 2-3 °C daha yüksekti (Robinson ve Henderson-Sellers, 1999). Tarihsel çağlara yaklaştıkça, uzunlukları ve etkileri birbirinden farklı çeşitli tarihsel iklim değişiklikleri gerçekleşmiştir. MS 1,000-1,300 yılları arasında oluşan orta çağ sıcak dönemi ve MS 1450-1850 döneminde oluşan küçük buzul çağı, Kuzey Yarımküre'de özellikle Avrupa'da etkili olmuştur (Şekil 2). Buzul sonrası optimuma göre daha az etkili ve daha kısa süreli bir ısınmanın olduğu orta çağ sıcak döneminde (optimumunda), yaz sıcaklıkları, batı ve orta Avrupa'da olasılıkla günümüzden 1 °C daha sıcaktı. Küçük buzul çağıında ise, özellikle Kuzey Yarımkürede dağ buzullarında ve Arktik deniz buzunda belirgin bir ilerleme gerçekleşti. Bu dönemde, Kuzey Yarımküre'nin (örneğin, 17 yüzyılın ikinci yarısında Britanya'da) özellikle kış mevsimlerinin çok sert geçtiği ve insan yaşamı ile tarım ve hayvancılık etkinliklerinde önemli olumsuz etkilerin oluştuğu biliniyor.

3. Doğal sera etkisi

Yeryüzündeki tüm yaşam biçimleri için vazgeçilmez bir ortam olan atmosfer, temel olarak birçok gazın karışımından oluşur. Atmosferdeki azot (% 78.08) ve oksijen (% 20.95) molekülleri, temiz ve kuru hava hacminin % 99'unu oluşturur. Kalan yaklaşık % 1'lik kuru hava bölümü, etkisiz bir gaz olan argon (% 0.93) ile nicelikleri çok küçük olan eser gazlardan oluşur. Atmosferdeki birikimi küçük olmakla birlikte, önemli bir sera gazı olan karbondioksit (CO₂), % 0.0377 oranı ile dördüncü sırada yer alır. Doğal sera gazlarının en önemlileri, başta en büyük katkıyı sağlayan su buharı (H₂O) ve CO₂ olmak üzere, metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) ve ozon (O₃) gazlarıdır.

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında sera etkisi gelir. Bitki seralarını kaplayan kalın cam ya da renksiz naylon örtü, gelen kısa dalgalı güneş ışınımını geçirmesine karşın, seranın içerisinde salınan uzun dalgalı (kızıl ötesi ya da termik) ışınımının büyük bölümünün kaçmasına engel olur. Sera içinde tutulan termik ışınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticarî değeri bulunan bitkiler için özellikle kış mevsiminde uygun bir yetiştirme ortamı oluşturur. Atmosfer de benzer bir davranış sergiler: Bulutsuz ve açık bir havada, gelen kısa dalgalı güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir (Şekil 3). Ancak, Yerküre'nin yüzeyinden salınan kızıl ötesi ışınımının bir bölümü, uzaya kaçmadan önce çoğunluğu alt atmosferde (troposfer) bulunan ışınımsal olarak etkin sera gazlarınınca emilir ve sonra tekrar salınır.

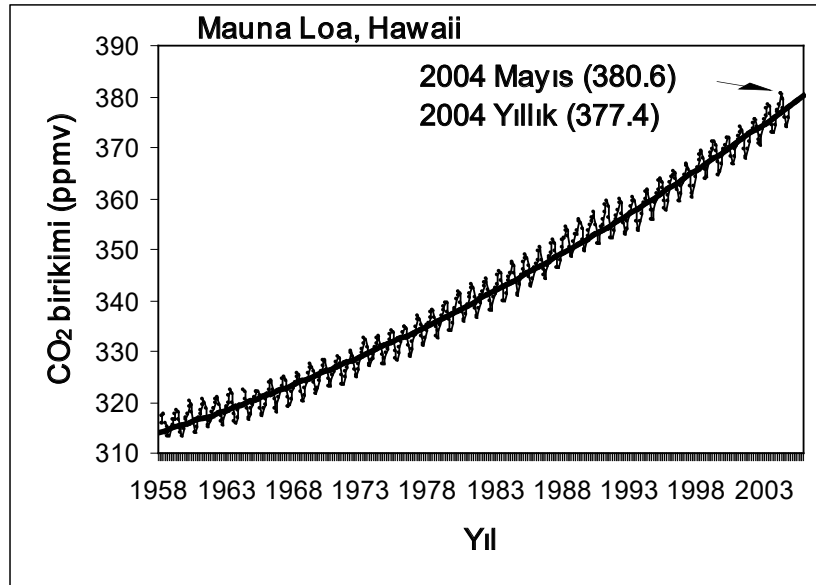


Şekil 3. Sera etkisinin şematik gösterimi (Türkeş, 2003). Yerküre'nin sıcaklık dengesinin kuruluşundaki en önemli süreç olan doğal sera etkisi, temel olarak, atmosferin kısa dalgalı güneş ışınımını geçirme, buna karşılık uzun dalgalı yer ışınımını tutma eğiliminde olması nedeniyle oluşur.

Enerji akılarının nicelikleri dikkate alındığında, gelen güneş ışınımının (342 Wm⁻²) yaklaşık % 31'i (107 Wm⁻²) yüzeyden, atmosferdeki aerosollerden ve bulut tepelerinden yansıyor uzaya geri döndüğü görülür (Şekil 3). Bu yüzden, Yerküre'nin ortalama al-

bedosu yaklaşık % 31 ve sisteme giren güneş ışınımı net olarak % 69'dur (235 Wm⁻²). Gelen net güneş ışınımının, yaklaşık üçte ikisi (168 Wm⁻²) yüzey ve üçte biri (67 Wm⁻²) atmosferce emilir. Güneş enerjisinin Yerküre-atmosfer birleşik sisteminde tutulan bu % 69'luk bölümü, iklim sistemini oluşturan ana bileşenlerce (atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosfer) emilir ve onların ısınmasını sağlar. Sonuç olarak, güneş ışınımının net girdisi (235 Wm⁻²), kızılötesi yer ışınımının net çıktısı (235 Wm⁻²) ile dengelenir (Şekil 3). Yeryüzü, sera etkisi nedeniyle, bu sürecin bulunmadığı ortam koşullarına göre yaklaşık 33 °C daha sıcaktır. "Atmosferdeki gazların gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle, Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal süreç" sera etkisi olarak adlandırılır (Türkeş, 2003).

Yerküre/atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ışınımı ortalama koşullarda dengededir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanus arasındaki dağılımını değiştiren herhangi bir etmen, iklimi de etkiler. Yerküre/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki bu değişiklikler, ışımsal zorlama olarak adlandırılır. İDÇS ve Kyoto Protokolü'nce denetlenen sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O, hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perfluorokarbonlar (PFC'ler) ve sülfür heksafluorid (SF₆)), en önemli ışımsal zorlama etmenleridir. Ayrıca, aerosoller, güneş ışınımı ve albedo değişiklikleri ve stratosferdeki ozon tabakasının incelmeye neden olan klorofluorokarbonlar (CFC'ler) gibi başka ışımsal zorlama etmenleri de vardır.

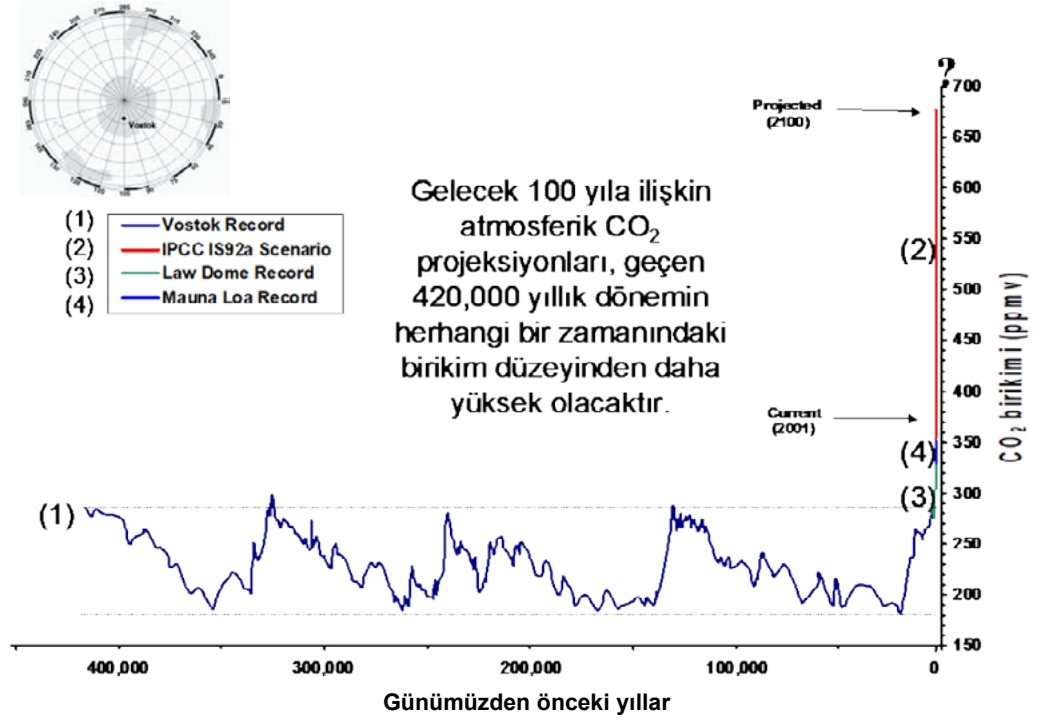


Şekil 4. 1958-2004 döneminde Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen (Keeling ve Whorf, 2005) aylık ortalama atmosferik CO₂ birikimindeki değişimler. Aylık ortalama CO₂ birikimi dizilerindeki yıllararası değişimlere ve mevsimlik döngülere, ikinci dereceden polinom regresyon eğrisi uyduruldu.

4. İnsan kaynaklı iklim değişikliği

4.1 Kuvvetlenen sera etkisi ve küresel ısınma

Atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde sanayi devriminden beri gözlenen artış sürmektedir. Özellikle atmosferdeki birikiminin büyüklüğü, artış hızı ve 50-200 yıl arasında değişen yaşam süresi dikkate alındığında, CO₂'nin önemi daha iyi anlaşılır. 1958 yılından beri yapılmakta olan Mauna Loa ölçümlerine göre, Yerküre atmosferindeki CO₂ birikimi çok hızlı bir biçimde artmaktadır (Şekil 4). 2005 yılında yayımlanan ölçüm sonuçları (Keeling ve Whorf, 2005) çözümlendiğinde, sanayi öncesinde yaklaşık 280 ppm ve 1958 yılında yaklaşık 315 ppm olan atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ birikiminin, 2004'te 377.4 ppm'e ulaştığı görülür (Şekil 4). Atmosferdeki CO₂ birikiminin günümüzdeki düzeyi geçmiş 420,000 yıllık kayıttaki doğal CO₂ birikimi değişimlerinin (yaklaşık 180-300 ppm arasında değişiyor) çok üzerindedir (Şekil 5). Sera gazı birikimindeki bu artışlar, Yerküre'nin uzun dalgalı ışınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, onu daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ışımsal zorlamanın oluşmasını sağlar. Bu yüzden, "Yerküre/atmosfer ortak sisteminin enerji dengesine yapılan pozitif katkı", kuvvetlenen sera etkisi olarak adlandırılır (Türkeş, 2003). Bu ise, Yerküre atmosferindeki doğal sera gazları (su buharı, CO₂, CH₄, N₂O ve O₃) yardımıyla yüz milyonlarca yıldan beri çalışmakta olan doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi anlamını taşır.

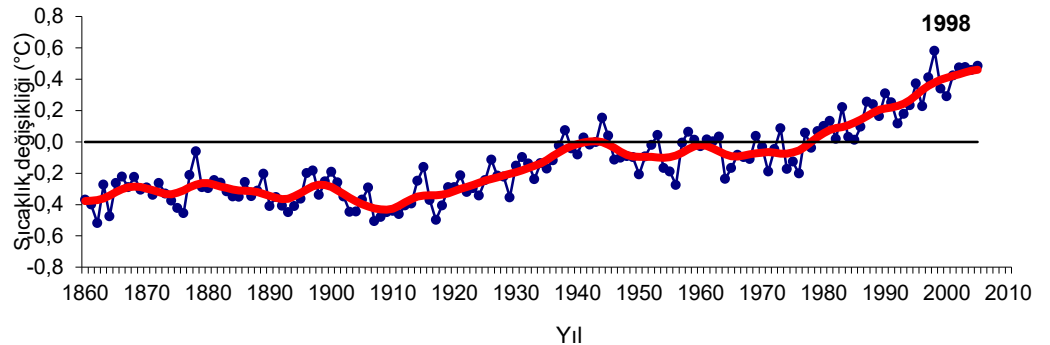


Şekil 5. 1950 öncesi geçmiş 420,000 yıllık döneme ilişkin buz sondaj verileri (Vostok) ile 1950-1990 dönemi Law Dome ve Mauna Loa ölçümlerine göre atmosferdeki CO₂ birikimindeki uzun süreli değişimler ve IPCC IS92a senaryosuna göre 1990-2100 dönemine ilişkin CO₂ projeksiyonları.

Buraya kadar yapılan açıklamalar dikkate alındığında, 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 birikimindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de etkisiyle doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında (alt ve orta troposfer) saptanan sıcaklık artışı" olarak tanımlanabilir.

4.2 Aerosoller

Troposferdeki insan kaynaklı aerosoller, özellikle fosil yakıtların yanmasından çıkan kü-kürt dioksit (SO₂) kaynaklı sülfat (SO₄) aerosolleri, Güneş ışınımını yeryüzüne ulaşmadan tutar ve uzaya yansıtır. Uçucu parçacık birikimindeki değişiklikler, bulut tutarını ve bulutun yansıtma özelliğini değiştirebilir. Genel olarak, troposferdeki parçacıklarda gözlenen artışlar, iklimi soğutma eğilimindeki bir negatif ışınımsal zorlama oluşturur. Sera gazlarının yaşam süreleri on yıllardan yüzyıllara değişmekte, buna karşılık uçucu parçacıkların yaşam süreleri birkaç gün ile birkaç hafta arasında kalmaktadır. Bu yüzden aerosollerin atmosferdeki birikimleri, aerosol salımlarındaki değişikliklere çok daha hızlı bir biçimde yanıt verebilir. Öte yandan, büyük ölçekli volkanik püskürmeler sonucunda atmosfere salınan kül parçacıkları da, güneşten gelen kısa dalgalı ışınımın bir bölümünü yeryüzüne ulaşmadan uzaya geri yansıtarak, yeryüzünün ve troposferin soğumasına neden olabilir.



Şekil 6. 1961-1990 dönemi ortalamalarından farklara göre hesaplanan, küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığı anomalilerinin 1860-2005 dönemindeki değişimleri (CRU/UEA'nın aylık ham verileri kullanılarak çizildi). Sıcaklık gözlem dizilerindeki yıllar arası değişkenlik, 13 noktalı düşük geçirimli Binom süzgeci (—) ile düzgünleştirildi.

5. Gözlenen iklim değişiklikleri

Temel olarak insan etkinlikleri sonucunda atmosferin bileşiminde ortaya çıkan önemli değişiklikler sonucunda, yüzeysel sıcaklıklarında 19. yüzyılın sonlarında başlayan ısınma, 1980'li yıllarla birlikte daha da belirginleşerek, hemen her yıl bir önceki yıla göre daha sıcak olmak üzere, küresel sıcaklık rekorları kırdı (Solomon ve diğ., 2007; Türkeş, 2003; WMO, 1999; IPCC, 2001; Türkeş, 2004) ve küresel ortalama yüzeysel sıcaklığı, 20. yüzyılın başından günümüze değin yaklaşık olarak 0.7 °C arttı. Küresel olarak, 1990'lı ve 2000'li yıllar aletli gözlem kayıtlarındaki en sıcak yıllar; 1998 ise, +0.58 °C'lik anomali ile en sıcak yıl oldu (Türkeş, 2003; WMO, 1999) (Şekil 6). Benzer ısınma eğilimleri ve yüksek sıcaklık rekorları, Güney Yarımkürenin ve özellikle Kuzey Yarımkürenin yıllık ortalama sıcaklıklarında da gözleniyor. Küresel ölçüm sonuçlarına göre, 2005 yılı 0.485 °C'lik bir anomali ile tüm kürenin (Şekil 6), 0.648 °C ile de kuzey yarımkürenin en sıcak ikinci yılı oldu. Ayrıca, minimum (gece en düşük) hava sıcaklıklarında yaklaşık her on yılda 0.2 °C olarak gerçekleşen artış, maksimum (gündüz en yüksek) hava sıcaklıklarındaki artışın yaklaşık iki katı oldu.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) son değerlendirmeleri de, iklim sistemindeki ısınmanın kuvvetlendiğini gösteriyor (Solomon ve diğ., 2007). Küresel ortalama yüzeysel sıcaklıkları için güncellenen 100 yıllık (1906–2005) doğrusal eğilimin büyüklüğü, 0.74 °C'ye ulaşmıştır. Doğrusal ısınma eğilimi, son 50 yıllık dönemde geçen 100 yıllık dönemin yaklaşık iki katı olmuştur (0.13 °C/10 yıl). Kentisel ısı adasının etkisi, daha çok yerel düzeydedir ve sıcaklık değerleri üzerindeki etkilerinin (karalar üzerinde 0.006°C/10 yıl'dan daha küçük) göz ardı edilebilir düzeyde olduğu kabul edilmiştir. Temel olarak atmosferin alt ve orta troposfer katmanlarına karşılık gelen en alt 8 kilometrelik bölümündeki hava sıcaklıkları da, geçen 40 yıllık dönemde belirgin bir artış eğilimi gösterdi. Paleoklim çalışmalarıyla elde edilen yeni bulgulara dayanan son değerlendirmelere göre (Solomon ve diğ., 2007), geçen yarım yüzyıldaki ısınma, en azından önceki 1,300 yılıdakine göre olağandışıdır. Atmosferin ortalama su buharı içeriği (nemliliği), 1980'lerden beri, kara ve okyanusların üzerinde olduğu kadar alt troposferde de artmıştır. Bu artış, daha sıcak havanın daha fazla su buharını tutma kapasitesine sahip olduğu gerçeği ile uyumludur. 1961'den beri yapılan gözlemler, küresel okyanusların ortalama sıcaklığının en az 3000 metre derinliğe kadar arttığını ve okyanusların iklim sistemine verilen ısı enerjisinin % 80'den fazlasını emdiğini göstermiştir. Okyanuslardaki bu ısınma, deniz suyunun genişlemesine neden olarak, deniz seviyesinin yükselmesini sağlar.

20. yüzyılda, her iki yarımküredeki dağ buzullarında ve ortalama kar örtüsünde azalma olmuştur. IPCC 3. Değerlendirme Raporu (TAR) sonrasında elde edilen yeni veriler, Grönland ve Antarktika buz kalkanlarından kaynaklanan kayıpların (erimelerin), 1993–2003 dönemindeki deniz seviyesi yükselmesine büyük olasılıkla katkı sağladığını göstermiştir (Solomon ve diğ., 2007). Buz kalkanlarının kütle kayıplarındaki artışı, buz şelflerinde inceltme, azalma ya da yüzen buzul dillerinin kayıp ve inceltmesi izlemiştir. Böyle dinamik buz kayıpları, Antarktik net kütle kaybının çoğunu ve Grönland'daki net kütle kaybının yaklaşık yarısını açıklamak açısından yeterlidir.

Çizelge 1. Deniz düzeyinde gözlenen yükselme oranları ve değişik kaynakların buna yaptığı katkılara ilişkin öngörüler (Solomon ve diğ., 2007).

Yükselmenin kaynağı	Deniz düzeyi yükselmesi oranı (m/100 yıl)	
	1961–2003	1993–2003
Termal genişleme	0.042 ± 0.012	0.160 ± 0.050
Buzullar ve buz şapkaları	0.050 ± 0.018	0.077 ± 0.022
Grönland buz kalkanı	0.050 ± 0.120	0.210 ± 0.070
Antarktik buz kalkanları	0.140 ± 0.410	0.210 ± 0.350
İklimsel katkıların toplamı	0.110 ± 0.050	0.280 ± 0.070
Gözlenen toplam deniz düzeyi yükselmesi	0.180 ± 0.050 ^a	0.310 ± 0.070 ^a
Fark (gözlenen-öngörülen toplam iklim katkıları)	0.070 ± 0.070	0.030 ± 0.100

* 1993 öncesi veriler gel-git ölçerlerden, 1993 sonrası uydu altimetrelerinden elde edilmiştir.

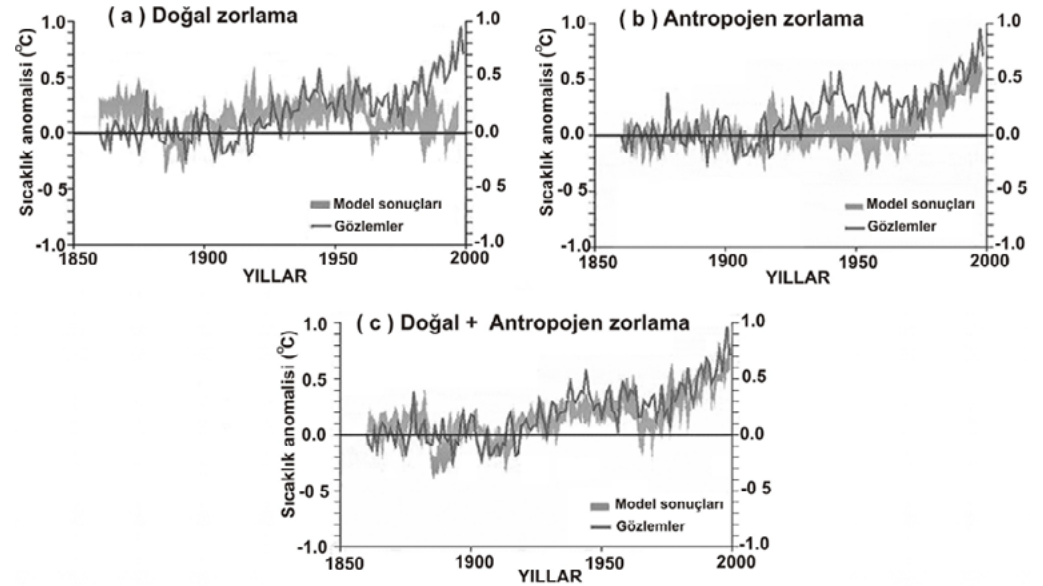
Orta enlem ve kutupsal kar örtüsü, kutupsal kara ve deniz buzları ile orta enlemlerin dağ buzulları eriyerek alansal ve hacimsel olarak azalırken, gel-git ve deniz düzeyi ölçerlerinin gözlem kayıtlarına göre küresel ortalama deniz düzeyi, 20. yüzyılda yaklaşık 0.17 m (0.12-0.22 m arasında) yükseldi (Çizelge 1) (Solomon ve diğ., 2007). Küresel ortalama deniz düzeyindeki yükselme, 1961–2003 döneminde ortalama 1.8 mm/yıl (1.3-2.3 mm/yıl arasında) oranındadır (Çizelge 1). Yükselme, 1993-2003 döneminde yaklaşık 3.1 mm/yıl (2.4–3.8 mm/yıl arasında) oranı ile daha hızlıdır (Solomon ve diğ., 2007). Öte yandan, 1993-2003 dönemindeki daha hızlı yükselme oranının on yıllık değişkenli-

ği ya da uzun süreli eğilimdeki bir artışı yansıtıp yansıtmadığı ise açık değildir. Deniz düzeyi yükselmesinin belirlenmesinde karşılaşılan başlıca belirsizlik, düşey yerkabuğu hareketlerinin gel-git ve deniz düzeyi ölçümlerinin üzerindeki etkisidir.

Yağışlar kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlem bölgelerinde her on yılda yaklaşık % 0.5 ile % 1 arasında artarken, subtropikal karaların (Akdeniz Havzası'nı da içerir) önemli bir bölümünde her on yılda yaklaşık % 3 azaldı (IPCC, 2001).

6. İnsanın gözlenen sıcaklık değişikliklerine katkısı

Özellikle son 50 yıllık dönemdeki ısınmaya insanın katkısını (antropojen zorlama) nesnel olarak açıklayabilmek amacıyla, aletli gözlem kayıtlarındaki değişiklikler ile gözlenen sıcaklık değişikliklerinin model benzeştirmeleri karşılaştırılır (IPCC, 2001). Şekil 7'deki karşılaştırmanın dayandığı model çalışmasında kullanılan sülfat aerosolü değişimleri, interaktif olarak, troposferik ozon değişiklikleri ise bir kimyasal taşınma modeli kullanılarak hesaplanmış. Aynı zamanda sülfat aerosollerinin birinci dolaylı etkisi durumundaki bulut parlaklığındaki değişiklikler, ayrı bir benzeştirme ile hesaplanarak (Jones ve diğ., 1999) modele alınmış. Stratosferdeki ozon değişiklikleri, gözlemlere; volkanik zorlama, (Sato ve diğ.,2003)'nin verilerine ve güneş zorlaması (Lean ve diğ., 1995)'nin verilerine dayanıyor. Net antropojen zorlama, 1990 yılında 1.0 Wm^{-2} ve sülfat aerosolleri nedeniyle 1.0 Wm^{-2} 'lik net bir soğumayı içeriyor. 1860 yılına göre 1990 yılı için hesaplanan net doğal zorlama, 0.5 Wm^{-2} ; 1992 yılı için hesaplanan net soğuma (negatif ışınımsal zorlama) ise, Pinatubo volkanından 1991 yılında atmosfere salınan volkanik toz ve kül-ler nedeniyle 2.0 Wm^{-2} 'dir.



Şekil 7. Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığındaki değişimlerin birleşik okyanus-atmosfer iklim modelinin ürettiği dört küresel yüzey sıcaklığı benzeştirmesi ile karşılaştırılması. Model benzeştirmelerinin gözlenen değişimlerle karşılaştırılması, (a) yalnız güneş ışınımındaki değişiklikleri ve volkanik püskürmeleri içeren doğal zorlama şeridiyle; (b) atmosferde iyi karışan sera gazlarının birikimlerindeki değişimleri, troposfer ve stratosferdeki ozon birikimlerindeki değişimleri ve kestirimsel sülfat aerosollerinin doğrudan ve dolaylı etkilerini dikkate alan antropojen zorlama şeridiyle ve (c) doğal ve insan kaynaklı tüm zorlama etmen ve süreçlerinin etkilerini birlikte dikkate alan, bir doğal + antropojen zorlama şeridi yardımıyla yapılmış ((Stott ve diğ.,2000; Tett ve diğ., 2000)'e göre (IPCC, 2001)'den yeniden çizildi). Kalın çizgi, ölçümlere dayalı yıllık ortalama sıcaklık gözlem dizisini gösterirken, gri bant dört modelin benzeştirme sonuçlarını birlikte gösterir.

Geçen yüzyılda Yerküre'nin yüzey sıcaklıklarında gözlenen ısınma, büyük olasılıkla tek başına iklim sisteminin içsel değişkenliğinin bir sonucu değildir. Model benzeştirmesindeki yıllararası değişimler ile sıcaklık gözlem kaydındaki değişimler arasında 20. yüzyılın ilk yarısında iyi bir pozitif ilişki varken, bu ilişki ikinci yarıda hem yıldan yıla değişimler hem de uzun süreli eğilimin doğası açısından ortadan kalkmıştır. Yapılan bu karşılaştırmaya göre, volkanik püskürmeler ve güneş ışınımındaki değişimler, 20. yüzyılın ikinci yarısındaki ısınmayı açıklamak için yetersizken, bu zorlamalar yüzyılın ilk yarısında gözlenen ısınmaya katkı sağlamış olabilir (Şekil 7(a)). Yeni bulgu ve kanıtlara göre IPCC 2007'de daha kuvvetli bir biçimde yapılan değerlendirmeler dikkate alındığında, "20. yüzyılın ortasından beri küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artış, büyük

olasılıkla, atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde gözlenen artış nedeniyle oluşmuştur.” Ayırt edilebilen insan etkileri, şimdi, okyanusların ısınması, ankarasal ortalama sıcaklıklar, sıcaklık ekstremeleri ve rüzgar desenlerini de içeren, iklimin başka özelliklerine de uzanmaktadır.

Sera gazlarını ve sülfat aerosollerini antropojen zorlama etmeni olarak kabul eden iklim değişikliğini arama ve bir nedene bağlama çalışmalarının sonuçlarına göre, antropojen sülfat aerosollerini ve doğal etmenlerle (volkanik püskürmeler ve güneş ışınımındaki değişiklikler) ilişkili zorlamalardaki belirsizliklere karşın, yaklaşık son 50 yılın iklim kaydında insan kaynaklı bir sinyalin varlığını ortaya koyan yeni kanıtlar bulunuyor. Bu dönemde etkili olan sülfat birikimleri ve doğal zorlamalar negatif olduğu için, gözlenen ısınmayı açıklayamazken (Şekil 7(b)), çoğu çalışma geçen 50 yılda sera gazlarının artan birikimleri nedeniyle oluşan ısınmanın hesaplanan oran ve büyüklüğünün, gözlenen ısınmayla karşılaştırılabilir düzeyde ya da ondan daha büyük olduğunu gösteriyor (Şekil 7(b)). 1860-2000 dönemi küresel sıcaklık dizisindeki yıldan yıla değişimler ve uzun süreli eğilim açısından yapılan karşılaştırma için en tutarlı sonuç ise, antropojen ve doğal zorlama etmenlerinin modellerde birlikte kullanılmasıyla elde edilen benzeştirmelerdir (Şekil 7(c)). Bunların dışında, organik karbon, siyah karbon, biyokütle aerosollerini ve arazi kullanımındaki değişiklikler, vb. gibi bilinen bazı insan kaynaklı zorlama etmenleri de, iklim değişikliğinin nedenlerini açıklama çalışmalarında kullanılmıştır.

7. Öngörülen iklim değişiklikleri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Üçüncü Değerlendirme Raporu'nda (TAR) olduğu gibi, IPCC dördüncü Değerlendirme Raporu'nda da temel alınan tüm salım senaryoları ve projeksiyonları, atmosferdeki karbondioksit birikimlerinin, yüzey sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin 21. yüzyıl süresince yükseleceğini; kara ve deniz buzlarının ve buzullarının alansal ve hacimsel olarak azalacağını öngörmektedir (Solomon ve diğ., 2007; IPCC, 2001; IPCC, 2000).

7.1 Sıcaklık öngörülleri

IPCC'nin Dördüncü Değerlendirme Raporu'nda (Solomon ve diğ., 2007), gözlemlerden kaynaklanan kısıtlara karşın, iklim modellerinin ilk kez, iklim duyarlılığı için olabilir bir değerlendirme aralığı ürettiği ve iklim sisteminin ısınmasal zorlamaya verdiği yanıtının anlaşılmasındaki güvenilirliği arttırdığı vurgulanıyor. Bu çerçevede, CO₂ birikimlerinin iki katına çıkması sonucunda, 2100 yılına kadar küresel ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışın, yaklaşık 3 °C'lik en iyi kestirme değeriyle birlikte, olasılıkla 2-4.5 °C aralığında olacağı öngörülüyor. Ayrıca, birçok SRES salım senaryosu (Solomon ve diğ., 2007; IPCC, 2000), gelecek 20 yıl için yaklaşık 0.2 °C/10 yıl oranında bir ısınmanın olacağını öngörüyor. Öte yandan, tüm sera gazlarının ve aerosollerinin birikimleri 2000 yılı düzeylerinde tutulsa bile, en azından yaklaşık 0.1 °C/10 yıl oranındaki bir ısınmanın olacağı da bekleniyor. Öngörülen ısınma oranları, 20. yüzyılda gözlenen değişikliklerden daha büyüktür ve eski iklim verilerine dayanarak, yüksek bir olasılıkla bunun en azından son 10,000 yıl boyunca bir benzeri gerçekleşmemiştir (Şekil 2). Son küresel model benzeştirmelerine dayanarak, neredeyse tüm kara alanları, özellikle soğuk mevsimde yüksek kuzey enlemlerindeki karalar, daha hızlı ısınabilecektir. Bunlar arasında en dikkat çekici olanı, tüm modellere göre, Kuzey Amerika'nın kuzey bölgelerinde ve Orta Asya'nın kuzeyinde küresel ortalamayı % 40'dan daha fazla aşan ısınmadır. Buna karşılık, yazın güney ve güneydoğu Asya ve kışın Güney Amerika için öngörülen ısınma oranı, küresel ortalamadaki artıştan daha küçüktür.

7.2 Yağış öngörülleri

Çok sayıda senaryoya dayanarak geliştirilen küresel model benzeştirmeleri, küresel ortalama su buharı birikimi ve yağış tutarının 21. yüzyıl süresince artacağını öngörüyor. 21. yüzyılın ikinci yarısına kadar, yağışlar, kışın orta ve yüksek kuzey enlemlerde ve Antarktika'da artabilecektir. Alçak enlemlerdeki kara alanlarında, hem bölgesel artışlar hem de azalışlar bekleniyor. Ortalama yağışlar için bir artışın öngörüldüğü pek çok alanda, yıldan yıla yağış değişkenliği daha yüksek olabilecektir. Model hesaplamaları, daha sıcak iklim koşulları altında, buharlaşmanın artacağını, küresel ortalama yağış tutarında ve şiddetli yağış olaylarının sıklığında bir artış olacağını gösteriyor. Buna karşılık, bazı alanlarda yağış artışı olurken, başka alanlarda yağış azalışları yaşanacağı, hatta yağışlarda artış olan kara alanlarında artan buharlaşma yüzünden akışlarda ve toprak neminde azalışlar olabileceği öngörülmüyor.

Bazı kurak ve yarıkurak alanların daha da kuraklaşmasıyla birlikte, yağışlarda mevsimlik ve enlemsel kaymalar olabileceği de öngörülmüyor. Genel olarak, yağış yüksek enlem-

lerde yaz ve kış mevsimlerinde artabilecektir. Yağışların, kışın, orta enlemler, tropikal Afrika ve Antarktika'da artacağı; yazın ise, güney ve doğu Asya'da artacağı öngörülmüyor. Avustralya, Orta Amerika ve güney Afrika'nın kış yağışlarında sürekli bir azalma bekleniyor. Hadley Centre'in iklim modellerine (UKMO/DETR, 1999) ve başka model sonuçlarına göre, özellikle Doğu Akdeniz havzası ve Orta Doğu için, yağışlarda, su kaynaklarında ve akımlarda gelecek yüzyıl için önemli azalmalar bekleniyor.

7.3 Kar ve buz öngörülleri

Kuzey yarımküredeki kar örtüsü ve deniz buzu yayılışının daha da azalacağı öngörülmüyor. Buzulların ve buz şapkalarının geniş ölçekli geri çekilmesinin 21. yüzyılda da süreceği bekleniyor. Antarktika buz kalkanının, daha fazla yağış nedeniyle kütle kazanması beklenirken, akışlardaki artışın yağıştan fazla olacağı öngörüldüğü için, Grönland buz kalkanının kütle kaybetmesi bekleniyor. Bunların dışında, deniz seviyesinin altında kaldığı için, batı Antarktika buz kalkanının gelecekteki kararlılığı konusunda kaygılar bulunuyor.

7.4 Deniz seviyesi öngörülleri

TAR'da temel alınan tüm senaryolara göre, küresel ortalama deniz seviyesinin, 1990 ve 2100 arasında 0.09 ile 0.88 metre kadar yükseleceği öngörülmüyor. Bu yükselme, temel olarak, okyanusların termal genişmesi ile buzullar, buz şapkaları, buz kalkanları (Grönland ve Antarktika) ve deniz buzlarından olan kütle kayıplarıyla (erime) bağlantılı olacaktır.

8. Sonuç

Sera gazı salımlarının bugünkü düzeyinde ya da üzerinde sürmesi, daha fazla ısınmaya ve büyük olasılıkla, iklim sisteminde 21. yüzyıl süresince 20. yüzyılda gözlenenenden daha büyük düzeylerde olabilecek birçok değişikliğe neden olacaktır. İnsan kaynaklı ısınma ve deniz seviyesi yükselmesi, sera gazı birikimleri belirli bir düzeyde durdurulsa bile, iklim süreçleri ve geri beslemeleri ile bağlantılı zaman ölçeklerinin çok değişik ve uzun olması yüzünden, yüzyıllarca sürebilecektir. Bu da, toplumlar için olumsuz sonuçlar yaratarak, kalkınmanın önünde büyük bir engel oluşturacaktır. Bu yüzden, uluslararası toplum, insan kaynaklı sera gazı salımlarındaki artışla bağlantılı iklim riskini önlemeye yönelik önemli bir görevle karşı karşıya bulunuyor. Öngörülen iklim değişikliklerini ve bu değişikliklerin, sosyo-ekonomik sektörler, doğal eko-sistemler ve insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkilerini en aza indirmenin en önemli yolu, insan kaynaklı sera gazı salımlarını azaltmak ve yutakları çoğaltmaktır. Sera gazı salımlarını azaltmaya ya da denetlemeye yönelik politikalar ve önlemler ise, sera gazı salımlarını azaltmak amacıyla uygulanmakta ve/ya da yakın bir gelecekte uygulanması olası olan bilimsel ve teknik/teknolojik yaklaşımlar ve önlemler ile makro politika araçlarını içerir.

9. Kaynaklar

- Broecker, W.S., Peteet, D. and Rind, D., (1985). "Does the Ocean-Atmosphere System Have More Than One Stable Mode of Operation?", *Nature*, 315: 21-25.
- Broecker, W.S. and Denton, G.H., (1989). "The Role of Ocean-Atmospheric Reorganizations in Glacial Cycles", *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 53: 2465-2501.
- Coughlan, M.J. and Nyenzi, B.S., (1991). "Climate Trends and Variability", in *Climate Change: Science, Impacts and Policy. Proceedings of the Second World Climate Conference*, Eds.: S. Jager and H. L. Ferguson, WMO, UNEP, UNESCO, IOC, FAO, ICSU. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huntley, B. and Prentice, I.C., (1988). "July Temperatures in Europe From Pollen Data, 6000 Years Before Present", *Science*, 241: 687-690.
- IPCC, (2000). *Special Report on Emissions Scenarios – A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, (Nakićenović, et al., lead authors), Cambridge University Press, New York.
- IPCC, (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Eds.: J. T. Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, A., Roberts, D.L. and Woodage, M.J., (1999). The indirect effects of anthropogenic aerosol simulated using a climate model with an interactive sulphur cycle. Hadley Centre Tech. Note 14. Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Meteorological Office, Bracknell RG12 2SY UK, pp39.
- Lean, J., Beer, J. and Bradley, R., (1995). "Reconstruction of solar irradiance since 1600: Implications For climate change", *Geophys. Res. Lett.*, 22: 3195-3198.

- Keeling, C.D. and Whorf, T.P., (2005). <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/maunaloa.co2>.
- Robinson, P.J. and Henderson-Sellers, A., (1999). *Contemporary Climatology*. Second Edition, Prentice Hall Inc., London.
- Sato, M., Hansen, J.E., McCormick, M.P. and Pollack, J., (1993). "Stratospheric aerosol optical depths (1850-1990)", *J. Geophys. Res.*, 98: 22987-22994, 1993.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), (2007). *Technical Summary*. In: *Climate Change: 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, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Stott, P.A., Tett, S.F.B., Jones, G.S., Allen, M.R., Mitchell, J.F.B. and Jenkins, G.J., (2000). "External Control of Twentieth Century Temperature Variations by Natural and Anthropogenic Forcings", *Science*, 15: 2133-2137.
- Tett, S.F.B. et al., (2000). *Estimation of Natural and Anthropogenic Contributions to 20th Century*. Hadley Centre Tech Note 19, Hadley Centre for Climate Prediction and Response, Meteorological Office, RG12 2SY, UK.
- Türkeş, M., (2001). "Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma", T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205.
- Türkeş, M., (2003). "Küresel İklim Değişikliği ve Gelecekteki İklimimiz", 23 Mart Dünya Meteoroloji Günü Kutlaması Gelecekteki İklimimiz Paneli, Bildiriler Kitabı, 12-37, Ed.: M. Türkeş, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 23 Mart 2003, Ankara.
- Türkeş, M., (2004). "Küresel İklim Değişikliği ve Olası Sonuçları", *Hava kuvvetleri Dergisi*, 348: 70-77.
- UKMO/DETR, (1999). *Climate Change and Its Impacts, Stabilisation of CO2 in the Atmosphere*, United Kingdom Meteorological Office and Department of the Environment, Transport and the Regions (UKMO/DETR), the Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Bracknell.
- Webb, T., Bartlein, P.J. and Kutzbach, J.E., (1987). "Climatic Change in Eastern North America During the Past 18000 Years: Comparisons of Pollen Data With Model Results", in *The geology of North America, Vol K-3: North America and Adjacent Oceans During the Last Deglaciation*. Eds.: W. F. Ruddiman, and H. E. Wright, Geol. Soc. of America, Boulder, 447-462.
- WMO, (1999). *WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1998*, WMO-No. 896, World Meteorological Organization, Geneva.