

İKLİM DEĞİŞİMİNDE İNSAN FAKTÖRÜ

Doç. Dr. Kasım Koçak
İ.T.Ü. Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
kkocak@itu.edu.tr

Üzerinde yaşadığımız gezegende insan gereksinimleri kadar çeşitlilik gösteren çok az şey vardır. Bütün bu gereksinimlerin karşılanabilmesinin yolu üretimden geçmektedir. Ancak her üretim faaliyeti az veya çok doğada bir değişim meydana getirir. Bu doğaldır ve bundan kaçış mümkün değildir. İnsanoğlu üretimden vazgeçemeyeceğine göre, yapılması gereken her türden üretimin doğa dostu teknolojiler ile gerçekleştirilmesidir.

Dünya atmosferinin yukarıda sözü edilen üretim faaliyetlerinden doğrudan etkilenmesi kaçınılmazdır. Üretim faaliyetleri kuşkusuz sanaayi devriminden önce de vardı ve bir takım kirletici emisyonlar atmosfere bırakılıyordu. Ancak atmosfer, belli bir sınırın altında olan bu kirleticileri tolere edebiliyordu. . Atmosfere lokal ölçekte yapılan müdahaleler etkilerini zamanla küresel ölçekte de göstermeye başlamıştır. Özellikle sanaayi devrimini izleyen yıllarda sera gazlarının ve bazı bölgelerde de aerosollerin atmosferdeki birikimi hızla artmıştır. Bilindiği gibi sera gazlarının birikimindeki artış atmosferi ısıtma eğilimi gösterirken; aerosollerdeki artış tam tersine soğutma eğilimi göstermektedir

Geçmiş iklim koşulları incelendiğinde iklim değişiminin doğal nedenle bağlı olarak meydana geldiği görülür. Bunlar volkanik aktiviteler, güneş enerjisi miktarındaki değişimler, dünya ekseninin eğiminde ve yörüngesinin geometrisinde meydana gelen değişimlerdir. Dolayısı ile günümüz iklimi hem insan hem de doğal kaynaklı zorlamaların etkisi altında şekillenmektedir. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 1995 yılında tamamlanan ikinci raporunda , sanaayi devriminden beri, iklimdeki doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan etkilerinin de önemli rol oynadığı gerçeği kabul edilmiştir. Bu raporda iklim değişimi "karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik" şeklinde tanımlanmıştır.

Atmosferin bileşimi

Bugün küresel iklim değişimi olarak adlandırılan olgunun anlaşılabilmesi için, dünya atmosferinin bileşiminin ve davranışının yakından incelenmesi gerekmektedir. Her dakikada ortalama 12 kez nefes alır ve 12 kez de veririz. Her nefes alışımızda %78'i azot ve %21'i oksijen olmak üzere bir gaz karışımını ciğerlerimize çekeriz. Bu karışımı oluşturan gazların hacimsel yüzdeleri Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1. Yeryüzeyi yakınında atmosferin kompozisyonu

DEĞİŞKEN OLMAYAN GAZLAR			DEĞİŞKEN GAZLAR		
Gaz	Sembol	%	Gaz	Sembol	%
Azot	N ₂	78.08	Subuharı	H ₂ O	0-4
Oksijen	O ₂	20.95	Karbondioksit	CO ₂	0.036
Argon	Ar	0.93	Metan	CH ₄	0.00017
Neon	Ne	0.0018	Ozon	O ₃	0.000004
Helyum	He	0.0005	Karbonmonoksit	CO	0.00002
Hidrojen	H ₂	0.00005	Kükürtdioksit	SO ₂	0.000001
Xenon	Xe	0.000009	Azotdioksit	NO ₂	0.000001
			Diazotmonoksit	N ₂ O	0.00003
			Kloroflorokarbonlar	CFC	0.00000002
			Partiküller (toz, kurum, vb.)		0.00001

Tablo 1'in sağ kolonunda yer alan gazların hacimsel yüzdeleri yerden 80 km'ye kadar sabittir. Dolayısı ile yer yakınında bu gazların dönüşümü ve yeniden üretilmeleri arasında bir denge mevcuttur. Örneğin azot topraktaki bakteriler tarafından kullanılır; fakat çürüyen organizmalar yoluyla da tekrar atmosfere kazandırılır. Oksijen ise çürüyen organik maddeler tarafından ve osidasyon yoluyla atmosferden alınır. Diğer taraftan atmosferden solunum esnasında oksijen alınır ve karbondioksit olarak geri verilir. Atmosferin temel oksijen kaynağı fotosentez olayıdır.

Tablo 1'in sol kolonunda yer alan gazlardan subuharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), ozon (O_3), diazotmonoksit (N_2O) ve CFC'ler önemli sera gazlarıdır. Karbondioksit atmosferin doğal bir bileşenidir. Atmosferde hacimsel yüzde olarak çok küçük (% 0.036); fakat oynadığı rol bakımından önemli bir gazdır. CO_2 , bitkilerin çürütmesinden, volkanik aktivitelerden, insan ve hayvanların verdiği nefesten ayrıca kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtların yanması sonucu atmosfere karışır. CO_2 bitkilerin fotosentezi yoluyla atmosferden alınır. Ayrıca okyanuslar çok büyük bir CO_2 deposudur. Bilimsel çalışmalar, okyanusların atmosferik CO_2 'in 50 katından fazlasını içerdiğini ortaya koymaktadır.

Fosil yakıtların yanması, orman yangınları vb. nedenlerden dolayı bu yüzyılın başlarından beri CO_2 konsantrasyonunu hızla artmaktadır. 20. yüzyılın başlarında 290 ppm olan CO_2 konsantrasyonunun 21. yüzyılın sonunda 500 ppm'e çıkacağı tahmin edilmektedir. CO_2 , yeryüzeyinden yayınlanan infrared ısı enerjisinin bir kısmını absorblar. Dolayısı ile CO_2 konsantrasyonundaki bir artış, dünya ölçeğinde ortalama yüzey sıcaklığının artmasına neden olacaktır.

Atmosferin doğal kompozisyonu değiştiren etmenler hem doğal hem de insan kaynaklı olabilmektedir. Rüzgarlar yüzeyden tozları kaldırarak atmosfere taşırlar. Okyanus dalgalarından kaynaklanan tuzlu su damlacıkları atmosfere karışırlar. Buharlaştırma sonucunda bu damlacıklardan geriye atmosferde asılı duran mikroskobik tuz partikülleri kalır. Orman yangınları ve volkanik aktiviteler sonucunda önemli miktarlarda duman, kül ve çeşitli gazlar atmosfere karışırlar.

Kükürtdioksit (SO_2), kömür ve petrolün yanması sonucu atmosfere bırakılır. Eğer hava yeterince subuharı içeriyorsa sülfirik asit damlacıkları meydana gelir. Sülfirik asit ise çevredeki metallerin krozyonuna ve tatlı su kaynaklarının asitlenmesine neden olur. *Asit yağmurları* özellikle endüstriyel bölgelerin rüzgaraltı taraflarında kalan alanlar üzerinde ciddi çevre sorunlarına neden olur.

Otomobiller atmosfere azotdioksit (NO_2), karbonmonoksit (CO) ve hidro-karbonları yayarlar. Güneş ışınları altında NO_2 , hidrokarbonlar ve diğer gazlarla reaksiyona girerek ozonu (O_3) meydana getirir.

Atmosferde ozon konsantrasyonunun en yüksek olduğu tabaka stratosferdir. Burada ozon, bir oksijen molekülü ile bir oksijen atomunun birleşmesi şeklindeki doğal mekanizmalarla üretilir. Stratosferdeki ozon konsantrasyonu hacimsel olarak % 0.002 kadardır. Ancak bu miktar yeryüzünde hayatın başlaması ve devam ettirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Ozon tabakası yeryüzündeki canlıları güneşten gelen ultraviyole ışınlarının zararlı etkilerinden korur. Son yıllarda yapılan çalışmalar çeşitli kaynaklardan atmosfere bırakılan kloroflorokarbon (CFC) gibi gazların ozon tabakasındaki dengeyi bozduğu dolayısı ile ozonun koruyucu özelliğinin azaldığını ortaya koymaktadır. Çalışmalar, ozon konsantrasyonundaki bu azalmanın insanlarda cilt kanseri olaylarında artışa, bitki ve hayvan sağlığı üzerinde bir takım olumsuzluklara yol açacağını ortaya koymaktadır. Özetle aşağı atmosferdeki ozon canlı sağlığını olumsuz yönde etkilerken, yukarı atmosferdeki ozon yeryüzündeki hayatın geleceği açısından bir güvencedir.

Metanın (bataklık gazı) ana kaynağı bataklıklar, çeltik üretimi, hayvancılık vb alanlardır. Atmosferdeki metan konsantrasyonunun yıllık artış miktarı %0.6 kadardır. Metan atmosferde CO_2 'e göre miktarca çok azdır. Bununla birlikte bir metan molekülünün neden olduğu sera etkisi bir CO_2 molekülünün neden olduğu sera etkisinden 7.5 kat daha fazladır. Diazotmonoksit (güldürücü gaz) kimya endüstrisi, ormansızlaştırma ve bazı tarımsal faaliyetler sonucu atmosfere salınır. Yıllık artış miktarı yaklaşık %0.25'dir.

Atmosferik Sera Etkisi

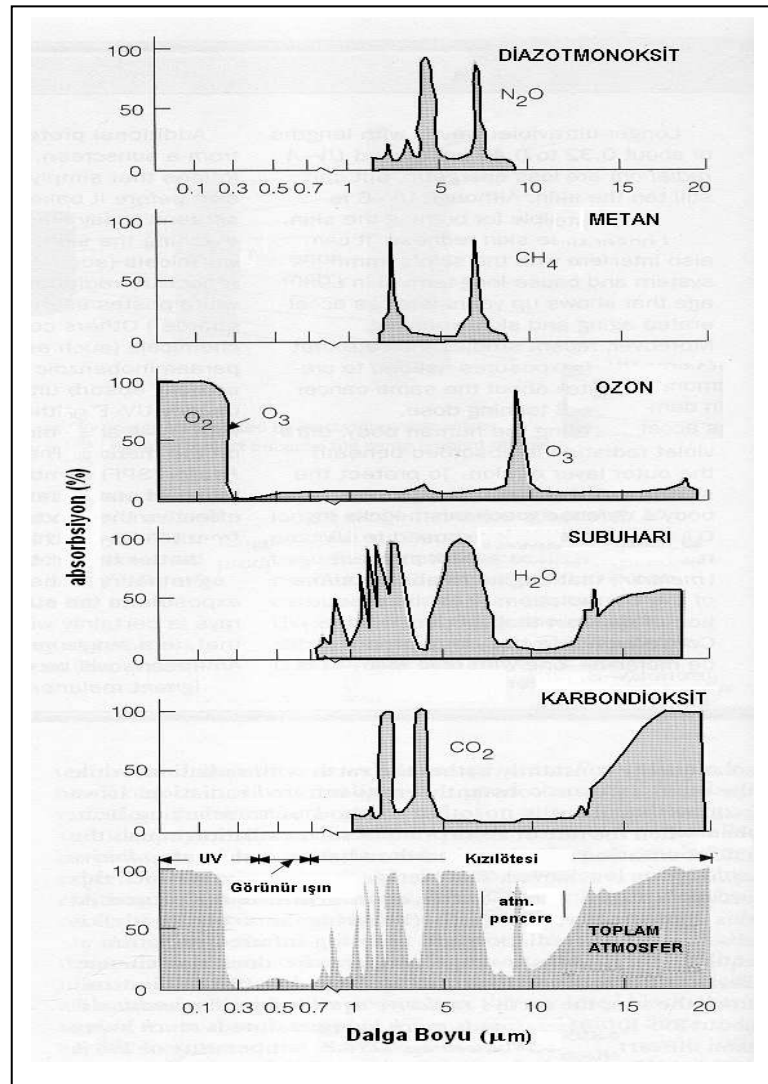
Güneş sürekli olarak dünyaya enerji gönderirken, dünya da sürekli olarak kızılötesi radyasyon yayınlar. Eğer başka bir enerji iletim mekanizmasının olmadığını varsayarsak, güneş radyasyonunun absorblanma miktarının, dünyanın yayınlamış olduğu kızılötesi radyasyona eşit olması gereken bir denge durumu ortaya çıkar. Buna, *radyatif denge* denir. Bu dengenin oluştuğu ortalama sıcaklığa da *radyatif denge sıcaklığı* denir. Bu sıcaklıkta, bir siyah cisim gibi davranan yerin, absorbladığı güneş radyasyonu ile yayınladığı kızılötesi radyasyonun miktarı birbirine eşit olması nedeniyle sıcaklığı değişmez. Dünyanın radyatif denge sıcaklığı $-18^{\circ}C$ 'dir. Bu sıcaklık, dünyanın ortalama sıcaklığı olan $15^{\circ}C$ 'den çok düşüktür. Bu iki sıcaklık arasında neden böylesine büyük bir fark vardır?

Yukarıda verilen soru, dünya atmosferinin kızılötesi radyasyonu absorblaması ve yayınlamasındaki davranış farklılığından hareketle cevaplandırılabilir. Atmosfer bazı dalga boylarındaki radyasyonu absorblarken,

diğerlerine karşı tamamen geçirgen davranır. Atmosfer, bu özelliği nedeniyle bir *seçici absorblayıcı*'dır. Diğer bir deyişle dünya atmosferinin doğal bir *sera etkisi* özelliği vardır.

Ozon, 0.2-0.3 μm arasındaki morötesi radyasyonu ve 9.6 μm 'ye karşı gelen kızılötesi radyasyonu absorblar. Bu işlem atmosferde 10 km'nin üzerinde meydana gelir. Bu seviyenin altında subuharı ve CO_2 , kızılötesi radyasyonun güçlü, görünür güneş radyasyonunun ise zayıf seçici absorblayıcısıdır. Şekil 1'den görüldüğü gibi subuharı, 1-8 μm arasında ve 12 μm 'den büyük dalga boylarındaki kızılötesi radyasyon için önemli bir absorblayıcıdır. Tek başına CO_2 ise, 4 μm ve 13-17 μm arasındaki dalga boylarında etkin bir absorblayıcıdır. Gerek subuharı ve gerekse CO_2 , 8-11 μm arasındaki dalga boylarına karşı geçirgen davranırlar. Bu dalga boylarına karşı gelen kızılötesi radyasyon atmosferi geçerek uzaya kaçar. Bu nedenle, bu dalga boylarına karşı gelen aralık, *atmosferik pencere* olarak adlandırılır.

Son yıllarda artan konsantrasyonları nedeniyle N_2O , CH_4 ve CFC gibi sera gazlarının toplam etkileri karbondioksitinkine hemen hemen eşittir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi gerek N_2O gerekse CH_4 kızılötesi dalga boylarında güçlü absorblayıcılardır. Diğer taraftan bir CFC türü olan CFC-12 ise atmosferik pencereye karşı gelen dalga boylarında etkin bir absorblayıcıdır. Bu özelliğinin dışında atmosfere bırakılan bir CFC-12 molekülü sera etkisi açısından 10000 CO_2 molekülüne eşdeğerdir.



Şekil 1.

Dünyanın yayınlamış olduğu enerjinin önemli bir kısmı 4-25 µm aralığındaki kızılötesi dalga boylarında gerçekleşir. Bu enerjinin önemli bir kısmı aşağı atmosferdeki su buharı ve CO₂ tarafından absorblanır. Bunun sonucunda bu gazların kinetik enerjisi artar.

Komşu hava molekülleri ile yapmış oldukları çarpışmalarla bu enerjiyi örneğin oksijen ve azot gibi kızılötesi radyasyonun zayıf absorblayıcıları olan gazlarla paylaşırlar. Sonuçta bu çarpışmalar havanın ortalama kinetik enerjisini ve dolayısı ile sıcaklığını artırır. Özetle, yeryüzeyinden yayınlanan kızılötesi radyasyonun bir kısmı aşağı atmosferin ısıtılmasında kullanılır.

Seçici absorblayıcı olmalarının yanında, su buharı ve CO₂, kızılötesi dalga boylarında seçici yayınlayıcıdır. Radyasyon bu gazlardan dışarıya doğru her yönde yayılır. Bu enerjinin bir kısmı yeryüzeyi tarafından absorblanır ve yeri ısıtır. Yer ısı almış olduğu enerjiyi tekrar yukarı doğru yayınlar, orada yeniden absorblanır. Sonuçta bu süreç aşağı atmosferin ısıtılmasını sağlar. Böylece su buharı ve CO₂, yeryüzeyi üzerinde izolasyon etkisi yaratan bir tabaka şeklinde davranarak, yerin kızılötesi radyasyonunun kolay bir şekilde uzaya kaçmasını engeller ve sonuçta atmosferin sıcaklığı, bu gazların hiç olmaması durumu ile kıyaslandığında, daha yüksek olur. Eğer atmosferde su buharı ve CO₂ ve diğer sera gazları olmasaydı, dünyanın ortalama sıcaklığı bugünkü durumdan 33 °C daha düşük olacaktı.

Bir seranın camları görünür ışığın içeri girmesine izin verir, fakat kızılötesi radyasyonun dışarı kaçmasını belli bir dereceye kadar engeller. Bu nedenle, su buharı, CO₂ ve metan ve diazotmonoksit gibi gazların atmosferde oynamış olduğu rol, *sera (greenhouse) etkisi* olarak adlandırılır. Bununla birlikte konuyla ilgili çalışmalar, sera içerisindeki sıcak hava oluşumunun kızılötesi radyasyonun içeride hapsedilmesinden ziyade, havanın sirkülasyon yeteneğini yitirmesi ve çevresindeki daha soğuk olan havayla karışmamasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle bu etki daha genel bir ifadeyle *atmosferik sera etkisi* olarak adlandırılır.

Mevcut sera gazlarının üretimine hemen son verilse bile, bu gazların neden olduğu sera etkisi daha uzun yıllar devam edecektir. Çünkü her sera gazının belli bir atmosferik ömrü vardır. Sera gazlarının atmosferik ömürleri CO₂ için 50-200 yıl, CH₄ için 12 yıl, N₂O için 120 yıl ve CFC-11 için 50 yıldır. Diğer taraftan su buharının atmosferik sera etkisine katkısı %60, karbondioksitin %26 diğer sera gazlarının toplam katkısı ise %14 civarındadır.

Troposferik Aerosoller

Volkanik aerosollerin etkisi uzun bir zamandır bilinmesine karşılık endüstriyel kirlilik, fosil yakıtlar ve biyokütle yakımından kaynaklanan troposferik aerosollerin etkisi henüz ortaya konmaya başlamıştır. Katı sülfat partikülleri, fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan kükürtdioksitin (SO₂) oksidasyonu ile oluşur. Çeşitli endüstriyel amaçlı veya doğal ve insan kaynaklı biyokütle yakımı çeşitli partiküler maddeleri troposfere gönderir.

Aerosollerin iklim sistemi üzerindeki etkileri iki ana başlık altında incelenebilir. Pek çok aerosolün doğrudan etkisi, gelen güneş radyasyonunun bir kısmını tekrar uzaya yansıtmak şeklindedir. Bunun doğal bir sonucu olarak aerosollerin lokalize olduğu bölge soğur. Bazı partiküler maddeler (örneğin kurum) ise tam tersi bir etki göstererek lokal ısınmaya neden olur. Soğuma veya ısınmanın derecesi tamamen aerosolün yapısına ve atmosferdeki dağılımına bağlıdır.

Troposferik aerosollerin dolaylı etkisi özellikle önemlidir. Aerosoller bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak görev yapar, bulut içinde daha çok damlacığın oluşumunu sağlayarak bulutun yansıtma yeteneğini artırır. Bu da gezegenimizin soğumasına neden olur.

Arazi Kullanımı ve Ormansızlaştırma

Ormansızlaştırma, yerleşim yeri açma, tarımsal üretim yapmak üzere toprak elde etme, ticari ve sanayi faaliyetler, karayolları yapımı vb etmenlere bağlı olarak, yüzyıllardır sürmektedir. Asit yağmurlarının İskandinav ülkeleri, Kanada ve Almanya'daki ormanlara önemli zararlar verdiği yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur. Türkiye'de de Karadeniz sahillerindeki, Muğla civarındaki ve Kaz dağındaki ormanların asit yağmurlarından kaynaklanan tahribatlara uğradığını gösteren ciddi belirtiler vardır.

1980'lere göre biraz yavaşlasa da tropikal ormanlar tüketilmeye devam ediyor. Günümüzde Afrika ormanları dünyanın en hızlı tüketilen ormanlarıdır. Sibirya'da her yıl kaybedilen ormanlık alan 4 milyon hektardır. Bu alan Amazon ormanlarında kaybedilenin yaklaşık iki katıdır. Gelecek 40 yıl içinde Tropikal ormanların bulunduğu bölgelerde yaşayan 100 bin canlı türünün tükenerek ortadan kalkması beklenmektedir.

Başta kağıt ürünleri olmak üzere günlük yaşamda kullanımı giderek artan çeşitli ürünlerin, ormanların yok edilmesini hızlandırmaktadır. Yok edilen her orman ile birlikte yeşil örtü kaybolmakta, toprak erozyonu oluşmakta, eko-sistemin bozulması ile iklim değişmekte ve doğal varlıklar kaybolmaktadır. Bu süreçle birlikte toprağın su depolama yeteneği azalmakta, tarım alanları verimsizleşmektedir.

Çayırılık alanların ve meraların işlemeli tarıma açılması ve aşırı otlatma sonucu erozyonda artış meydana gelmiştir. Dünya ölçeğinde her yıl 25.400 milyon ton üst toprak materyeli kaybedilmektedir. Tuzluluk ve alkaliliğin artması nedeniyle tarım arazilerinde verimliliğin azalması veya tümüyle kaybı söz konusudur. Dünyada erozyon oranının en yüksek olduğu kıtaların başında Asya kıtası gelmektedir.

Ormansızlaştırma, atmosferdeki karbondioksit miktarının azalmasında ve erozyonun artmasında büyük rol oynamaktadır. Bu durum yeryüzünün albedosunun değişmesine neden olmaktadır.

Şehirleşme

Şehirleşmenin lokal ölçekte neden olduğu iklim değişiminin anlaşılabilmesi için öncelikle *kentsel ısı adası* kavramının iyi anlaşılması gerekir. Şehir iklimi söz konusu olduğunda akla ilk gelen iklim elemanı sıcaklıktır. Şehirlerin kırsal kesimlerden daha sıcak olduğu yaklaşık 100 yıldan fazla bir zamandır bilinmektedir. Bu gerçek bilimsel literatürde *kentsel ısı adası* olarak adlandırılır. Bu etkinin ortaya çıkmasının nedeni gittikçe artan endüstrileşme ve şehirleşme olgusudur.

Kırsal kesimlerde gelen güneş enerjisi bitki ve topraktaki suyun buharlaşmasında kullanılır. Diğer taraftan şehirlerde bitki örtüsünün ve açık toprak arazinin az olması nedeniyle, gelen güneş radyasyonunun önemli bir kısmı şehirdeki yapılar ve asfalt yollar tarafından absorblanır. Bu nedenle şehirlerde, sıcak bir günde buharlaşma yoluyla olan soğuma, kırsal kesimlere göre daha düşük bir oranda gerçekleşir. Ayrıca araçlardan, fabrikalardan ve ısıtma sistemlerinden şehir atmosferine sürekli bir ısı enerjisi transfer edilir.

Gece olduğunda şehirdeki yapılar ve asfalt yollar gün boyu absorblamış oldukları güneş enerjisini yavaş bir şekilde infrared radyasyon olarak şehir atmosferine gönderirler. Dolayısı şehir atmosferinin sıcaklığı, çabuk soğuyan kırsal alanların sıcaklığına göre daha büyük bir değerde gerçekleşir.

Orta enlemlerde yer alan ülkemizde kentsel ısı adası nedeniyle şehirlerimizin, kışın daha ılık bir havaya sahip olması bu etkinin olumlu bir yanıdır. Ancak yaz mevsiminde güneş enerjisi miktarındaki artış ve Türkiye'yi etkileyen sıcak hava kütlelerinin neden olduğu yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan bildik rahatsızlıkların yaşanmasına neden olur.

Gelecekteki iklimimiz ve olası etkileri

Mevcut kanıtlar gezegenimizin belirgin bir ısınma trendine girdiğini göstermektedir. Bu kanıtlar şu şekilde sıralanabilir:

- Son 1400 yılın en sıcak yılları olarak kabul edilen 1990, 1995 ve 1997'de gerçekleşen sıcaklık rekorları kısa sayılabilecek bir süre içinde ard arda kırılmıştır.
- Isınmanın bir sonucu olarak, küresel ortalama deniz seviyesi 10–20 cm arasında bir yükselme göstermiştir. Bu yükselme, geçmiş 3000 yıldaki ortalama artışın 10 katıdır.
- Geçen 50 yıl süresince, kuzey yarımküredeki deniz buzu miktarı % 10-15 oranında azalmıştır. Geçen yüzyıl süresince göl ve ırmaklardaki yıllık buzlu zaman yaklaşık 2 hafta azalmıştır.

- Geçen 40-50 yıllık dönem içinde, yaz sonundan sonbahar başlangıcına kadar Kuzey Buz Denizi'ndeki buz kalınlığı % 40 azalmıştır ve son 100–150 yıl içinde dağ buzullarının yaygın bir biçimde geriye doğru çekildikleri gözlemlenmiştir.
- Geçen 30 yıl içinde dünyanın farklı bölgelerinde kuraklıklar, tropikal siklonlar, seller gibi olağanüstü hava ve iklim olayları oluşmuştur. Küresel olarak, geçen 10 yıl boyunca, meteorolojik karakterli afetlerin sayısı tam iki kat artmıştır. Sürekli kuraklık ve çölleşme, ihtiyaçlarını topraktan karşılayan 1.2 milyar insanın hayatını ciddi anlamda tehdit etmektedir. 1997/1998'de yaşanan ve geçen yüzyılın en önemli felaketi olan El Niño olayı, tahminen 110 milyar insanı etkilemiştir.
- Küresel ısınmanın belki de en çarpıcı kanıtı, flora ve faunadaki değişikliklerdir. Kuzey Yarımküre'nin bazı bölümlerinde, yetiştirme dönemi 1960'ların başından bu yana yaklaşık 11 gün uzamıştır. Yetiştirme dönemindeki değişiklikler, 1970'lerden beri küresel ısınmanın bir yansıması olarak daha ılıman geçen kış mevsimlerine bağlanmaktadır. Öteki değişiklikler Alplerin yüksek bölümlerinde yetişen bitkileri, yumurtalarını erken bırakan kuşları ve alanlarını kuzeye doğru genişleten kelebekleri içermektedir. Güney Okyanusunda, bitkiler daha güneydeki adalarda yetişmekte ve Antarktika Yarımadası'na doğru yayılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen ısınma trendinin devam etmesi durumunda gelecekte dünya ikliminin nasıl bir şekil alacağı bugün üzerinde en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Geleceğe yönelik öngörüler, karmaşık atmosfer-okyanus genel dolaşım modelleri, enerji kullanım senaryoları ve sera gazı emisyon projeksiyonlarının çıktıklarına dayanmaktadır. Gelecekle ilgili öngörülerde birçok kuşku bulunurken, iklim modellerinin yararlı öngörüler sağlama konusundaki güvenilirliği önemli ölçüde artmıştır. Bu, 1994 yılındaki Pinatubo volkanik püskürmesinin küresel ortalama yüzey sıcaklığına etkisini gösteren geçmiş iklim olayında olduğu gibi, El Niño-Güneyli Salınım (ENSO) ve musonlar gibi var olan iklimin başarılı model simülasyonlarıyla da gösterilmiştir. İklimimizin geleceği ile ilgili başlıca senaryolar şu şekilde özetlenebilir:

- IPCC Üçüncü Değerlendirme Raporuna göre, 1990-2100 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1.4–5.8°C arasında yükselecektir. Öngörülen bu ısınma oranı, 20. yüzyılda gözlenen değişikliklerin çok üzerindedir ve büyük bir olasılıkla en azından geçen 10.00 yıl süresince gerçekleşenlerden daha yüksektir.
- 2100 yılına kadar, deniz seviyesinin 9–88 cm arasında yükseleceği öngörülmektedir. Bu yükselme, önemli sosyo-ekonomik etkiler yaratacak, adalar, limanlar, bazı tarım alanları, tatlı su kaynakları, turizm alanları ve verimli kıyı bölgeleri tehdit altında kalacaktır.
- 21. yüzyıl süresinde yağışın şiddetleneceği öngörülmektedir. Alçak enlemlerde, yağışlarda bazı bölgelerde azalma, bazılarında ise artış olacaktır. Orta ve yukarı enlemlerde, yağış olayları şiddetlenecektir. Sel ve kuraklıklar daha da yaygınlaşacaktır.
- Bugünkü öngörüler, El Niño olaylarının gelecek 100 yıl içinde daha geniş bir alanı etkileyeceği şeklindedir. Yüksek sıcaklıklarla birlikte El Niño kaynaklı seller ve kuraklıklar çok daha şiddetlenecektir. Asya'daki Muson yağışlarının da biraz artması olasıdır.
- Kuzey yarımküredeki karla kaplı yüzey ve deniz buzları azalacak ve buzullar geri çekilmeye devam edecektir. Gerçekten de, Ekvator yakınındaki Kilimanjaro dağının zirvesindeki buzulun son yıllarda geri çekildiği gözlemlenmektedir.
- İklim değişikliği pek çok yönden insan sağlığını da etkileyecektir. Bu etki doğrudan ve dolaylı etkiler olarak sınıflandırılabilir. Bazı hastalıkların sayısında bir artış görülürken, iklim değişikliği, tehlide açık olan bazı türlerin neslinin tükenmesi riskini doğurabilir ve biyolojik çeşitliliği daha kötü bir duruma sokabilir. Mercanların ölüm oranları % 95'lik bir artış gösterecektir.
- Bu öngörüler önümüzdeki 100 yıllık dönemi kapsarken, sera gazlarının atmosfere salınması bugün tamamen azaltılsa bile karbondioksit gibi gazlar uzun ömürlü olduğu için, insandan kaynaklanan iklim değişikliği ile ilgili kaygılar yüzyıllar boyunca sürecektir.
- Ancak, fırtınaların sıklık ve şiddetindeki artışlar, sel ve kuraklık gibi diğer anormal hava ve iklim olayları, büyük şehirsiz alanlardaki sıcak hava dalgaları, deniz seviyesindeki yükselmenin alçak

uzanımlı kıyı bölgelerine etkisi gibi olaylar insanlığın yakın zamanda karşılaşması olası tehditlerdir. Ayrıntılı yerel ya da havza düzeyli iklim değişikliği öngörülerini henüz erişilebilir olmamasına karşın, son yıllarda gözlemlenen değişikliklerin süreceği düşünülmektedir ve bu değişiklikler birçok yönden yaşamımızı etkileyecektir.

İklim değişikliğinin doğurduğu tehditleri karşılamaya yönelik planlama, gelecekteki olası olayların boyutlarının ayrıntılı olarak haritasının çıkarılmasını ve bu tehditlerle savaşmak için uygulanacak politikaların belirlenmesini gerektirmektedir. Gelecekte, teknolojik ilerlemelerdeki hızlanma ile belirsizlikler azalacak ve böylelikle iklimle ilgili yapılan çalışmalar da gelişecektir. Bu bakımdan, iklim sürecinin daha iyi anlaşılması, bilgisayar ve uydu teknolojisindeki gelişme, yerel ve bölgesel düzeyde daha iyi öngörülerin yapılmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda bilim adamları da, küresel ısınmanın engellenmesi için teknolojik çözümler üzerinde çalışmaktadırlar. Bir çok durumda, asıl konu bunların ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel açıdan da kabul edilebilir olup olmadıklarıdır. Şu anda, karbondioksit salımlarını azaltmanın en umut vadeden yolu yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

İklim değişimi karşısında takınılacak en gerçekçi tavır, değişen iklim koşulları altında yaşamayı, üretim yapmayı, su ve toprak kullanmayı öğrenmektir. Bunun yolu da hava, su ve toprak ortamını bozmadan, kirlenmeden kullanmayı öğrenmekten ve hepsinden önemlisi gelecek nesillerin yaşam hakkına saygı duymaktan geçmektedir.