

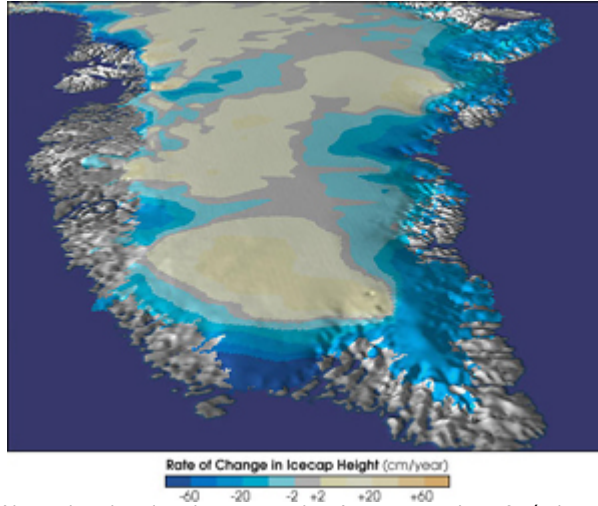
İKLİMLER İNSAN OLMADAN DA DEĞİŞEBİLİR

Prof. Dr. Şükrü ERSOY, YTÜ Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi, sersoy@yildiz.edu.tr

Son zamanlarda Dünyanın yakın geleceğini ilgilendiren atmosfer bileşimindeki değişim sonucu ortaya çıkan küresel ısınma konusunda Türkiye’de de bazı yazılar ve konuşmalar gündeme gelmeye başladı. Bilimle uğraşan bir insan olarak bu durumu çok sevindirici buluyorum ve “Yaşasın Popüler Bilim” diyorum. Bilim kültürüne sahip bir toplum olabilmenin yolu bence bilimin özendirilmesinden ve sadeleştirilmesinden geçer.

Küresel iklim değişiklikleri konusunda yapılan tartışmaları olumlu bulduğum kadar, bazı açılar açısından eksik de buluyorum. Genellikle meteorologlar, klimatologlar ve çevreciler tarafından tartışılan iklimin atmosferin kimyasındaki değişimler sonucu bozulduğu ve buna insanların neden olduğu biçimdeki görüş ve açıklamalarda, geçmiş jeolojik devirlerdeki iklimleri inceleyen paleoklimatolojik konular hep ihmal edilmektedir. Konunun bütünselliği açısından bu ciddi bir eksiklik. Çünkü, paleoklimatolojik yöntemler geçmişteki iklim değişimlerini jeoloji, jeofizik, jeomorfoloji, oşinografi, volkanoloji, paleontoloji, jeokimya vb gibi yerbilimleri disiplinleri yardımıyla ile sorgular. İklim kararsızlıkları günümüze kadar süregelen bir dizi olaydan meydana gelmektedir.

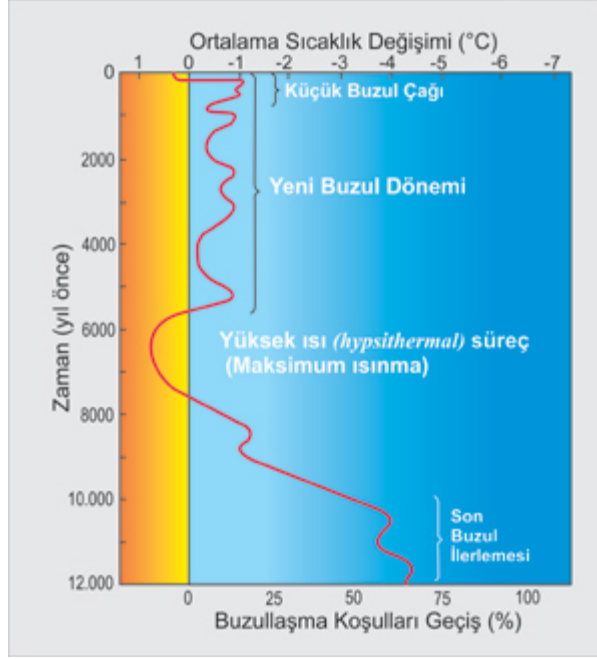
İklimdeki kalıcı ısınma ve soğumalara yol açan atmosferik değişimin nedeni, sadece insan kaynaklı sera gazlarının atmosfere yayılması değildir. Bunun bazı doğal nedenleri de vardır. Çünkü dünyanın oluşumundan, özellikle son 3.5 milyar yıldan beri bu değişiklikler sürekli olmakta ve iklimler değişmektedir. Jeolojik tarihte canlıların topluca yok olmalarına yol açan ekstrem iklim değişimleri tarihinde pek çok kez tekrarlanmıştır. Bu olayların büyük bir kısmında insanoğlu yoktur. Çünkü insanlar dünya tarihinin ancak son 3 milyon yılından sonra sahneye çıkmışlardır. Dünyanın ilk dönemlerindeki ilkel atmosfer bileşimi şimdikinden çok farklıdır. Organik çorba adı verilen anorganik karışımdan güneş ışınları ve elektriklenme yoluyla türememiş olan ilk canlılar (eobiyontlar), fotosentez yapamayan, ancak fermentasyonla yaşayan ilkel bitkilerdir. Paleontologlara göre, atmosferde yeterince oksijen bulunmadığı dönemlerde ortaya çıkan ilk basit hayvanlar, ilkel bitkilerin (alglerin) yarattığı bir çeşit “oksijen vahaları” etrafında yaşamışlardır. 4.5 milyar yıldan beri varolan Dünya’da canlı çeşitliliği, ancak atmosfer bileşiminin şimdiki bileşimine yaklaştığı son 600 milyon seneden sonra artmıştır.



İzlanda’da incelenmiş buzul şapkanın erime hızı (NASA’nın web sayfasından alınmıştır)

Yaşadığımız çağdaki değişimleri de içine alan son dönem iklim değişiklikleri aslında günümüzden 1.650.000 milyon (bazı bilim adamlarına göre 1.8 milyon yıl) önce Kuvaterner’de başlamıştır. Kuvaterner zamanının başı kabul edilen bu tarihten günümüze dek 4 adet büyük küresel buzul (glacial) dönemi ile bunların arasında sıcak iklimler (inter-glacial) yer almıştır. 18 000 yıl önce dünyayı kaplayan buzullar şimdiki 3 katı büyüklüğündeydi. O dönemde ormanlık alanlar azalmış, çöller artmıştı. Yaşadığımız dönem olan Holosen (latince “Holo” bütün, tam; “Cene” ise yeni anlamına gelmektedir) 10 000 yıl önce başlamıştır. Dünyadaki son buzulların erimeye başladığı dönem Holosen’in başlangıcı olarak kabul edilir. 8000 ile 5000 yılları arasında (Alt - Orta Holosen) ise atmosferdeki nem çok fazladır. Her yer ormanlarla kaplı olup, dünyada hemen hemen hiç çöl bulunmamaktadır. Şimdi ise sıcaklığın arttığı bir dönemde yaşamaktayız. Isınmaya bağlı olarak küresel deniz seviyesi de gitgide yükselmiştir. Son 7000 yıla kadar çok hızlı devam eden deniz seviyesi yükselimi (hatta Nuh tufanı bu paroksizmal dönemde olmuştur) günümüzde giderek yavaşlamıştır. Bu arada uzun buzul dönemleri yanında kısa süreli buzul dönemleri (örneğin, günümüzden 700 ile 200 yılları arasında) de yaşanmıştır.

Yukarıda açıklanmaya çalışılan doğal nedenli küresel iklim değişimleri son dönemlerde insanoğlunun yanlış faaliyetleri sonucu hızlanmıştır. Bunun nedeni ise fosil yakıtların çoğunu tüketen, Dünya nüfusunun % 15’ine sahip olan gelişmiş ülkelerdir. Endüstrileşmeyle birlikte CO₂, CH₄, N₂O, CFC-11, HCFC-22, CF₄ gibi zararlı sera gazlarının atmosfer içinde artması insanoğlunun iklim değişimine neden olduğu tek aktivite değildir. Fotosentez yoluyla atmosfer bileşiminin korunmasına katkı koyan ormanların yok edilmesi (hatta refugia denilen bir önceki jeolojik dönemlerin genetik şifrelerini taşıyan doğal orman örtülerinin kültür ormanlarıyla birlikte yok edilmesi), su kaynaklarının bilinçsizce, yanlış olarak -cömertçe- kullanımı sonucu bu kaynakların tükenmeye yüz tutması (örneğin, Türkiye’nin su kaynakları henüz yetersiz değildir, fakat bu kullanım şekliyle yakın gelecekte pek çok sorunlarla karşılaşabilir), toprakların tuzlanması, çoraklaşması, erozyon, çöllerin genişlemesi, aşırı otlanma, orman yangınları, ormanların ziraat alanlarına dönüştürülmesi, yanlış ziraat teknikleri, su kaynaklarının kirlenmesi, bunlara bağlı olarak biyolojik çeşitliliğin değişmesi, varolan kaynaklara kıyasla dünya nüfusunun hızla artması insan kaynaklı diğer sorunlar arasında sayılabilir.



Yakın dönem buzlaşmaları göstermektedir

Aslında, küresel iklim değişimlerinin pek çok önemli nedeni vardır. Bunların bir kısmı dünya dışı kaynaklı iken diğer bir kısmı da dünyadaki okyanus ve karalarla ilgilidir. Güneş ışınmalarındaki değişimler, dünyanın kendi eksenini ve güneşin etrafında izlediği ekliptik yörüngesindeki periyodik değişimler ile evrendeki toz bulutları, göktaşları en önemli dünya dışı etkenlerdir. Atmosfere yaydığı maddeler nedeniyle volkanik aktiviteler (tozlar, gazlar ve su buharı), küresel hava akımlarının geçiş yollarında bulunan dağ kuşakları, okyanusal ısı değişimleri, atmosferdeki kimyasal değişim, atmosferin ve yeryüzünün albedosu ile kıtaların hareketi küresel iklim değişimini etkileyen dünya kaynaklı faktörlerdir.

İKLİMİ DEĞİŞTİREBİLEN DOĞAL MEKANİZMALAR

Milyonlarca yıldan beri hüküm süren dünya iklim koşulları, Kuvaterner'de yavaş yavaş değişerek soğumaya başlamıştır. Soğuk dönemlerde, deniz seviyesinde ani bir düşüş yaşanırken, dağlardaki orman sınırları daha aşağı seviyelere inerek yeşil alanların yerini almıştır. Buzul kütlelerinin genişlemesiyle birlikte buzul çevresi (peri-glacial) bölgelerde şiddetli, soğuk, tozlu rüzgarlar esmeye başlamıştır. Bu sıralarda, ateşle tanışan insanoğlu, taşlardan alet yapmasını öğrenmiştir. Ardından, Holosen döneminde tarımı ve hayvancılığı öğrenmiştir. Yazının bulunmasıyla birlikte ortaya çıkan gelişmelerle birlikte insanoğlu dünyaya egemen olmuştur.

Kuvaterner dönemi ile ilgili araştırmalarda uzun vadeli çevresel eğilimler nedir? ve bunlardan hangi küresel süreçler sorumludur? sorularıyla işe başlamak gerekir. Grönland ve Antarktika gibi devasa buzul bölgelerinin milyonlarca yıl sonra modern boyutlarına ulaştığı Kuvaterner dönemine kadar, Batı Avrupa, İskandinavya ve Kanada bölgelerindeki büyük buz kütlelerinin nasıl yok olduğunu açıklayan tüm hipotezlerin iyi anlaşılması gerekmektedir.

Yeni karaların ya da okyanusların meydana gelmesine neden olan büyük kıta hareketleri, okyanus akıntılarının dolaşımı ve dolayısıyla ısı transferini yakından etkilediğinden küresel iklim sıcaklığının dengelemesinde en önemli rolü oynamaktadır. Örneğin, Meksiko körfezinde dolaşan akıntı sistemi, düşük enlemlerdeki sıcak suyun kutuplara doğru taşınmasına yardımcı olarak, yüksek enlemlerdeki bölgesel sıcaklıkların dengelemesine katkıda bulunmaktadır. Ama aynı bölgede, 3 milyon yıl önce, Panama boğazı açıkken farklı bir dolaşım sistemi egemen olmuştur. Panama boğazının tektonik olarak kapanması sonucu değişen akıntı sistemine başka örnek olarak Güney Amerika ve Antarktika arasındaki Drake Boğazı ile Avustralya ve Antarktika arasındaki Büyük Güney Okyanusu boğazlarının açılmasını gösterebiliriz. Belli bir zamana kadar ormanlarla kaplı ve buzullar az olduğu Antarktika bu geçitlerinin tektonik olarak açılmasından sonra soğumaya başlamıştır. Panama Kanalı gibi okyanusal giriş yollarının kapanması ya da açılması denizel canlı topluluklarının (biyota) yaşam ortamlarını ciddi bir şekilde etkilemektedir.

Kıtaların hareketi sonucu karaların ekvatorial bölgelerden ziyade kutup alanlarında toplanmaları bile küresel ölçekli büyük buzullaşma döneminin gelişebilmesi için önemli bir etkidir. Böylece, bir bölgede buz birikimi için gerekli olan albedo geri beslemesi sağlanır ve soğuma artışıyla birlikte buz birikimi artabilir.

Okyanus ve karaların şekillenmesindeki değişiklikler rüzgar ve okyanus akıntıları da etkileneceğinden de iklimi de değiştirebilir. Çünkü, yeryüzü-atmosfer-okyanus sistemindeki ısı dağılımları da küresel ve bölgesel iklimler için çok önemlidir. Büyük ve yüksek dağ kuşakları, özellikle de meridiyensel olarak düzgün sıralanmışlarsa, kutuplardan gelen havanın sapmasına, böylece atmosferik dolaşım sisteminin uzun dalga yapısını değişmesine neden olabilir. Bu da, karlanmaya ya da buzulların kalıcı olmasına yol açabilir.

Gerek kıtaların hareketi ve gerekse buzulların ergimesi sonucu deniz alanlarının genişlemesi ve kara alanlarının azalması albedonun düşmesine ve küresel ısınma eğilimlerinin artmasına neden olmaktadır.

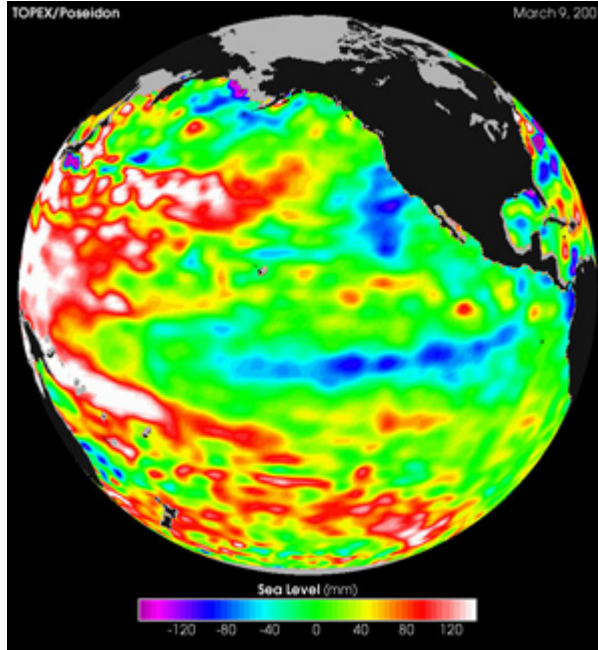
Volkanik aktiviteler de atmosfere su buharı, ince partiküller (küller), SO₂, CO₂, NH₄ vb gibi gazlar yaydığından yine küresel iklimi değiştirebilmektedir. Volkanik kökenli tozlar atmosferin kimyasını değiştirmesi yanında güneş ışınlarının yeryüzüne gelişini engelleyeceğinden albedo geri beslemesiyle ısının düşmesine yol açabilir.

Kuvaterner dönemdeki çevresel değişkenliğin karmaşık bir nedenlerinden biri de buzulların erimesidir. Karasal buz, tabii ki tuz içerdiği olmayan bir buzdur. Kuvaterner'de, buzul çağları gelişirken, okyanuslardaki buharlaşma tatlı suyun azalmasına ve okyanuslardaki suyun da daha tuzlu hale gelmesine neden olmuştur. Her bir buzlanma döneminin ardından, karasal buzlar eriyerek çok büyük miktarda tatlı suyun okyanusa karışmasına yol açar. Yoğunluğu deniz suyundan düşük ve tuzsuz olan erime suları, okyanusların üst kısımlarında

tabakalanmaya neden olur. Bu da alt tabakalarda oksijenin ve biyolojik üretimin kısıtlanmasına yol açabilir. Daha da önemlisi, eriyen su deniz suyu tuzluluğunun ani olarak düşmesine; kutuplara doğru giden ve orada batan yüzey suyunun güçlü akıntılarının zayıflamasına ve de dipteki su dolaşımının güçlenmesine sebep olmaktadır. Normalde, bu akıntılarda sürekli olarak buharlaşmanın meydana gelmesi sonucu içindeki tuzluluk artmakta ve su yoğunlaşmaktadır. Bu durumda yüzeydeki sular çökerek dipte bir akıntının oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek enlemlerde, kıyılara kadar gelip, okyanuslara karışan erimiş sular okyanuslardaki dolaşımın zayıflamasına ve değişmesine yol açar. Bu mekanizma aynı zamanda, yer yüzeyindeki ısının taşınmasına da yardımcı olmaktadır.

Kuvaterner dönemindeki iklim kararsızlıklarında bitkilerin de önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. Bilindiği gibi bitkiler fotosentez yoluyla atmosferdeki CO₂ ve O₂ dengesine önemli katkı yapmaktadır. Buzul dönemlerinde, ısının düşmesiyle birlikte karalar soğumuş ve genişlemiş; deniz seviyesi ise alçalmıştır. Bu yüzden karasal alanların % 15 daha büyümesi bitkiler için daha geniş bir yaşam ortamı yaratmıştır. O dönemlerde, yeryüzündeki büyük değişimlere uğrayan bitki kuşaklarının var olduğu söylenebilir. Buzla kaplı olan geniş alanlar dışında, yeni oluşan geniş kıtasal şelf alanları önemli ölçüde bitki örtüsüyle kaplıydı. Geniş alanları işgal eden bitki toplulukları (Ormanlık ve otluk alanlar gibi) önemli miktarda karbonun depolanmasını da sağlamıştır. Ekvatorial kuşaklarda ve göreceli olarak ılık olan düşük enlemlerde, şelf alanlarını kaplayan ormanlar, atmosferden daha fazla CO₂ alınmasına da neden olmuştur. Bu da soğumayı ve biyolojik kütle (biomass) miktarını arttırmıştır.

Bitkilerin başka rolleri de vardır. Buzul dönemlerinin son bulması sonucu denizlerin ilerlemesi (transgresyon) süresince, kıta şelflerindeki bitki toplulukları su ile örtülerek hem karbon depolanmasına, hem de biyolojik üretimi azaltan oksijensiz koşulların oluşmasına neden olmuştur.



Isınan okyanusal yüzeyleri gösterir küresel harita (NASA'nın web sayfasından alınmıştır.)

Jeolojik geçmişte bitkilerin arttığı dönemler nemin ve karalardaki kimyasal ayrışmaların da hızlandığı dönemlerdir. Bu durum atmosferdeki CO₂ seviyesinin düşmesine ve dolayısıyla da küresel soğumasına yol açabilir. Kuvaterner'deki soğuma hızı, karadaki bitki değişimlerinin etkisiyle de ilişkili olabilir. Bu etkileşim içerisinde hidroloji, albedo gibi diğer faktörlerin devreye girmektir. Bazı yeşil yapraklılar dışında Boreal ormanları, tamamen karla örtülmezken, tundra sahaları Kuvaterner soğuma dönemlerinde giderek ormanlarla yer değiştirdiğinden tamamen karlarla kaplanmış ve karın albedosuna kendisini uyarlamıştır. Bu durumda karlar, bahar aylarında bile kalabilir. Bunun sonucunda oluşan pozitif geri besleme soğumayı hızlandırabilir. Bu tip etkilerle bitkiler, Tersiyer döneminde iklimin 1.9°C kadar soğumasına neden olmuştur.

Kuvaterner'de meydana gelen sıcak ve soğuk fazlar dönemsel olarak, yani yaklaşık 21 (kaynaklarda bu değer 19 ile 26 bin arasında değişmektedir), 41 ve 100 bin yıllık periyotlarda düzenli olarak tekrarlanmaktadır. Özellikle Kuvaterner'in son dönemdeki iklim değişimleri ile yörüngesel parametreler arasında bir çakışmanın olması, son birkaç milyon yılda iklimsel değişimler üzerinde temel kontrolün güneş ısısındaki değişimlerin olduğuna işaret etmektedir (Milankovich hipotezi). Bu mekanizma oldukça karışık ve birçok döngü içermektedir.

Görüldüğü gibi çok küçük değişim mekanizmaları bile önemli iklim değişimleri meydana getirebilmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yaşadığımız dönem (Holosen), Kuvaterner'in sıcak ya da buzul arası dönemi olmasına rağmen kutuplarda halen kara buzulları bulunmaktadır. Kuvaterner buzul dönemlerinde, karasal buzulların boyutları çok büyümüştür. Bu büyüme küresel albedonun artmasına neden olmuşsa da hiçbir zaman buzullar karaları tamamen kaplayamamıştır. Kuvaterner'deki iklim değerleri günümüzdeki değerlerden sadece 5-9°C kadar daha soğuk olduğundan iklim değişkenlikleri de sınırlı kalmıştır. Bu nedenle bu döngüyü engelleyen negatif bir geri besleme mekanizması olmalıdır. Örneğin, sıcaklık yükselmesini sınırlayan Dünya'nın kendi radyoaktif soğuması ya da küresel ısınmadaki her bir artı derece için dünya-atmosfer-okyanus sisteminde çok daha fazla ısının tutulmasını gerektiren olası bazı mekanizmaların hesabı katılması gerekir. Bu durum, 5°C'den fazla ısınmayı engellemektedir. Negatif geri beslemenin soğumayı sınırlandırması için, buzul çağındaki soğuk okyanuslardan havaya daha az nem bırakmış olması gereklidir. Dolayısıyla karadaki buzul kütleleri nemsiz kalmışlar ve büyüyememiş olabilirler. Ancak bu durum hakkında kesin bilgiler mevcut değildir. Dünya tarihinde ekvatora yakın kesimler bile buzullar altında kaldığı dönemler vardır.

Kuvaterner değişkenliğinin bir başka özelliği de, değişimdeki asimetriyidir. Buzlanma dönemine geçiş süreci yavaş olurken ısınma dönemi çok daha hızlı gelişmektedir. Buzlanma ve onun ara dönemlerini gösteren eski sıcaklık eğrilerine baktığımızda onların testere dişi gibi

zigzaglı grafik gösterdiğini görürüz. Bu durum pozitif geri besleme mekanizmaları nedeniyle oluşmaktadır ve bu mekanizma, çözülme döneminde ortaya çıkmıştır, fakat soğuma dönemlerinde rol oynamamaktadır.

Görüldüğü gibi insan etkisi olmadan da iklimlerin doğal nedenlerle değişebileceği özellikle Kuvaterner'deki küresel soğuma varlığı verilerle kanıtlanmıştır. Ancak günümüzde bu iklimsel bozulmanın nedenlerini sonuçlarından ayırmak pek mümkün olmamaktadır. Şüphesiz, bu değişikliklerde yerküredeki tektonik hareketlerin, volkanların, karaların ve denizlerin dağılımlarının, bitki topluluklarındaki evrimleşmenin değiştirdiği küresel karbon çevriminin de çok önemli etkileri bulunmaktadır.

Özellikle Kuvaterner'in son dönemimdeki iklim değişimleri ile yörüngesel parametreler arasındaki mükemmel bir uyuşmanın olması, son birkaç milyon yılda iklimsel değişimler üzerinde temel kontrolün güneş ısısındaki değişimlerin olduğuna hemen hemen şüphe bırakmamaktadır. Fakat, yörüngesel karakteristiklerden doğan güneş ısısındaki küçük değişimlerin, küresel buzul ve buzul-arası dönemlere nasıl dönüştüğünün kesin mekanizması halen çözülebilmemiş değildir. Keza, bu soruyu soğumanın ya da ısınmanın hızını tayin eden ve iklimsel değişimlerin büyüklüğünü sınırlayan mekanizmaların neler olduğu hakkında da sorabiliriz.

NOT : Hacim sınırlaması nedeniyle bu konuda yararlanılan kaynaklar yazıya eklenememiştir.