



# İKLİM VE İKLİM DEĞİŞMELERİ

## TAŞLARDAKİ KAYITLAR

Bu yazı, 2008 Uluslararası Yer Yılı kapsamında  
UNESCO Türkiye Milli Komisyonu Yerbilimleri İhtisas Komitesi tarafından  
TÜBİTAK'ın desteğiyle yayımlanan  
eğitim broşürü temel alınarak hazırlanmıştır.

## Dünya iklim sistemi

İklim, doğrudan ve dolaylı etkileşimiyle doğal çevreyi biçimlendiren ve tüm canlıların yaşam koşullarını belirleyen en önemli coğrafi unsurlardan biridir. Yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan hava koşullarının ortalama özelliği olarak tanımladığımız iklim, ortalamalar yanında aşırı (ekstrem) değerler ile iklim elemanlarındaki değişkenlik ve değişimler yönünden de değerlendirilir.

İklim denince aklımıza ilk gelen atmosferdir. Ancak iklim koşullarını belirleyen, iklimin alansal ve zamansal olarak değişmesine yol açan tek faktör atmosfer değildir. İklim, atmosfer yanında, hidrosfer (yeryüzündeki okyanuslar ve denizler), kryosfer (karbuz örtüsü), litosfer (taşküre) ve biyosfer (canlılar) arasındaki karşılıklı ilişkilerle belirlenen, karmaşık yapıya sahip bir sistemdir. Tüm sistemlerde olduğu gibi, Dünya iklim sistemi de kendisini oluşturan bileşenlerden herhangi birinde meydana gelen en kü-

çük bir değişiklikten etkilenir. Yıldan yıla sıcaklık, yağış gibi iklim elemanlarının uzun yıllar ortalamalarına göre gösterdiği farklılıklar "değişkenlik" olarak tanımlanır. Buna karşılık daha uzun zaman ölçeklerinde küresel olarak iklim elemanlarının ortalamalarında veya değişkenliğinde gözlenen artış veya azalış yönündeki eğilimler "iklim değişimleri" olarak tanımlanır.

İklim sistemi 4,6 milyar yıllık jeo-



lojik geçmişinde Dünya'nın yörüngesel hareketleri, Güneş'in uzaya yaydığı enerji miktarı ve atmosferin bileşimindeki değişiklikler ve yerkabuğunda meydana gelen hareketlere bağlı olarak birçok kez değişmiştir. Son 2 milyon yıl boyunca (Kuaterner: Dördüncü Zaman) yaşanan buzul ve buzularası çağlar, küresel ölçekte iklimin değiştiği zamanlara örnek gösterilebilir. Başta insan olmak üzere tüm canlıların evrimi ve yeryüzünde dağılımları, iklim değişimlerinden büyük ölçüde etkilenmiştir. Günümüzde de tüm teknolojik gelişmelere rağmen iklim, doğal çevre koşullarını ve bununla bağlantılı olarak insanın yeryüzünde dağılımını, sağlığını, başta tarım olmak üzere her alandaki etkinliklerini belirleyen en önemli etmendir. Geçmişte olduğu gibi gelecekte de iklim koşulları yaşamımızı şekillendirmeye devam edecektir.



İklim sisteminde değişmeye yol açan esas neden, Dünya'nın enerji bilançosunu değiştiren süreçlerdir. İklim sistemi Güneş'ten alınan enerji ile işler. Her yıl gezegenimizin Güneş'ten aldığı enerji miktarı ile uzaya geri verdiği enerji birbirine denktir. Böylece Dünya'nın sıcaklığı bir dengede kalır. Dünya'nın Güneş'ten aldığı enerji ile uzaya geri verdiği enerji arasındaki fark, ışımsal zorlama olarak tanımlanır. Pozitif zorlama Dünya'nın ısınması, negatif zorlama ise soğumasıyla sonuçlanır. Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinde, atmosferin bileşiminde ve Güneş etkinliklerinde görülen değişimler Dünya-atmosfer sisteminin enerji bilançosunu negatif veya pozitif yönde etkileyen ışımsal zorlamaları yaratan süreçler olarak tanımlanabilir. Ancak doğrudan Dünya'nın enerji bilançosunu etkilemediği halde iklim değişimine yol açan süreçler de vardır. Örneğin, levha tektoniğine bağlı olarak gerçekleşen orojenez (dağ oluşumu) veya kıtaların yer yüzündeki coğrafi dağılımlarında gerçekleşen değişimler, doğrudan Dünya'nın enerji dengesini etkilemediği için ışımsal olmayan zorlamalar olarak değerlendirilebilir.

İklim sisteminde değişime yol açan en önemli faktör, Dünya'nın yörüngesel değişimleridir. Milankoviç Döngüleri adı verilen bu değişimlerin ilki, 100.000 yıllık bir döngü içinde Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinin daireye yakın bir şekilden elipse benzer bir şekle dönüşmesidir. Dünya'nın Güneş'ten olan uzaklığını belirleyen bu döngüye bağlı olarak Güneş'ten alınan enerji miktarı % 0,2 oranında değişir. İkincisi, Dünya'nın dönme ekseninin eğikliğinin yaklaşık 41.000 yılda 22,1° ile 24,5° arasında değişmesidir. Bu değişim Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın aldığı güneş radyasyonunun mevsimlere göre dağılımını etkiler. Eksen eğikliğine bağlı olarak yüksek enlemlerde (örneğin 65°N) Güneş'ten alınan enerji miktarı yaklaşık % 10 değişebilir. Üçüncüsü ise Dünya'nın yörünge ekseninin yalpalaması anlamına gelen presesyon

hareketidir. Presesyon hareketi, yaklaşık 22.000 yıllık bir döngü süresinde mevsimlerin başlama tarihlerini değiştirir. Eksen eğikliği ve presesyon hareketinin ortak etkileri sonucu değişen mevsim uzunlukları, yüksek enlemlerde mevsimlik olarak alınan enerji miktarında % 30'u bulan değişimlere neden olabilir.

Ancak iklim değişimlerinin tek sorumlusu yörüngesel değişimler değildir. Bir yıldız olarak Güneş'in uzaya yaydığı radyasyonun şiddeti jeolojik çağlar boyunca değişkenlik göstermiştir. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji miktarında, en kısıtı 11,1 yıl olmak üzere periyodik olarak değişiklik yaratan nedenlerin başında güneş lekeleri gelir. Güneş lekeleri ve bu lekelerin çevresinde oluşan güçlü manyetik alanlarda gerçekleşen güneş patlamaları sırasında, Güneş çok daha fazla morötesi (ultraviyole) ve görünür dalga boyunda radyasyon yayar, bu durum iklim koşullarını etkileyerek bazı bölgelerde sıcak-kurak bazı bölgelerde soğuk-nemli koşullara yol açar. Güneş lekeleri ile ilgili gözlemler 1749 yılında Zürih Rasathanesi'nde başlamıştır ancak, kesintisiz kayıtlara 1849 yılından itibaren ulaşılabilir. Gözlemlerin yapılmadığı yıllara ait güneş lekeleri ile ilgili önemli bilgiler ise buzul örnekleri ve ağaç halkalarından elde edilen kanıtların analizi ile sağla-

nır. Buzullardan alınan örneklerdeki berilyum-10 konsantrasyonu bu tip analizlere örnek gösterilebilir. Berilyum-10, kozmik ışınların Dünya atmosferindeki partiküllere çarpması sonucu üretilir. Oluşan izotoplar yeryüzüne düşerek buzullarda depolanır. Güneş'in daha aktif olduğu dönemlerde uzaya yayılan kozmik ışınlar Dünya atmosferindeki berilyum-10 konsantrasyonunun artmasına yol açar. Benzer şekilde ağaç halkaları, mercanlar ve karbonatlı mağara depolarında radyokarbon (14C) konsantrasyonu oranı dikkate alınarak gözlemlerin yapılmadığı dönemlerdeki güneş lekelerindeki değişimi saptamak mümkündür. Elde edilen paleoklimatik kanıtlar ve tutulan kayıtlar incelendiğinde, leke sayılarının azaldığı veya arttığı birçok dönem ayırt edilebilir. Örneğin, 8000 yaşındaki bir tür çam ağacından alınan veriler, 1100 ile 1250 yılları arasında güneş lekeleri sayısının arttığını göstermektedir. Bu dönemin, Dünya'da bazı bölgelerde sıcaklıkların yükseldiği "Sıcak Ortaçağ" ile ilişkili olduğu düşünülüyor. Benzer şekilde 1645-1715 yılları arasında "Maunder Minimumu", 1795-1820 yılları arasında ise "Dalton Minimumu" olarak adlandırılan dönemlerde güneş lekeleri sayısında belirgin azalmalar yaşanmıştır. Yapılan çalışmalar, güneş lekelerindeki Maunder ve Dalton mini-



umları ile Kuzey Yarımküre’de sıcaklıklarda düşme eğiliminin yaşandığı “Küçük Buzul Çağı” adı verilen dönemin en soğuk yılları arasında belirgin bir ilişki olduğunu gösteriyor.

Atmosferde bulunan sera gazları ile katı parçacıkların (aerosol) miktarında meydana gelen değişimler, Dünya’nın enerji bilançosunu belirlemesi açısından iklim değişmelerinin diğer nedenlerinden biri sayılabilir. Dünya’nın yaydığı enerjiyi soğurarak, yeryüzünde sıcaklıkların düşmesine engel olan ve bu nedenle sera gazları olarak adlandırılan su buharı, karbondioksit ve metan gibi gazların oranı iklim değişmeleri bakımından ayrı bir yere sahiptir. Atmosferdeki sera gazlarının oranları, levha tektoniği, volkanizma veya biyolojik olayların hızı gibi faktörlere bağlı olarak doğal yollarla değişir. Buzullardan alınan örnekler geçmişte buzul çağlarının başlarında atmosferdeki sera gazları miktarlarının azaldığını, buzullar geri çekilirken arttığını gösteriyor. Vostok (Antarktika) buzul kayıtları, buzul çağları boyunca atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikiminin 180 ppm, metan birikiminin 320-350 ppb, buzularası çağlarda ise CO<sub>2</sub>’in 280-300 ppm, metanın ise 650-770 ppb arasında değiştiğini işaret ediyor. Dünya’nın yörüngesel hareketlerine bağlı olarak oluşan buzul çağları ve buzularası çağlarda atmosferdeki sera gazlarının bir geri besleme mekanizması olarak iklim sisteminin yeni bir dengeye kavuşmasında önemli rol oynadığı düşünülüyor.

Büyük miktarlarda katı maddenin ve gazların açığa çıktığı volkanik faaliyetler, çok uzun süreli olmasa da iklim koşullarını küresel ölçekte değiştirme potansiyeline sahiptir. Volkanik patlamalarla atmosfere karışan sülfür dioksit, oksijen, tozlar, nem ve güneş ışığı ile reaksiyona girerek sülfür dioksite, çok küçük sülfirik asit damlacıklarına (yaklaşık 0,1 mikrometre çapında) ve diğer sülfat bileşiklerine dönüşür. Atmosferde yaklaşık 2 yıl asılı durumda kalabilen sülfirik asit damlacıkları ve diğer katı sülfat parçacıkları, volkanik patlamalar sonrası yer-

yüzünden 15-25 km. yukarıda bir tabaka oluşturur. Bu tabaka, güneş ışınlarını uzaya geri yansıttığı için yeryüzünde iklim koşulları değişir. Grönland ve Antartika’dakiler başta olmak üzere buzullardan ve derin deniz çökelmelerinden alınan örneklerle, ağaçların yıllık büyüme halkalarının incelenmesiyle ve insanların tarımsal amaçla tuttıkları yıllıklardan, geçmişteki büyük volkanik patlamaları ve iklim üzerindeki etkilerini belirlemek mümkündür. Örneğin, MÖ ikinci bin yılda Ege Denizi’ndeki adalardan biri olan Santorini’de gerçekleşen şiddetli volkanik patlamanın gerçekleştiği tarih, ABD’de ağaçların büyüme halkalarından MÖ 1626-1628, İrlanda’nın kuzeyindeki bataklıklardan çıkarılan kava ağaçlarının büyüme halkalarından MÖ 1628, Grönland’ın güneyinden alınan buzul örneklerinden MÖ 1645 olarak belirlenmiştir.

Dünya tarihinde levha tektoniğine bağlı olarak gerçekleşen orojenik olaylar (dağ oluşumu) ve karaların coğrafi dağılışlarında meydana gelen değişimler küresel iklim sisteminin büyük ölçüde etkilemiştir. Öncelikle yüksek dağ sıraları, özellikle kuzey-güney uzanışlı olanlar, atmosfer dolaşımında değişikliklere yol açar. Yüksek dağların iklim sisteminde yarattığı bir başka etki, gezegenin albedo değerleri üzerinde görülür. Dağlarda yükseklikle birlikte azalan sıcaklıklar, yağışların kar şeklinde düşmesine ve erimeden uzun süre yerde kalmasına olanak tanır. Bu durum Dünya’nın yansıma nedeniyle daha çok enerji kaybetmesine ve soğumasına yol açar. Dağ oluşumu aynı zamanda Dünya’daki karbon döngüsünü, dolayısıyla atmosferdeki en önemli sera gazlarından biri olan CO<sub>2</sub> miktarını da etkiler. Levha tektoniğinin bir başka önemli sonucu da onlarca hatta yüz milyonlarca yıl süren bir süreç sonunda yeryüzünde karaların coğrafi dağılışlarının ve boyutlarının değişmesidir. Yeryüzünde karaların yüksek enlemlerde toplanmasının, kar-buzla kaplı alanların genişlemesine olanak tanıdığı ve böylece Dünya’nın albedo-

sunun artarak buzul çağlarının oluşumunu kolaylaştırdığı düşünülüyor. Ayrıca kıtaların konumu, ekvator ile kutuplar arasında enerji taşınımını sağlayan okyanuslardaki akıntı sistemlerini de belirler.

İklim sisteminin oluşturan bileşenlerin (atmosfer, hidrosfer, kryosfer, biyosfer) birbirlerine madde ve enerji akışı ile bağlı olması, iklim sisteminin çok hassas bir dengeye sahip olmasına yol açar. Herhangi bir nedenle başlayan değişimin etkisi, sistemi oluşturan bileşenlerden diğerine aktarıldıkça özellik ve ölçek bakımından değişir. Bazı durumlarda başlayan değişimin etkisi güçlenir (pozitif) bazen de azalır (negatif). İklim sisteminde başlayan değişimi daha da artıran veya azaltan süreçlere geri besleme mekanizmaları adı verilir. Örneğin yörüngesel değişikliklere bağlı olarak Dünya’nın daha fazla güneş enerjisi alıp ısınmaya başladığı buzullarısı çağlarda, yüksek enlemlerde yer alan ve çok yüksek albedo değerine sahip buzullar erimeye başlamakta, açığa çıkan koyu renkli zeminler ise buza göre daha fazla güneş radyasyonunu soğurmaktadır. Bu durum yörüngesel değişikliklere bağlı olarak başlayan ısınma eğiliminin şiddetlenmesi anlamına gelir. Sonuçta yükselen sıcaklıklar nedeniyle daha çok kar-buz örtüsü erir. Bunun tam tersi olan durumda, yani küresel ölçekte sıcaklıkların azalmaya başladığı buzul çağlarında, yüksek enlemlerde kar-buzla kaplı alanlar genişler. Kar/buzun yüksek albedo değeri nedeniyle yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun çok az bir bölümü soğurulabilir ve bunun sonucunda soğuma eğilimi daha da şiddetlenir. Kar-buz örtüsünün oluşturduğu bu durum iklim sisteminde pozitif geri beslemenin bir örneği olarak gösterilebilir.

Bütün bu nedenlere bağlı olarak iklim tüm zaman ölçeklerinde Milankoviç Döngülerinde olduğu gibi, periyodik veya çok büyük volkanik patlamaların gerçekleştiği dönemlerde olduğu gibi rasgele değişir.

## Dünya iklim sistemindeki değişimler yeryüzünde kayıtlıdır

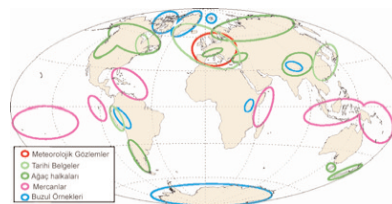
İklim sistemi, kendisini oluşturan atmosfer, hidrosfer, kryosfer, biyosfer ve litosfer arasındaki karşılıklı bağımlılık ve ilişkiler nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olaylara bağlı olarak şekillenen ve zaman içinde değişen iklim sistemine, 19. yüzyıldan itibaren daha belirgin olmak üzere insanların yürüttüğü faaliyetlerden kaynaklanan etkiler eklenmiştir. Günümüzde giderek önem kazanan konulardan biri, hem doğal olaylar hem de insan etkisiyle şekillenmekte olan iklim sisteminin, geçmişte niçin ve nasıl değiştiğini bilmek, bu değişimin doğal çevre üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu konuda elde ettiğimiz her bilgi, geleceğimizi öngörmeyi ve yaşamımızı buna göre planlamayı kolaylaştıracaktır.

İklim konusundaki çalışmalarda veri elde edebilmek için ilk başvurulan kaynak meteorolojik gözlemlerdir. Ancak düzenli meteorolojik kayıtlar, insan etkisinin ağır bastığı son birkaç yüzyıl gibi çok kısa bir zaman dilimini kapsar. Bu nedenle Dünya tarihinde yaşanan iklim değişimlerinin saptanmasında, bu değişimlerin yerkürede fiziksel ya da kimyasal olarak bıraktığı kanıtlardan yararlanır.

Geçmiş iklimlerin doğal arşivi olarak nitelendirilebileceğimiz bu kanıtları, buzullar içinde hapsolmuş hava kabarcıklarında veya okyanusların tabanında biriken çökellerin içinde bulmak mümkündür. Doğa tarihinin arşivini oluşturan bu kanıtlar üzerinde yürütülen çalışmalar ile geçmiş bugüne aktaran veriler elde edilir ve artık var olmayan iklimler tekrar kurgulanabilir. Her biri ayrı bir uzmanlık alanı olan palinoloji, dendrokronoloji gibi disiplinler tarafından incelenen ve yorumlanan bu izlerin elde edildiği başlıca kaynaklar şöyle sıralanabilir:

İklim Arşivi	Ölçümler	Elde edilen veriler
Meteorolojik gözlemler	Aletler ile	Sıcaklık, yağış, basınç
Tarihi kayıtlar	Almanak ve günlükler	Sıcaklık, yağış, fırtınalar
Ağaç halkaları	Genişlik Yoğunluk İzotoplar	Sıcaklık Yağış Sıcaklık
Buzul örnekleri	Birikim Erime tabakaları İzotop oranları Kimyasal bileşim	Yağış Sıcaklık Sıcaklık, yağış, atmosfer dolaşımı
Mercanlar	Büyüme halkaları İzotop oranları Kimyasal bileşim	Deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk Deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk Deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk
Karbonatlı mağara depoları	Birikim hızı İzotop oranları	Yağış Sıcaklık, yağış
Göl tortulları	Birikim hızı Biyolojik özellikleri Bileşimi/polen	Sıcaklık Sıcaklık, yağış
Derin okyanus tortulları	Birikim Biyolojik özellikleri bileşimi/polen	Yağış Sıcaklık, yağış

Bunların yanında yer şekilleri, lös depoları ile fosil toprakların (paleosoller) incelenmesi de geçmişteki iklim değişimleri konusunda ayrıntılı bilgiler sunar. Örneğin moren setleri ve U şekilli vadiler gibi yer şekilleri buzulların, fosil topraklardaki kırmızı killer ise sıcak-nemli iklim koşullarının göstergesidir.



Şekil 1: Dünya'da sıcaklık ölçümleri 17. yüzyılın ilk yarısında termometrenin icadı ile yapılmaya başlamıştır. Bu tarihten öncesine ait sıcaklık verileri buzul örneklerindeki oksijen izotop oranları, ağaçların veya mercanların büyüme halkaları gibi çeşitli paleoklimatik çalışmalardan elde edilen veriler ile hesaplanmaktadır (Kaynak: Jones, Osborn, Briffa, 2001).

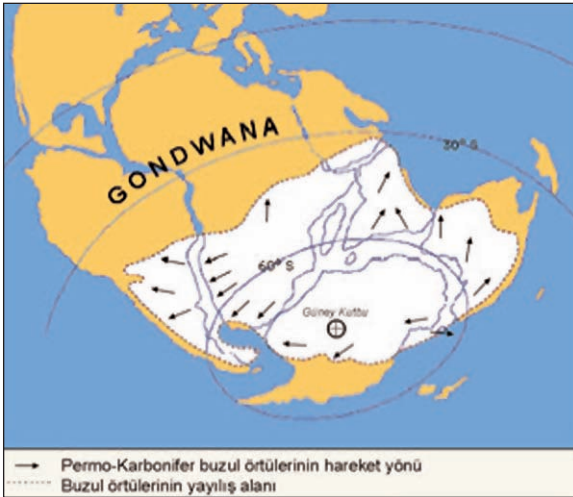
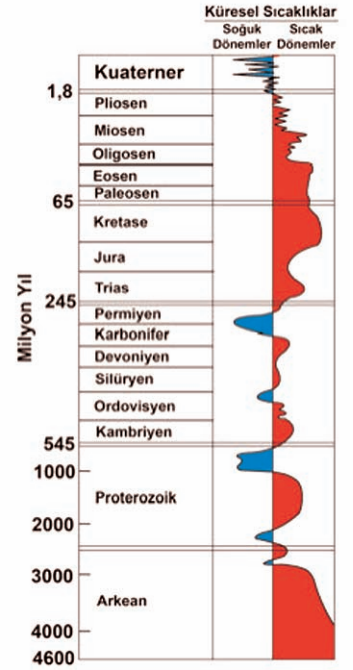
## Kartopu ve Sera Dünya

Son yıllarda derin deniz tortuları ve kayalar üzerinde yapılan jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal araştırmalar, Dünya tarihinde çok daha eski dönemlerde meydana gelen iklim değişimlerine ilişkin önemli bilgilerin elde edilmesine olanak tanımıştır. Bu bilgilerin en şaşırtıcı yanı, Dünya'nın bazı dönemlerde ekvatora kadar buzullarla kaplanıp bir "kartopuna", bazı dönemlerde ise aşırı ısınarak bir "seraya" dönüşmesidir.

Özellikle canlıların evriminde ve yeryüzünün şekillenmesinde büyük rol oynayan buzul çağlarından belirlenebilen en eskisi günümüzden 2,9 milyar yıl öncesine karşılık gelir. Alçak enlemlerde buzullara ait jeolojik ve jeomorfolojik izler, okyanuslarda demir formasyonları içeren çökeller ve deniz suyundaki karbon izotop oranlarındaki değişim, Dünya tarihindeki en şiddetli buzul çağının yaklaşık 750 ile 580 milyon yıl önceki zaman aralığında dört veya beş evre halinde yaşandığını gösterir.

"Kartopu Dünya/Kryojen" olarak adlandırılan bu çağda, buzulların 11° enleme kadar ilerleyerek ekvatora yaklaştığına ve Dünya'da biyolojik olaylarda uzun süren bir azalmanın yaşandığına dair kanıtlar vardır. Ordovisyan sonu ile Silüryen dönemi boyunca (460' tan 430 milyon yıl öncesine kadar) Dünya And-Sahra olarak adlandırılan küçük bir buzul çağı yaşamıştır. Karoo buzul çağının ise Karbonifer ve erken Permiyen dönemleri boyunca yaklaşık 80 milyon yıl (340'tan 260 milyon yıl öncesine kadar) boyunca etkili olduğu ve bu dönem içinde buzul ve buzullararası çağların birbirini izlediği düşünülüyor. Karoo buzul çağı ile ilgili ilginç özelliklerden biri de buzulların oluşturduğu depolara Hindistan, Güney Afrika, Güney Amerika ve Avustralya gibi sadece Güney Yarımküre karalarında rastlanmasıdır. Bu durum 280 ile 300 milyon yıl önce bu kıtaların Güney Kutbu'na yakın bir konumda tek bir dev kıta (Gondwana) oluşturması ile açıklanıyor.

Şekil 3: Son iki milyon yılı kapsayan Kuaterner ile karşılaştırıldığında, Dünya tarihinin % 90'ını oluşturan ilk 4 milyar yılda meydana gelen iklim değişimleri ile ilgili bilgilerin oldukça az olduğu görülür. Ancak son yıllarda derin deniz tortuları ve kayalar üzerinde yapılan jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal araştırmalar, Pleistosen öncesinde, her biri Pleistosen buzul çağlarından çok daha geniş ölçekli en az dört büyük buzul çağının yaşandığını, bazı dönemlerde ise yükselen sıcaklıklar nedeniyle tropikal kuşağa ait sıcaklık koşullarının kutuplara yakın bölgelere kadar egemen olduğunu kanıtlamaktadır (Kaynak: Frakes 1979).



Şekil 2: Günümüzden yaklaşık 300 milyon yıl önce Karbonifer-Permiyen dönemleri içinde yaşanan buzul çağları sırasında henüz birbirinden ayrılmamış Güney Yarımküre kıtalarını (Gondwana) kaplayan buzul örtüleri Güney Kutbu'ndan yaklaşık 40°S enlemine kadar uzanmıştır. Bugün Karoo buzul çağlarına ait paleoklimatik kanıtlara Uman Denizi, Avustralya Kıtası'nın batısı, Afrika'da Kongo Havzası veya Güney Amerika'daki Parana Havzası gibi Dünya'nın farklı bölgelerinde rastlamak mümkündür. Fossil bitkiler üzerinde yürütülen çalışmalar ile Karoo buzul çağları sırasında atmosferdeki karbondioksit miktarı bile hesaplanabilmektedir (Kaynak: www.britannica .com/).

Buna karşılık, günümüzden 120-90 milyon yıl öncesi (Orta Kretase) ile yaklaşık 55 milyon yıl öncesinde (Paleosen-Eosen arasında) küresel ölçekte ortalama sıcaklığın günümüze göre yaklaşık 6°C daha yüksek olduğuna dair ipuçları vardır. Örneğin bugün tropikal bölgelerde yaşayan timsahların fosillerini Kanada'nın kuzeyinde 79°N yer alan Badlands ve Elsmere adasındaki Eosen tabakaları içinde bulmak mümkündür.





Günümüzden 2,8 milyon yıl önceden itibaren buzul çağlarıyla buzullarası çağların periyodik olarak birbirini izlemesi, iklim sisteminin yeni bir dengeye oturmasının göstergesi olarak kabul edilir. Okyanus tabanlarından çıkarılan çökeller üzerinde yapılan araştırmalar 1,8 milyon yıl ile 800.000 bin yıl öncesi aralığında 41.000 yıllık döngüler şeklinde tekrarlanan buzul çağlarının, yaklaşık son 800.000 yıldır 100.000 yıllık döngüler gösterdiğini ortaya koyuyor. Kuaterner’de periyodik olarak buzul çağlarının yaşandığı bu dönem Pleistosen adı verilir.

Pleistosen’de yaşanan buzul çağlarının jeolojik, kimyasal ve paleontolojik yönden kanıtlarını bulmak mümkündür. Buzul çağlarının jeomorfolojik kanıtları olan U şekilli vadiler, moren setleri, buzul kapıları Dünya’nın birçok bölgesinde görülebilir. Ancak en son yaşanan buzul çağı bir öncekinin kanıtlarını büyük ölçüde yok ettiğinden jeomorfolojik kanıtların değerlendirilmesi de güçleşiyor. Buzul/buzullarası çağların fiziksel kanıtları ise, tortul kayalar, derin okyanus tortulları ve buzul örnekleri içindeki izotop oranı değişimlerinden sağlanır. Son bir milyon yıla ait iklim koşullarına ilişkin en ayrıntılı, uzun ve kesintisiz kayıtlar, Antarktika ve Grönland’da yer alan buzul örtülerinden sondajla çıkarılan buzul örneklerinden elde edilir. Örneğin 2004 yılında EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) adlı proje ile Antartika’da iki ayrı noktada yürütülen sondaj çalışmaları ile günümüzden 740.000 yıl öncesine uzanan bir dönemin iklim kayıtlarına ulaşılmıştır. Çıkarılan buzul örnekleriyle iklim değişimleri konusundaki teorileri sınama olanağı doğduğu gibi, iklim tarihine yeni görüşler kazandırılmıştır. Çıkarılan buzul örneklerinin analizi ile buzul ve buzullarası çağların iklimik ve çevresel özellikleri, modern uygarlığın ilk yılları ve Sanayi Devrimi’nin başındaki atmosferin bileşimine ilişkin değerli bilgilerin yanı sıra geçmişteki volkanik etkin-



likler, Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji miktarındaki değişiklikler gibi konularda da bilgiler elde edilir. Ayrıca iklim sisteminde bu güne kadar bilinmeyen doğal döngüler ve atmosfer-okyanus arasındaki karşılıklı ilişkiler belirlenebilmiştir. Paleontolojik kanıtlar ise fosillerin coğrafi dağılımlarındaki değişikliklerin belirlenmesi yoluyla elde edilir. Örneğin buzul çağlarında soğuk koşullara uyum sağlamış organizmalar daha alçak enlemlere yayılırken, buzullarası çağlarda bunun tam tersi gerçekleşir.

Elde edilen tüm paleoklimatik kanıtlar, hava sıcaklığının azaldığı ve buzulların yayıldığı buzul çağlarını, sıcaklıkların yükseldiği ve buzulların tamamen veya büyük ölçüde ortadan kalktığı buzullarası çağların izlediğini göstermektedir. Buzul çağlarından buzularası çağlara geçişler sırasında sıcaklıklarda görülen yükselme eğilimi, düzenli bir artış yerine, kısa süreli birçok salınım şeklinde gerçekleşmiştir. Pleistosen'de yaşanan buzul ve buzularası çağlar, süre ve şiddet bakımından birbirinden farklı olup, genellikle buzul çağları, buzularası çağlara göre daha uzun sürmüştür. Son 400.000 yılın iklim kayıtlarını içeren buzul örneklerinden, 70.000 veya 90.000 yıl süren buzul çağlarını, 10.000 veya 30.000 yıl süren buzularası çağların izlediğini görmek mümkündür.

Buzul çağları sırasında azalan sıcaklıklara paralel olarak kutuplarda yer alan buzullar alanlarını genişletmiş, Kuzey Yarımküre'de yer yer 40° enleme kadar yayılmışlardır. Yağışların karalarda kar-buz şeklinde birikmesi sonucu bütün Dünya'da deniz seviyesi alçalmış, okyanuslarda akıntı sistemleri değişmiştir. Karalar üzerinde 50-60 milyon km<sup>3</sup> ü bulan buzul örtülerinin oluşumu, deniz seviyesinin 120-140 metre düşmesine yol açmıştır. Deniz seviyesinin düştüğü buzul çağlarında kıtalar arasında oluşan kara köprüleri insanların, hayvanların ve bitkilerin göçler yoluyla Dünya'ya yayılmasını kolaylaştırmıştır. Örneğin günümüzden 25-20 bin yıl

önce buzul çağı sırasında Asya ve Kuzey Amerika (Alaska) arasında oluşan kara köprüsü, *Homo sapiens*'in Amerika Kıtalarına yerleşmesine olanak tanımıştır. Derin deniz tortullarından alınan örneklerdeki oksijen izotopu analizleri, Dünya'nın son buzul çağına günümüzden 110.000 bin yıl önce girdiğini, bu buzul çağına en soğuk ve kurak döneminin ise günümüzden 20.000-18.000 yıl önce yaşandığını göstermektedir. Diğer yandan, buzul çağlarında iklim kuşaklarının yer değiştirmesi, doğrudan buzullarla kaplanmayan bölgelerin iklim koşullarının da büyük ölçüde değişmesine yol açmıştır. Örneğin bugün Anadolu'nun en az yağış alan yerlerinden biri olan Konya Havzası'nda bulunan göl kıyı şekilleri, son buzul çağında bu alanda günümüze göre daha serin-nemli iklim koşullarının ortaya çıktığını gösterir. Son buzul çağında Cilo, Kaçkar gibi yüksek dağlarımızdaki buzullar ise alanlarını genişleterek adilerden aşağılara uzanmıştır. Örneğin Kaçkar Dağlarında Kavron Vadisi'nden alınan buzul örnekleri, vadilerdeki buzulların 26,0±1,2 bin yıl önce ilerlemeyi başladığını ve günümüzden 18,3±0,9 bin yıl önceye kadar ilerlemesini sürdürdüklerini gösterir. Bu tarihten sonra gerilemeye başlayan buzul üç küçük kola ayrılmış ve 15,5±0,7 bin yıl önce ana vadiye bulunan buzullar tamamen yok olmuştur.

Grönland'dan elde edilen buzul kayıtları, Pleistosen'in son buzul çağından Holosen'e geçişin iklim koşulları açısından çok değişken olduğunu gösterir. Günümüzden 110.000 ile 14.000 yıl öncesini kapsayan bu



dönemde, etkisini daha çok Kuzey Yarımküre'de hissettiren kısa süreli büyük iklim oynamaları yaşanmıştır.

Buzularası çağlar ise ekvatora doğru alanlarını genişleten örtü buzullarının kutuplara doğru geri çekilmesi, atmosferdeki karbondioksit ve metan gibi sera gazı oranlarının artması, iklim ve vejetasyon kuşaklarının yer değiştirmesi ile karakterize oluyor. Buzularası çağlara geçiş aynı zamanda, karalar üzerinde çok geniş alanlar kaplayan buzulların erimesi nedeniyle deniz seviyesinin hızla yükseldiği, Dünya'nın bazı bölgelerinde katastrofik sellerin olduğu dönemlerdir. Son buzul çağından çıkılırken deniz seviyesindeki hızlı yükselmenin, "Nuh Tufanı" gibi Dünya'nın pek çok yerinde anlatılan çeşitli tufan efsanelerine kaynaklık ettiği düşünülebilir.

Pleistosen'de yaşanan buzularası çağların devam sürelerini dikkate alırsak, ilk akla gelen soru bundan sonraki buzul çağına ne zaman başlayacağıdır. Bu sorunun yanıtını ararken ilk başvurduğumuz kaynak yine paleoklimatik verilerdir. Geçmişte iklim değişmelerinin yer kürede bıraktığı izleri araştırmak, buzul-buzul arası çağların nasıl oluştuğunu, canlıları nasıl etkilediğini bilmek, geleceği öngörmemize yardım edecektir.



Dünya'da buzul çağına ait koşulların ortadan kalkmasına neden olan ısınma eğilimi günümüzden yaklaşık 12 bin yıl önce başlamıştır. Dünya jeolojik tarihinin son 10-12 bin yılını kapsayan bu dönem "Holosen" olarak adlandırılır. Buzul çağına ait iklim koşullarının ortadan kalkması ve sıcaklıkların yükselmesi, son 12 bin yıldır başta doğal çevrede özellikle bitki örtüsünde, toprak oluşumunda ve yeryüzünde işleyen süreçlerde önemli değişmelere yol açmıştır. İnsanın yaşam tarzı açısından ele alındığında "Neolitik devrim" adı verilen tarım faaliyetlerinin başlaması ve ilk yerleşik yaşama geçiş Holosen'de gerçekleşmiştir.

Paleoklimatik çalışmaların sayısı arttıkça, Holosen'de buzul çağları ölçüsünde olmasa da bin yıl veya birkaç yüzyıl devam eden ve geniş alanlarda etkili olan iklim salınımlarının gerçekleştiği ortaya çıkar. Bunlardan en önemlisi günümüzden yaklaşık 9000 ile 5000 yıl öncesini kapsayan sıcak dönemdir. Holosen Optimumu olarak da adlandırılan bu dönemde yaşanan sıcaklık artışı, küresel ölçekten çok sadece Kuzey Yarımküre ile sınırlı kalmıştır. Klimatik optimumun, Dünya'nın yörüngesinde meydana gelen değişiklikler ve son buzul çağından çıkılmasının yarattığı bazı etkiler ile ilişkili olduğu düşünülmür. Yapılan hesaplamalar 9000 yıl

önce, Dünya'nın dönme eksenine olan eğiminin 24° olduğunu ve Dünya'nın yörüngesinde Güneş'e en yakın noktada iken Kuzey Yarımküre'de yaz mevsiminin yaşandığını gösterir. Bu durum, Kuzey Yarımküre'ye yaz mevsiminde ulaşan güneş radyasyonu miktarında % 8'lik (+40W/ m<sup>2</sup>) bir artışa yol açmış, yaz mevsimi daha sıcak, kışlar ise daha sert geçmiştir.

Paleoklimatik çalışmalar, Holosen Klimatik optimumu sırasında, özellikle Kuzey Batı Avrupa'nın ısındığını, Kuzey Kutbu'nda ortalama sıcaklıkların yaklaşık 4°C yükseldiğini kanıtlar. Holosen ortalarında, daha yüksek yaz sıcaklıkları nedeniyle Kuzey Ya-

## Son 1000 yılın iklim koşulları

Son bin yılda, on yıldan yüzyıla uzanan bir zaman ölçeğinde gerçekleşen iklim salınımları geçmişte olduğu gibi toplumları büyük ölçüde etkilemiş ve yeryüzünde çok sayıda kanıt bırakmıştır. Son bin yılda iklim koşullarında en belirgin değişim "Sıcak Ortaçağ" ve "Küçük Buzul Çağı" olarak adlandırılan dönemlerde yaşanmıştır.

Ağaç halkaları, dağ buzulları ve tarihi kayıtlardan elde edilen kanıtlara dayanan çok sayıda araştırma, "Sıcak Ortaçağ" olarak adlandırılan 9. yüzyıldan 13. yüzyılın sonuna kadar olan dönemin bazı yıllarında, İskandinavya, Çin, Kaliforniya, Kanada ve Tazmanya gibi Dünya'nın bazı bölgelerinde özellikle yaz mevsimine ait sıcaklıkların 20. yüzyıl değerlerine yaklaştığını göstermektedir. Paleoklimatik verilere göre, Kuzey Yarımküre'de 11. yüzyıldan 14. yüzyıla kadar olan dönemde ortalama sıcaklıklar, 15.-19. yüzyıl ortalamasına göre 0,2°C yükselmiştir. Ortalamalardaki 0,2 °C lik bu artış bile, o dönemde Vikinglerin Grönland'a yerleşmesine, çok daha yüksek enlemlerde buğday yetiştirilmesine olanak

tanımıştır. Bu olumlu etkiler yanında "Sıcak Ortaçağ", Kuzey Amerika'nın büyük bölümünde şiddetli ve uzun kurak dönemler ile karakterize olmuştur. Ortaçağ'da yükselen sıcaklıkların, bu dönemdeki güneş etkinliklerindeki artıştan kaynaklandığı düşünülüyor.

Tam olarak ne zaman başladığı konusunda tarihçiler ve klimatologlar arasında bir görüş birliği olmamakla birlikte "Küçük Buzul Çağı", yaklaşık olarak 1300 ile 1900 yılları arasında kapsar. Batı ve Orta Avrupa'da Küçük Buzul Çağı'nın en belirgin etkileri 1675-1715 ile 1780-1830 yılları arasında; çok soğuk kış ayları, kış ve bahar aylarındaki uzun kurak periyotları ve yağışlı geçen yaz ayları ile yaşanmıştır. Paleoklimatik kanıtlar, Küçük Buzul Çağı'nda Kuzey Yarımküre'de sıcaklıkların 1902-1980 dönemine göre 0,1-0,4°C daha düşük olduğunu gösterir. Bu dönemin etkileri Dünya'nın birçok yerinde hissedilmesine rağmen bu konudaki en ayrıntılı tarihi kayıtlar Avrupa ve Kuzey Amerika'ya aittir. Başlangıç tarihi çok iyi bilinmemesine karşın tarihi kayıtlar,

14. yüzyılın başında Grönland'da buzulların ve Kuzey Atlantik'te deniz buzlarının güneye doğru ilerlediğine işaret etmektedir. 1315 yılında başlayan şiddetli yağışlar ve daha serin geçen yaz mevsimleri ve 1315-1317 yıllarında Avrupa'da yaşanan "büyük kıtlık" bu kötü hava koşullarının bir yansıması olarak kabul edilebilir. Hollanda'da 13. ve 14. yüzyıllarda şiddeti ve frekansı artış gösteren seller bunu izleyen 1315-1317 kıtlığı ülke nüfusunun yaklaşık % 10'unun hayatını kaybetmesine yol açmıştır. 17. yüzyılın ortalarında İsviçre Alpleri'nde buzulların ilerlemesi çiftliklerin ve köylerin boşaltılmasına neden olmuştur. Thames Nehri ile Holanda'daki kanal ve akarsular kış ayları boyunca donmuştur.

Son yıllarda ağaçların büyüme halkaları ve buzul örneklerinden elde edilen veriler, Küçük Buzul Çağı boyunca sıcaklıklarda gözlenen düşme eğiliminden büyük ölçüde bu dönem boyunca azalan güneş etkinliklerinin ve artan volkanik faaliyetlerinin sorumlu olduğunu gösteriyor. Küçük Buzul Çağı içindeki en soğuk yıl



rimküre’de orman-tundra sınırı birçok alanda şimdiki yerinin daha kuzeyine kaymıştır. Polen analizleri Sibiry’a da orman sınırının, bugünkü sınırına göre 200 km. kadar kuzeye kaydığını gösterir. Klimatik Optimum’da Kuzey Yarımküre’de iklim koşullarının büyük ölçüde değiştiği bir başka bölge, günümüzde Dünya’nın en büyük çölünün bulunduğu Sahra olmuştur. Kuzey Yarımküre’nin yaz mevsiminin daha sıcak geçmesi, her iki yarımkürenin Alize rüzgârlarının karşılaştığı Tropikler Arası Karşılaşma Kuşağı’nın (ITCZ) kuzeye kaymasına neden olmuştur. Bu koşullarda Afrika’da günümüzde çöl olan alanlar daha çok yağış almış, çöl savan vejetasyonu ile

kaplanmıştır. Muson sisteminin yaklaşık 600 km. kuzeye doğru kayması ve kuvvetlenmesi, Sahra’da taban suyunun yükselmesine, tektonik depresyonlarda çok sayıda göllerin oluşmasına ve bu göllere timsah, zürafa, ceylan ve hippopotamdan oluşan bir hayvan topluluğunun yerleşmesine olanak tanımıştır. Paleobotanik veriler, o dönemde yeşillenen Sahra’nın 23° K enlemine kadar uzandığını kanıtlamaktadır (günümüzde bu değer 18°K dır).

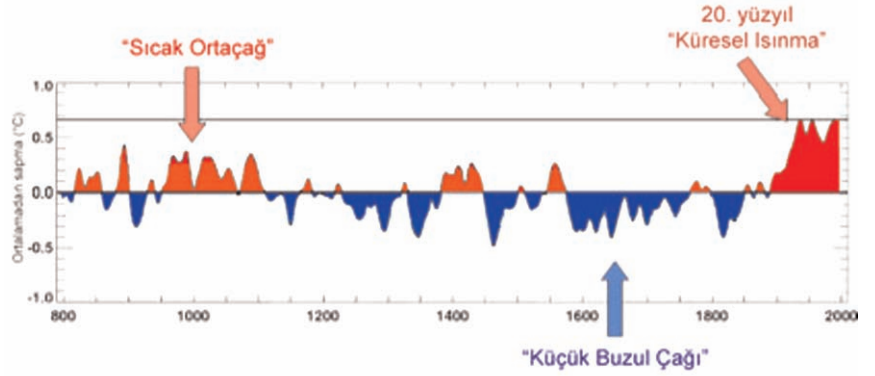
Holosen’de daha çok okyanus dolaşımındaki değişimler ile bağlantılı olarak ortaya çıkan kurak-nemli dönemler ve şiddetli El Niño/La Niña olayları geçmişteki uygarlıklar üze-

rinde kalıcı etkiler bırakmıştır. Örneğin Ortadoğu’da Akadların veya Orta Amerika’da Maya uygarlığı’nın çöküşü bu duruma örnek gösterilebilir.

Holosen’in bir başka özelliği, insanların yerleşik düzene geçerek tarımsal faaliyetlere başlaması ile birlikte Dünya tarihinde ilk kez doğal çevre ve iklim sistemi üzerinde insan etkisinin başlamasıdır. Örneğin Holosen’in ortaları ve sonlarında atmosferde karbondioksit ve metan oranlarının giderek yükselmesi, Avrasya’da 8000 yıl önce tarımsal amaçla ormanların kesilmeye başlanması ve 5000 yıl önce pirinç tarımı ve hayvancılığın gelişmesi ile ilişkilendirilmektedir.



lar, güneş lekelerinin sayısının son derece azaldığı “Spörer” ve “Maunder Minimumu” olarak adlandırılan dönemler ile uyumludur. Küçük Buzul Çağı boyunca sıcaklıkların azalmasında etkili olan bir başka faktör volkanik faaliyetlerdir. Şiddetli volkanik patlamalar sırasında açığa çıkan volkanik küller ve atmosferde SO<sub>2</sub> ve sülfürik asit partiküllerine dönüşen sülfür gazı, atmosferin alt tabakalarında yaklaşık 2 yıl kalarak, atmosfere ulaşan güneş ışınlarını geri yansıtır. Ağaçların büyüme halkalarından elde edilen kanıtlar, son 600 yıl içinde Kuzey Yarımküre’de en soğuk yılın, Peru’daki Huaynaputina volkanik etkinliğinin gerçekleştiği 1600 yılını izleyen 1601 olduğunu gösteriyor. Benzer şekilde çok soğuk geçen 1453 yılı, Pasifik’in güneybatısındaki Kuwae Volkanı’nın 1452 yılındaki etkinliğini izler. 1815 yılının Nisan ayında Endonezya’da Tambora Volkanı’nın patlamasını izleyen 1816 yılı Dünya tarihine “yaz mevsimi olmayan yıl” olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4: Çeşitli paleoklimatik çalışmaların sonuçlarına göre, 800-1995 yılları arasında Kuzey Yarımküre’de belirlenen sıcak ve soğuk dönemler. Son 1200 yılda en kuvvetli ve kesintisiz sıcak dönem 20. yüzyılda gözlenen “küresel sıcaklık artışıdır.” 890-1170 yılları arasında sıcaklıklarda belirlenen pozitif anomali “Sıcak Ortaçağı”, 1580-1850 yılları arasındaki negatif anomali ise “Küçük Buzul Çağını” işaret etmektedir (Osborn ve Briffa, 2006).



## İklim sistemi üzerinde insan etkisi: 19. yüzyıldan günümüze

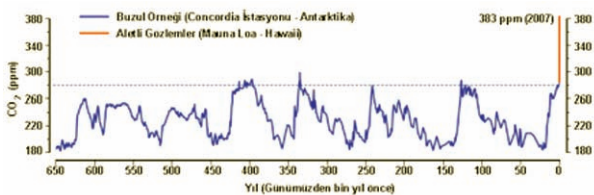
Yerleşik düzene geçilerek tarımsal faaliyetlerin başladığı Neolitik'ten bu yana insan toplulukları ekosistemleri ve bölgesel ölçekte iklim koşullarını değiştirmiştir. Ancak Sanayi Devrimi'nin gerçekleştiği ve insanların yoğun bir şekilde kömür, petrol gibi fosil yakıtları tüketmeye başladığı 19. yüzyılın son çeyreğinden itibaren doğal sistemler üzerindeki insan etkisi küresel boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle Sanayi Devrimi'nin gerçekleştiği 1800'lü yıllardan bu yana geçen zaman, iklimin doğal değişimlerine ek olarak insan etkinliklerinin de küresel iklim sistemini etkilediği yeni bir dönem olarak değerlendirilir. Hızla artan nüfus, enerji tüketimi, değişen arazi kullanımı, uluslararası ticaret ve turizm bu değişime yol açan başlıca faktörlerdir. 1980'li yıllardan itibaren yapılan çok sayıda araştırma, ısınmanın çoğunlukla insan eylemlerine ve özellikle fosil yakıtların kullanılmasından dolayı ortaya çıkan sera gazları emisyonlarına ve arazi kullanımındaki değişikliklere bağlanabileceğine ilişkin ciddi kanıtlar sunar. Doğal nedenlerle açıklanamayan bu ısınma eğilimi günümüzde "insan kaynaklı iklim değişikliği/küresel ısınma" olarak tanımlanıyor.

İnsanın etkisiyle küresel ölçekte iklim değişimine neden olan temel etken atmosferdeki sera gazlarının birikiminin artması ve buna bağlı olarak sıcaklıkların yükselmesidir. Antarktika'da buzullardan alınan örnekler, son 420.000 yıl içinde atmosferdeki en önemli sera gazı olan karbondioksit birikiminin yaklaşık 180-300 ppm arasında değiştiğini gösterir. Grönland buzul örneklerinden alınan ölçümler, 1530 ile 1810 yılları arasında atmosferdeki karbondioksit

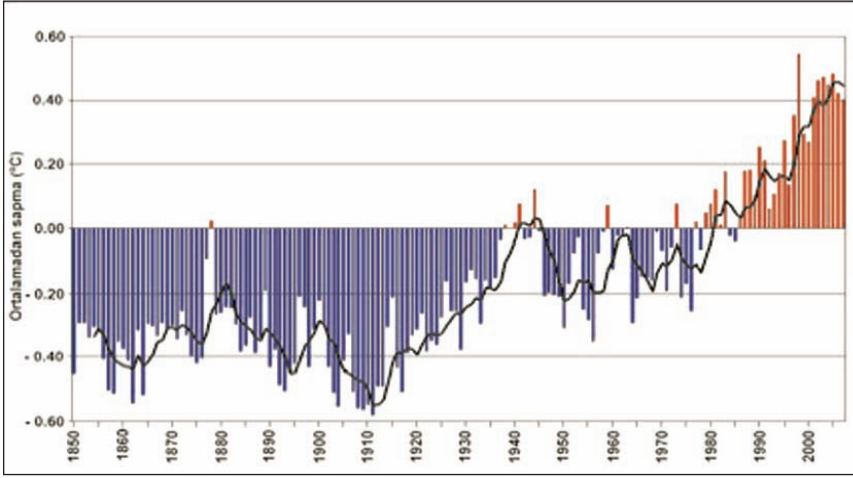
birikiminin 280 ppm (milyonda birim) ile hemen hemen sabit kaldığını gösterir. Sanayi Devrimi sonrasında bu değer ani ve hızlı bir artış eğilimi göstermiştir. Hawaii Adası Mauna Loa istasyonunda 1958 yılında başlanan ölçümlere göre, 1958 yılında yaklaşık 315 ppm olan atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikimi, 2007 yılında 384 ppm'e ulaşmıştır. İnsan etkinlikleri sonucu atmosfere bırakılan ve atmosferin doğal sera etkisinin kuvvetlenmesine yol açan sera gazları, küresel ortalama yüzey sıcaklığının, 1800'lü yıllardan 2005'e kadar olan dönemde 0,76 °C artmasına yol açmıştır. Küresel olarak, 1990'lı ve 2000'li yıllar aletli gözlem kayıtlarındaki en sıcak yıllar olarak belirlenmiştir. Paleoklimatik kanıtlar, 20. yüzyılda sıcaklıklarda gözlenen bu ısınmanın, geçen 1000 yılın herhangi bir dönemindeki artıştan daha büyük olduğunu gösterir.

20. yüzyılda sadece sıcaklıklar yükselmemiş, yağış miktarı, mevsimlere göre dağılımı, ekstrem olayların sıklığı ve şiddeti gibi iklim elemanları ve bunlara bağlı olarak bitki ve hayvan türlerinin çeşitliliği, okyanus akıntıları gibi birçok doğal sistem de değişmiştir. Ayrıca yükselen sıcaklıkların iklim koşulları üzerindeki etkisi bölgelere göre de önemli farklılıklar gösterir. Bazı bölgeler daha sık şiddetli yağışlara ve sel baskınlarına maruz kalırken, bazı bölgelerde tam tersine yağış azalmakta ve kurak dönemlerin süre ve şiddeti artmakta. Örneğin Türkiye'de yapılan araştırmalar, iklim koşullarının son yüzyılda Dünya'nın diğer bölgelerine benzer şekilde bazı değişimlere uğradığını gösterir. Meteorolojik kayıtların düzenli tutulmaya başladığı 1930'lu yılların başından günümüze kadar,

Türkiye'de gece ölçülen en düşük sıcaklık değerleri özellikle yaz ve ilkbahar mevsimlerinde daha belirgin olmak üzere artmıştır. Buna karşılık gündüz ölçülen en yüksek sıcaklıklarda bazı istasyonlarda artış, bazı istasyonlarda ise zayıf bir azalma eğilimi belirlenmiştir. Türkiye'de gece sıcaklıklarındaki bu artışın nedeni olarak hem küresel sıcaklık artışı hem de kentler üzerinde oluşan "kentsel ısı adaları" gösterilebilir. Tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de yaz aylarında yüksek sıcaklık ve nemlilik değerleriyle birlikte insan sağlığını tehdit eden sıcak dalgaları 1970'li yıllardan sonra daha sık tekrarlanmış, etki süreleri uzamış ve şiddetlenmiştir. 1987-1988 Temmuz, 1998 ve 2000 yıllarının Temmuz ve Ağustos, 2007 Haziran aylarında yaşanan sıcak dalgaları buna örnektir. Türkiye'de 1930'dan bu yana yıllık ve kış mevsimine ait yağışlar incelendiğinde, genel olarak yağışların 1940'lı yılların başından 1970 yılına kadar ortalamanın üzerinde olduğu görülür. Özellikle 1962-1969 yılları arasındaki dönem yağışların belirgin olarak arttığı çok nemli yıllardır. Buna karşılık, 1970'ten günümüze kadar olan dönemde ise Türkiye'de yağışlar azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum 1972-1973 ile 1988-1992, 2006-2007 arasında olduğu gibi Türkiye'de giderek daha sık ve etki alanını genişleten kuraklıklara yol açıyor. Geçmişte Mezopotamya'da birçok uygarlığın ortadan kalkmasına yol açan bu tür kurak dönemler, nüfusu hızla artan ve su kaynakları giderek kirlenen Türkiye'nin içinde bulunduğumuz yüzyılda kuraklığın yarattığı ciddi sorunlarla karşılaşabileceğini açıkça gösteriyor.



Şekil 5: Antarktika'dan çıkarılan buzul örnekleri ile atmosferde karbondioksit miktarındaki değişimi belirlemek mümkündür. Atmosferdeki karbondioksit miktarı, buzul çağları sırasında yaklaşık 180 ppm kadar düşerken, buzulların çağlarda 28-300 ppm yükselmektedir. Troposferin orta tabakalarındaki karbondioksit miktarının ölçümüne ilişkin en uzun ve kesintisiz kayıtlar, Mauna Loa (Hawaii Adası) istasyonuna aittir. Bu ölçümlere göre, 1958 yılında yaklaşık 315 ppm olan atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikimi, 2007 yılında 383,72 ppm'e ulaşmıştır. Buzul kayıtları, atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikiminin günümüzdeki düzeyinin geçmiş 650.000 yıllık kayıttaki doğal CO<sub>2</sub> birikimlerinin çok üzerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: 1960-1990 dönemi ortalamasına göre, küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığının 1850-2007 döneminde gösterdiği değişimler (Kaynak: www.cru.uea.ac.uk).

Buzul çağlarında Türkiye, yüksek enlemlerdeki ülkeler gibi buzullarla kaplanmamıştır. Ancak, yağış şartlarının uygun olduğu yüksek dağlarda sirk-vadi buzullarının geliştiğini gösteren jeomorfolojik kanıtlar bulunmaktadır. Kuzeydoğu Anadolu'da Kaçkar, Güneydoğu'da Buzul (Cilo) Dağları Türkiye'de buzulların en iyi geliştiği bölgelerdir. Buralarda günümüzde de gittikçe çekilen küçük buzullar bulunmaktadır. Fotoğrafta Mezovit Buzulu'nun (Kaçkar Dağları) küçük bir kalıntısı görülmektedir. Yaz aylarında karlar eridiği için buzul cephesinde çatlaklar, bunun önünde erime sonucu biriken morenler açıktır. Buzul gerisinde ve soldaki diğer çukurlukta kıştan biriken karların erimeden kaldığı, eskiden buzulları besleyen sirk şekilleri belirgindir. Morenlerin önündeki yeşil alan ise buzul çağlarında gelişmiş eski buzul vadisinin bugün erime suları ile şekillenen kalıntısıdır.

## Kartopu ve Sera Dünya

1800'lü yıllardan itibaren iklim sistemi doğal değişimlerin yanısıra insan etkisiyle de değişmeye başlamıştır. Günümüzde giderek hız kazanan bu sürecin nedenleri, bugüne kadar olan etkileri, olası sonuçları ve alınması gereken önlemler konusundaki çalışmalar giderek önem kazanıyor. Gerek doğal gerekse insan kaynaklı nedenlere bağlı olarak iklim sisteminde oluşacak değişimleri ve riskleri öngörebilmek için ilk başvurulan araçlar, paleoklimatik veriler ile bilgisayar ortamında oluşturulan matematiksel modellerin karşılaştırılmasıdır. Geçmişte yaşanan iklim değişimlerinin nedenlerinden ve sonuçlarından yola çıkılarak gelecekte meydana gelebilecek olayların olasılığı tahmin edilebilir. Paleoklimatik ve paleoekolojik kayıtlar, aynı zamanda belirsiz bir geleceği görmek için kullandığımız bu matematiksel veya fiziksel iklim modellerinin doğruluğunu sınama olanağı sağlar. Son 160.000 yıllık süre içinde, modellerin öngördüğü değişimlerle, paleoklimatik verilerden saptanan değişim arasında gözlenen genel paralellik buna örnek gösterilebilir. Küresel iklim sisteminin modellenmesine yönelik çalışmalar, gün geçtikçe gelişiyor. Bu durum hem gözlem teknikleri ve aygıtlarındaki gelişmelerin hem de geçmişte iklim sisteminin niçin ve nasıl değiştiğine ilişkin bilgileri toplayan yer bilimleri alanındaki birçok disiplinden bilim insanlarının katkılarıyla gerçekleşiyor.



(Fotoğraf: Asım Haberal)

Buzullar öncelikle arızalı dağ morfolojisinde, çukur alanlarda biriken karlarla oluşur. Böyle yerlere "sirk" denir. Sirklerden sarkan buzullar, buzul vadilerinde toplanarak, tıpkı akarsular gibi aşağılara "akar". Ancak akarsuların dağlardaki V profil vadiyelerinden farklı olarak buzul vadileri U şeklinde bir profil gösterir. Fotoğraf da Kaçkar Dağları'ndan alınmış olup, geride bugün sadece kar birikintilerinin bulunduğu eski sirk alanları, önde ise buzul çağlarında buzullarla işlenmiş U profil eski buzul vadisi görülmektedir. Bu vadi şekilleri bize buzul çağlarında, uygun yerlerde buzulların kilometrelerce uzunlukta olduğunu gösteriyor.

(Fotoğraf: Ahmet Çamlı)



## Buzul ve buzullarası çağların Konya'daki izleri (İ.Kayan)

Buzul çağlarında, bulunduğu coğrafi konum nedeniyle Türkiye'de buzul örtüleri gelişmemiş olmakla birlikte, yağış ve sıcaklık şartlarında bazı değişimler olmuştur. Böyle bölgesel değişmelerin en belirgin izleri göllerde görülür. Son buzul çağında Türkiye göllerinin daha çok yağış ve daha az buharlaşma nedeniyle seviyelerinin genellikle bugünkünden yüksek olduğu biliniyor. Buna karşılık, buzul sonrası çağda (Holosen) bunun tersi bir değişimle göl seviyeleri alçalmıştır. Kuşkusuz, göl seviyelerinin değişmesinde başka etkenler de vardır ama çoğunlukla iklimik değişimler başta gelir. Göl seviyelerindeki alçalma sonucunda, buzul çağlarındaki yüksek seviyelere ait eski kıyı şekilleri ve birikintileri açığa çıkmış, çevresel değişmelerin incelenmesi için çok değerli veri kaynakları oluşturmuştur. Halbuki deniz kıyılarında son dönemde deniz seviyesi yükselmiş olduğu için eski izler su altında kalmıştır ve bugün bunların veri kaynağı olarak değerlendirilmesi çok zordur.

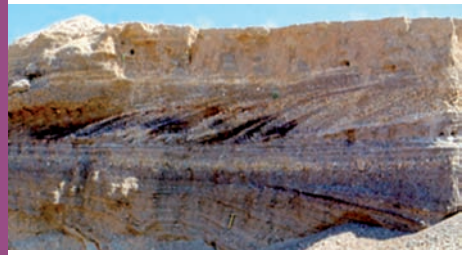
Türkiye'de eski göl kıyısı izleriyle ilginç bir alan, bugünkü Konya Ovası'dır. Burada son buzul çağında 20-25 m. derinlikte bir gölün bulunduğu biliniyor. Bugün ortadan kalkmış bulunan bu gölün son kalıntıları ovanın en çukur yerlerini kaplayan Akay, Hotamış ve Akgöl Bataklıklarıdır. Bunlar da son yıllarda gerek arazi iyileştirme çalışmaları, gerekse su bilançosundaki negatif değişimler nedeniyle yok olma durumundadır.

Ekili arazilerin olduğu ve üzerinde 1-3 sayıları bulunan yukarıdaki fotoğrafta 25-15 bin yıl kadar öncelerde Konya Ovası'nı kaplamış olan göle ait kıyı izleri görülür. Fotoğraf Konya doğusunda, eski gölün Hodulbaba Dağı'na doğru sokulan bir "koy"unun kıyısından alınmıştır. Bugün tarlalarla kaplı geniş düzlük eski göl tabanıdır (1). Bunun üzerinde fotoğrafta sağa doğru derinliği 25 m.'ye kadar inen bir su örtüsünün bulunduğu, soldaki kayalıkların (2) göl suları ile küçük bir falez ola-

rak işlendiğini gözümüzde canlandırabiliriz. Kayalıkların dibindeki fosilli kıyı kumları bunun kanıtlarındandır. Gerideki falezler ise dağ eteğinde biriken karasal (kolüvyal) birikintiler önünde, göl seviyesi alçalırken kolayca gelişen dalga aşınım basamağı veya falezlerdir (3). Bu basamağın da açıklara doğru daha yüksek, sola, sığlaşan iç kıyı kesimine doğru daha alçak olduğu dikkati çekiyor. Buradaki karasal birikintilerin altında göl kıyısının kumlu birikintileri bulunuyor. Bazı yerlerde (örneğin Göçü çevresi) bunlar günümüzde kum ocakları olarak işletiliyor.

İş makinelerinin çalıştığı ortadaki fotoğraf Konya kuzeyindeki Sarıcalar kum ocağından 1984 yılında alınmıştır. Burada, önceki resimden farklı olarak, eski göl tabanının altındaki göl kıyısı birikintileri görülüyor. Bu alan, eski Konya Gölü'nden kuzeybatıya, Bozdağ eteklerine doğru sokulan sığ bir körfezi, asıl göl alanından ayıran bir kıyı kordonudur. Burada farklı dönemlerde, farklı yönlerden etkin olan göl dalgalarının biriktirdiği kum depoları izlenir. Kumların içinde bol miktarda bulunan fosiller (*Dreissensia* polimorf palla) ortam özellikleri hakkında bilgiler verir.

Alttaki fotoğrafta Sarıcalar'a yakın, aynı oluşum üzerinde açılmış Kayacık kum ocağından, kıyı kumlarının birikme düzenine ait bir ayrıntı görülüyor. Burada, üzerinde çekiç bulunan alttaki sağa eğimli kum katmanı, resime göre sağdan gelen dalgalarla birikmiştir. Bunu kesen yatay katman birikme düzenindeki bir duraklama ve değişmeyi temsil eder. Bunun üzerinde sola eğimli katman, yüzeydeki kıyı morfolojisinin ve etkili birikme yönünün değiştiğini gösterir. En üstteki homojen, ince dokulu sediman örtüsü ise göl çekildikten sonra yüzeyi kaplayan güncel, çamurlu sel birikintileridir. Bu resimler, jeomorfolojik ve sedimantolojik verilerin iklim değişmelerinin incelenmesinde ne kadar yararlı olabileceğini gösteriyor.



Seri editörleri

Prof. Dr. Nizamettin Kazancı:  
Unesco-Tr Yerbilimleri İhtisas Komitesi  
Koordinatörü

Prof. Dr. Koray Haktanır: Yer Yılı Toprak  
Çalışma Grubu Koordinatörü

Hazırlayan:  
Doç. Dr. Ecmel Erat; Ege Üniversitesi  
Katkı: Prof. Dr. İlhan Kayan  
Ege Üniversitesi

### Kaynaklar

- Akçar N., Yavuz V., Ivy-Ochs S., Kubik P.W., Vardar M., Schlichter C. 2007. Paleoglacial records from Kavron Valley, NE Turkey: Field and cosmogenic exposure dating evidence. *Quaternary International* 164-165: 170-183.
- Bradley R.S., Hughes M.K., Diaz H.F. 2003. Climate in Medieval Time. *Science* 302: 404-405.
- Bradley R.S., K.R. Briffa, J. Cole, M.K. Hughes, Osborn T.J. 2003. The climate of the last millennium. In: Alvenson, K., R.S. Bradley, Pedersen T.F. (ed.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*. Springer Verlag, Berlin, 105-141.
- Broecker W. S., Denton G. H. 1990. What drives glacial cycles?. *Scientific American* 262: 48-56.
- EPICA community members. 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429: 623-628.
- Frakes L.A. 1979. *Climates throughout geologic time*. Amsterdam: Elsevier, 310 pp.
- Osborn T. J., Briffa K. R. 2006. The spatial extent of 20th-century warmth in the context of the past 1200 years. *Science* 311: 841-844.