

# BUZUL ÇAĞLARI

Doç. Dr. Osman DEMİRCAN \*

On sekiz bin yıl önce Kuzey Yarımküre'de, karaların üçte biri buzullarla kaplıydı. Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'nın kuzey kıyıları, kilometrelerce kalınlıkta buzulların altındaydı. Bu buzulların kapsadığı su o kadar fazlaydı ki, dünya denizlerinin seviyesi bugünkünden 100 m. kadar daha düşük düzeydeydi. Tahminlere göre o zaman, yıllık dünya sıcaklık ortalaması bugünküne göre sadece 5 °C daha düşüktü; fakat hemen hatırlatalım ki, asırlardır yıllık dünya sıcaklık ortalamasındaki değişimler yarım °C'yi geçmemiştir.

Dünya'nın bir seri buzul çağları geçirmiş olduğu 19. asırdan beri bilinmektedir. Bu bilgi temel olarak jeolojik kaynaklıdır. Buzulların hareketiyle çizilmiş, sürüklenmiş ve parlatılmış kayalar, rüzgâr ve suların oluşturmayaacağı ve ancak uzun süre var olan buzullarla açıklanabilen yüzey şekilleri; büyük kütleli buzulların oluşturduğu yataklar ve bu yataklarda kalan kum benzeri birikintiler; üstelik tüm bu oluşumların katmanlar oluşturması, Dünya'nın bir seri buzul çağları geçirdiğini göstermiştir. Bu oluşumlar Asya, Avrupa ve Amerika'nın kuzey enlemlerinde görülmektedir ve en eski katman, Dünya'nın 500 milyon yıl kadar önce ilk etkin buzul çağını yaşadığını göstermektedir.

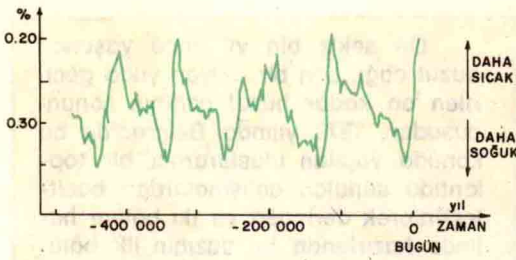
Aslında jeolojik bulgulara göre buzul çağlarının varlığı kesin olmakla beraber, bu çağların sayıları, tarihleri ve süreleri o kadar belirli değildir. Yakın geçmişte keşfedilen ilginç bir yöntemle, bu bilgilere yeterince kesinlik kazandırılmıştır. Yeni yöntem, deniz altı tabakalarında oksijen izotoplarının bolluk karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Biliyoruz ki, atomik kütlesi 16 olan (yani atom çekirdeğinde 8 proton ve 8 nötron bulunan) oksijen izotopu, doğada tabii olarak en bol bulunan oksijen izotopudur. Suda bin kadar oksijen içeren molekülden, sadece birkaç tanesinin

On sekiz bin yıl önce yaşanan buzul çağı, son bir milyon yılda geçirilen on kadar buzul çağının sonucusudur. 1979 yılında Belgrad'da bu konuda yapılan uluslararası bir toplantıda sunulan çalışmalardan basitleştirilerek derlenen ve iki bölüm halinde hazırlanan bu yazının ilk bölümünde buzul çağlarının zaman ve sürelerini saptamada kullanılan yeni bir yöntem sonuçlarıyla birlikte verilecek ve buzul çağlarının oluşum nedeni olarak Güneş'in enerji yayımındaki uzun dönemli değişimler üzerinde durulacaktır.

İkinci bölümde ise, Dünya'nın dönme eksenini ve yörüngesindeki uzun dönemli değişimlerin buzul çağlarına yol açabileceğini ileri süren Milankovitch kuramı açıklanacaktır.

de oksijen 18 izotopu (yani atom çekirdeğinde 8 proton ve 10 nötron olan oksijen izotopu) vardır. Okyanus yüzeylerinden su buharlaştığında, daha ağır olan bu oksijen 18 izotopları buharlaşmayıp, geride kalır. Bu nedenle, yağmur, kar ve buz içindeki oksijen 18 izotopları sayısı, okyanus suyundaki sayıdan çok daha azdır. Buzul çağları başladığında, buz katmanları büyüdükçe okyanus suları azalacak ve oksijen 18 izotopu yönünden de zenginleşecektir. Öyleyse, geçmişte okyanuslarda oksijen 18 izotopu bolluğu ne zaman ne kadar artmışsa, o oranda şiddetli bir buzul çağı yaşanmış olmalıdır. Doğal olarak, geçmişteki okyanus sularının oksijen izotopu bolluğunu ölçmek mümkün görünmemektedir. Fakat, okyanus yataklarında farklı katmanlarda oluşan farklı çağlara ait deniz fosillerinde, oksijen 18 bolluğunu ölçmek mümkündür. Kabuklu deniz hayvanları kabuklarını, yaşadıkları deniz suyundaki kalsiyum karbonatla oluştururlar ve öldüklerinde, kabuklar deniz dibinde birikerek, jeolojik katmanlar ortaya çıkar. Yaşları başka yöntemlerle saptanan bu katmanlardaki oksijen 18 bolluğundaki değişim, böylece Dünya'daki iklim değişikliğinin bir ölçüsü olur. Bu şekilde, buzul çağlarının sayıları, tarihleri, süreleri, şiddetleri sağlıklı bir şekilde saptanmıştır. Aslında, sulara oksijen 18 izotopu birikimi, suların sıcaklığı gibi başkaca yan etmenlere de bağlıdır. Bu nedenle, buzul çağlarına ilişkin elde edilen verilerde, yine de bir yanlışlığın varlığı kabul edilmektedir. Okyanus diplerindeki katmanlardan elde edilen son

\* ODÜ Fizik Bölümü



**Deniz dibi katmanlarından oksijen-18 izotopunun değişimi : X-ekseni katmanların yaşını, y-ekseni ilgili katmanlarındaki oksijen-18 değişimini yüzde olarak göstermektedir.**

500 000 yıllık oksijen 18 bolluk kayıtları, şekilde gösterilmiştir. Oksijen 18 bolluğunun arttığı çağlarda, Dünya'da bu artım miktarıyla orantılı miktarda buzul var demektir. Dolayısıyla, oksijen 18 bolluğunun arttığı çağlar buzul çağlarıdır. Şekle göre Dünya, her 100 000 yılda bir buzul çağı yaşamaktadır. Ayrıca yine şekilden görülmektedir ki, dönemli bolluk değişim eğrisi, bir bakıma testere dişi biçimindedir. Yani oksijen 18 bolluğu, 60-70 bin yılda yavaş yavaş artıp belli bir düzeye geldikten sonra, bir bakıma hızla düşmektedir. Bunun anlamı, Dünya'da buzulların yavaş yavaş, uzun yıllar birikip, sonra daha kısa sürede eriyip yok olduklarıdır.

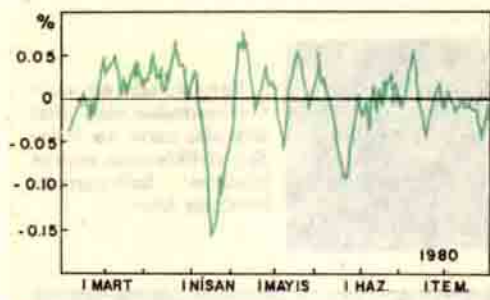
Nedir böylesi uzun dönemli, büyük iklim değişikliklerinin nedeni? Şekildeki dönemli değişimlere bakarak açıkça denebilir ki, Dünya yüzeyinin ortalama ısı enerjisi 100 000 yıllık dönemlerle düzenli artmalar-eksilmeler göstermektedir. Temelde bu enerjinin, Güneş'ten gelen ışınım enerjisinden sağlandığını biliyoruz. Öyleyse Güneş, bazı dönemlerde Dünya'yı ısıtamayacak kadar sönüyor, sonra yavaş yavaş tekrar canlanıp, eski durumuna ulaşıyor olmalıdır. Bu ilginç bir olasılıktır. Aslında, çağlarındaki dönemli salınımlarla, bu şekilde parlayıp sönen çok sayıda yıldızın varlığı düşünülürse, Güneş'in de bunlardan biri olmayacağını gösteren hiçbir neden yoktur. Ancak, salının döneminin çok uzun (~ 100 000 yıl) olması, olaya dinamik açıdan kısıtlamalar getirmektedir. Ayrıca, sürdürülen çok duyarlı uydu gözlemleri, güneş enerjisinde beklenen uzun dönemli değişimlere ilişkin şimdilik hiçbir belirti göstermemektedir. Bir bakıma 5-10 yıllık gözlemlerle, dönemin ~ 100 000 yıl olan değişimlerin saptanmasını beklemek saçmalık olur.

Güneş enerjisinin büyük kısmı optik bölgede

yayınlanır. Dünya atmosferi dışında uydu gözlemleriyle, ortalama Dünya-Güneş uzaklığında ( $149.6 \times 10^6$  km), güneş ışınlarına dik birim yüzeye birim zamanda gelen güneş enerjisi ölçülebilir. Bu değere güneş sabiti denir. Bu gözlemsel değer sayesinde, Güneş'in toplam ışınım gücü ve fotosfer sıcaklığı ( $5.762 \pm 12$  °K) bulunabilir. Güneş sabitinin ölçümü oldukça zordur. Bu ölçümler, Washington'da Smithsonian Enstitüsü'nde, Maryland'da NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nde ve ek olarak Almanya ve Rusya'da sürekli olarak yapılmaktadır. Son ölçümlere göre, güneş sabiti  $\text{cm}^2$ 'ye dakikada 1.94 kaloridir. Bu ölçümün hatası yüzde 1.5'tur. Daha duyarlı ölçüm, ne yazık ki mümkün olmamaktadır. Ölçüm duyarlılığı ne kadar iyi olursa, güneş enerjisinde olabilecek uzun dönemli değişimleri saptamak da, o derece mümkün olabilecektir. Aslında eldeki gözlemler, güneş sabitinin gerçekte sabit olmadığını göstermektedir. "Solar Maximum Mission" olarak adlandırılan uzay aracının 1980 yılı gözlemlerine göre, güneş sabiti kısa süreli aralıklarla binde 15'lik değişimler göstermektedir. Bu gözlemlere göre, güneş sabitinin 1980 yılında beş aylık değişimi şekilde gösterilmiştir. Bu tür kısa dönemli enerji değişimlerinin Dünya'daki iklim değişimleriyle ilgisi yoktur. Diğer taraftan yukarıda belirttiğimiz gibi, güneş sabiti, Güneş'ten aldığımız gerçek enerji değildir. Ortalama Dünya-Güneş uzaklığında ve atmosfer etkilerinin olmaması halinde, güneş ışınlarına dik birim yüzeye, birim zamanda gelen güneş enerjisidir. Halbuki, öncelikle Dünya yörüngesinin eliptik olmasından dolayı, Dünya-Güneş uzaklığının sürekli olarak  $147.1 \times 10^6$  ile  $151.1 \times 10^6$  km. arasında değiştiğini biliyoruz. Buna bağlı olarak, Güneş'ten aldığımız enerji, yıllık ortalamaya göre % 3.5 oranında değişimler gösterir. Dönemi bir yıl olan bu değişimlerle ilginçtir ki, Güneş'ten aldığımız enerji, kış aylarında Dünya'ya yaklaştığımız için artar; yaz aylarında da Güneş'ten uzaklaştığımız için azalma gösterir.

Bize ulaşan güneş enerjisinde, eliptik yörüngenin neden olduğu bu tür değişimlerin, uzun dönemde Dünya iklimini nasıl etkileyeceği kesin olarak bilinmemektedir. Yazımızın ikinci bölümünde, buzul çağlarına yol açan etmenlerden biri olarak bu zayıf olasılık üzerinde daha detaylı bilgi verilecektir.

Tekrar, güneş enerjisinin uzun dönemde değişip değişmediği sorununa dönelim; bunu saptamanın bir başka yolu, gezegen parlaklıklarının değişimlerini izlemektir. Atmosfer, uzaklık ve evre etkileri dikkate alınarak gezegen parlaklıkları, parlaklığı değişmeyen arka



**Güneş sabitinin 1980 yılı içinde kısa süreli düzensiz değişimi : Bu değişim uydular gözlemleriyle yer atmosferi dışından elde edilmiştir.**

fon yıldızlarının sabit parlaklıkları ile kolayca karşılaştırılabilir. Bu karşılaştırmalar sonunda gezegen parlaklıklarında görülecek değişimler, gezegenler sadece güneş ışığını yansıttığı için, güneş enerjisindeki değişimleri verecektir. Uranüs, Neptün gezegenleri ve Satürn'ün uydusu Titan için son 27 yıldır yapılan bu tür gözlemlerde, küçük parlaklık değişimleri saptanmıştır. Bu tür değişimleri, aslında doğrudan güneş enerjisindeki değişimlere bağlamak sakıncalıdır. Başkaca etkenlerin dikkatle göz önünde tutulması gerekir. Bu tür değişimler büyük olasılıkla, gezegen atmosferlerindeki yansıtma özelliklerinin zamanla değişiminden kaynaklanmış olabilir.

Diğer taraftan Güneş atmosferinde, manyetik alan, konvektif hareketler ve diferansiyel dönmenin neden olduğu 11 yıllık bir aktivite çevrimi vardır. Bu 11 yıllık dönemde Güneş, bir defa en çok aktif, bir defa da en az aktif hale gelir. Fakat çok ilginçtir ki, Güneş'in toplam ışınım enerjisi, bu aktivite dönemi içerisinde görünür bir değişim göstermemektedir. Bununla beraber, aktivite dönemi içerisinde belli dalga boylarındaki ışınım enerjisi azalırken, başka dalga boylarında artmış ve üstelik toplam enerji yayını değişmemiş olabilir. Dünya atmosferinde ışınım saçılma ve soğurulması dalga boyunun fonksiyonu olduğundan, bize ulaşan güneş enerjisi, belli dalga boylarında güneş aktivitesiyle değişmiş olabilir. On bir yıllık dönemi olan böyle bir değişimin de Dünya iklimini nasıl etkilediğini bilmiyoruz.

Güneş yarıçapında var olabilecek (Güneş'in parlamayı sönmülmesini sağlayacak kadar) büyük salınımları doğrudan gözlemek, bugüne kadar mümkün olmamıştır. 1975 ve 1976 yıllarında üç ayrı gözlemci grubu, Güneş yarıçapında

küçük ölçekli ve küçük dönemli değişimler saptamışlardır. Bu salınımların gerçekten varlığı, sonradan Fransız ve Sovyet gözlemciler tarafından da doğrulanmıştır. Bu salınımlar, bir bakıma güneş depremleridir. Deprem dalgalarının yayılma özelliklerini kullanarak, Dünya'nın iç yapısını nasıl öğreniyorsak, Güneş'teki salınım dalgalarını analiz edilerek, Güneş'in iç yapısı hakkında daha doğru bilgiler ulaşılabilir. Bu konuda yeteri kadar gözlemsel veri biriktiğinde, bunların analizi, belki de buzul çağlarına da ışık tutabilecektir.

Buzul çağlarının oluşum nedenleri, Güneş dışında başka etmenler de olabilir. Çünkü Dünya, uzayda çevre etkilerinden yalıtılmış değildir. Yıllar boyunca değişik dış etkilerle Dünya'ya ulaşan güneş enerjisi, zaman zaman büyük değişimler göstermiş olabilir. Örneğin Güneş, Dünya ve diğer gezegenlerle beraber, Samanyolu galaksisinin merkezi etrafında, 30.000 ışık yılı yarıçaplı dairesel bir yörüngede dolanır ve bu hareket sırasında güneş sistemi, belli aralıklarla galaksinin sarmal kolları içerisinden geçer. Sarmal kollar içerisinde çok sayıda yıldız, yoğun gaz ve toz bulutları vardır. Dünya böyle bir gaz ve toz bulutu içerisine girdiğinde, Güneş'ten gelen ışınım enerjisi düşebilir ve uzun süren bu durum, buzul çağlarına neden olmuş olabilir. Aslında, güneş sisteminin bir Samanyolu kolundan diğerine geçiş süresi de, iki buzul çağı arasındaki süreyle uyumaktadır. Fakat sarmal kollar içinde yoğun bulutlar o kadar fazla değildir. Oksijen 18 değişim grafiğindeki düzensizlik dikkate alınırsa, Dünya'nın her sarmal kol içinde aynı yoğunlukta ve büyüklükte gaz-toz bulutu içinden geçmiş olması beklenir ki, bu olasılık oldukça zayıftır. Bu bulutların çoğu, ısı ve ışık için büyük ölçüde geçirgendir; ancak, Dünya'ya ulaşan güneş rüzgârını durdurabilirler. Güneş rüzgârının Dünya iklimine etkisi, kuramsal olarak mümkün görülmemekle beraber, 17. asırda yaşanan şiddetli kışlar, böyle bir etkili destekler görünmektedir. Bu yıllarda, Güneş yüzeyinde uzunca bir süre güneş lekeleri, dolayısıyla güneş aktivitesi gözlenemediği bilinmektedir. Eğer böyleyse, o yıllarda elektrik yüklü parçacıklardan oluşan güneş rüzgârı da minimum düzeydeydi. Birçok astronom, o zaman yaşanan şiddetli kışları, güneş rüzgârındaki zayıflamaya bağlamaktadır. Aslında, zayıf güneş rüzgârı döneminin, şiddetli kışlar dönemine rastlaması bir tesadüf olabilir. Nitekim, süregelen detaylı gözlemler, Güneş'te aktivite dönemiyle Dünya iklimi arasında hiçbir görünür ilişki ortaya çıkaramamıştır.

# TARİHİ KAYDEDEN ÇAM AĞAÇLARI

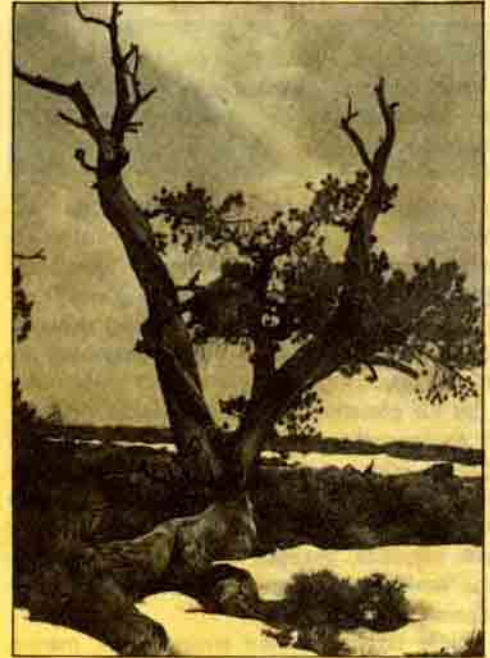
MÖ 17'inci yüzyılda, Ege Denizi'nde bir ada olan Santorini'deki köyler, muazzam bir volkan patlamasıyla yerle bir oldular. Bu patlamayla atmosferin üst katlarına kadar savrulan kül ve gazlar Güneş'i gölgelenecek, Dünya çevresinde sıcaklığı düşürecek düzeydeydi. ABD'deki Arizona Üniversitesi'nden Valmore La Marche Jr. ve Katherine Hirschoeck adlı araştırmacılar, patlamanın çok uzağında, Kuzey Amerika'daki "Tilki Kuyruğu Çam ağaçlarının - Pinus aristrata," (yeryüzündeki en yaşlı canlılardan biri) bu olayı kaydettiklerini ileri sürüyorlar.

Bilim adamları yıllardır, California'dan Colorado'ya kadarki bölgede yetişen bu ağaçların yıllık büyüme halkalarında, soğuk havanın yarattığı zararları gösteren izler bulunduğunu biliyorlardı. Çünkü pek çok durumda bu tür zarar özel bir bölgeyle sınırlı değildir; Le Marche ve Hirschoeck'a göre sıcaklık düşüşleri olasılıkla, volkan patlamaları sonucunda oluşan büyük hava olaylarından kaynaklanıyordu.

Araştırmacılar, geçmişteki binlerce yıl boyunca volkan patlamaları ile don zararlarının tarihlerini karşılaştırdıklarında, aralarında çarpıcı bir ilişki buldular. Halkalar, 1882-1968 yılları arasında meydana gelen ve atmosferin üst katlarına kadar kül-gaz bulutları savuran dört büyük patlamayı da yansıttığı gibi, don olaylarından kaynaklanan zarar izleri, St. Helen Yanardağı'nın MÖ 2035 yılındaki patlamasına kadar uzanıyordu.



Veryüzü'nün en yaşlı Canlılarından olan Tilki kuyruğu çamı ve iklim değişikliklerinin, ağacın büyüme halkalarında bıraktığı izler.



Grönland, Antartika ve daha başka yerlerdeki buz tabakalarındaki sülfür yönünden zengin atıklar ve tilkikuyruğu çamının kayıtları, bilim adamlarının tarihteki volkan patlamalarının şiddetini ölçmelerine olanak tanıyor ve tarihlerini saptamalarını sağlıyor. La Marche ve Hirschoeck'in bu yöntemle saptadıkları Santorini patlamasının tarihi, MÖ 1626.

Diğer taraftan, Avrupalıların güneş lekeli gözleyemediği 17. asrın şiddetli kışlar döneminde, Çin kayıtlarına göre, doğu ülkelerinde güneş lekeleri gözlenmiştir.

Güneş sisteminin, Samanyolu kolları arasından geçişi sırasında asıl etkin olay, süpernova patlamalarıdır. Dergimizin Ocak ve Şubat 1984 sayılarındaki Süpernova başlıklı yazılarda açıklandığı gibi, güneş sisteminin her bir koldan geçişi sırasında, 30 ışık yılı yakınında bir süpernova patla-

ması olasılığı vardır ve böyle bir olayla Dünya'daki iklim ve yaşam büyük etki görür. 1181, 1572 ve 1604 yıllarında Dünya'nın binlerce ışık yılı uzağında patlayan süpernovaların bile, Dünya'nın atmosfer yapısında değişiklikler yaptığı, Antarktika buzul katmanlarındaki nitret miktarı artımlarından anlaşılmıştır.

Yazımızın ikinci bölümünde, buzul çağlarının oluşumunda etkin olabilecek başka nedenler üzerinde durulacaktır.