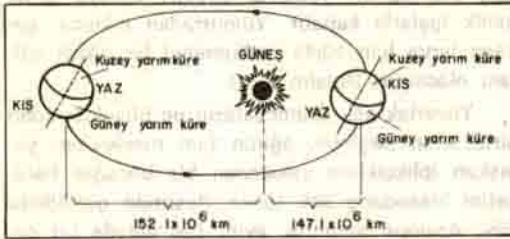


BUZUL ÇAĞLARI

Doc. Dr. Osman DEMİRCAN

Yugoslav astronom Milutin Milankovitch (1879-1958)'e göre, buzul çağlarının oluşumu, mutlaka Güneş'ten enerji yayımında bir düşüş olmasını gerektirmez. Güneş'in enerji yayımı sabit ve bugünkü değerinde de olsa, buzul çağları yaşamamız nasıl mümkün olabilir? Tıpkı bugün Grönland ve Antarktika'da olduğu gibi, kuzey ve güney kutup bölgelerine yakın olan bu kara parçaları tarih boyunca buzullar altında kalmıştır. Sıcaklığın yaz kış 0 °C'nin altında olması nedeniyle, yağın karlar asırlar boyunca üst üste birikmiş, erime olanağı bulamamıştır. Bu bölgelerde sıcaklığın düşük olmasının nedenleri; (a) güneş ışınlarının yüzeye çok eğik gelmesi, (b) yılın büyük kısmında Güneş'in, ufuk altında olması ve (c) ışınımın büyük kısmının beyaz kar ve buz örtüsünden yansıyor, tekrar uzaya dön-



Dünya'nın Güneş etrafındaki eliptik yörüngesi. Yörünge düzlemine dik olmayan dönme eksenini gösterilmiştir. Dünya, Ocak ayı başlarında Güneş'e en yakın, 6 ay sonra, Temmuz ayı başlarında da Güneş'ten en uzak konumda bulunur. Kuzey yarımkürede yaşayan bizler, Güneş'e yakın bulunduğumuz aylarda (güneş ışınlarının eğik gelmesi nedeniyle) kış mevsimi yaşarız ve güney yarımküredekiler, bu kış aylarında yaz mevsimini yaşarlar.

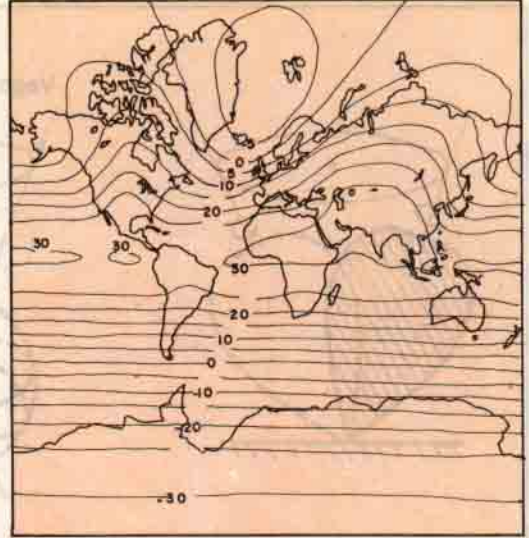
Geçen sayıda yer alan "Buzul Çağları" başlıklı yazının devamı niteliğinde olan bu yazıda, buzul çağlarının oluşumuna açıklık getirmeyi amaçlayan Milankovitch kuramı üzerinde durulacaktır. Bu kuramda, Dünya'nın dönme eksenini ve yörüngesindeki uzun dönemli değişimlerin, buzul çağlarının oluşum koşullarını sağlayabileceği savunulmaktadır.

mesidir. 18.000 yıl önce yaşanan buzul çağında, Grönland ve Antarktika'ya ek olarak Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa'nın bir kısmı da buzullar altındadır. Oyleyse o çağda, bu bölgelerde de (bugünkü Grönland ve Antarktika'da olduğu gibi) yaz sıcaklığı 0 °C'nin üstüne çıkmıyordu. İki haritada, Dünya'nın bugünkü ve 115.000 yıl önceki Temmuz ayı sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırmalar Merkezi'nce hazırlanan bu haritalarda, yazın bile sıcaklığı 0 °C'nin altında olan bölgeler buzullar altındadır. Dünya üzerinde buzullarla kaplı bölge sınırlarının zamanla yer değiştirmesinin nedeni ne olabilir? Milankovitch bu nedeni, Dünya'nın yörünge öğelerindeki uzun dönemli değişimlerde aramaktadır. O'na göre, Dünya'nın dönme eksenini ve yörüngesindeki değişimler, buzul çağlarının oluşum koşullarını sağlamak için yeterlidir. Burada kastettiğimiz buzul çağları, Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa'nın bir kısmının buzullarla kaplı olduğu dönemlerdir.

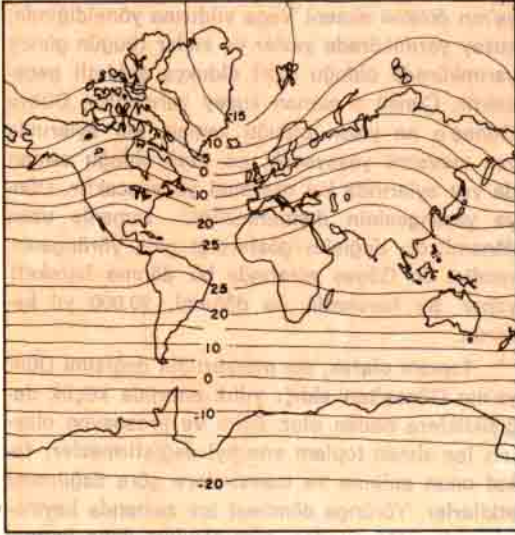
Biliyoruz ki, Dünya üzerinde bir noktadaki sıcaklık, (a) o noktanın doğrudan güneş ışını alıp almamasına, alıyorsa; b) güneş ışınlarının doğrultusuna, daha doğrusu güneş ışınlarının yüzeye yaptığı açıya, (c) ışınım alan yüzeyin güneş ışınlarını yansıtma karakterine (albedo) ve (d) Dünya-Güneş uzaklığına bağlıdır. İlk nedenden dolayı, güneş alan yerler gölgelere göre daha sıcaktır. Gecelerin gündüzlere göre daha soğuk olması da aynı nedenden kaynaklanmaktadır. Farklı mevsimleri yaşamış olmamız ikinci nedene dayanır. Yaz aylarında Güneş oldukça yüksekten geçerken, kışın gökyüzünde güney ufkuna yakın, yatık, küçük bir yay çizer; kışın gündüzlerin kısalığı da bun-

dandır. Dünya'nın dönme eksenini, kısa zaman aralığında uzay konumunu değiştirmez ve biliyoruz ki bu eksen, dolanma düzlemine göre $\sim 23.5^\circ$ kadar eğiktir. Bu nedenle, Dünya'nın yörünge hareketi boyunca güneş ışınlarının dik geldiği bölgeler, bir yıllık dönemle değişir. Yaz aylarında kuzey yarımküre güneş ışınlarını daha dik alırken, güney yarımküre, eğik aldığı güneş ışınlarıyla, yaz aylarında kış mevsimi yaşamaktadır. Altı ay sonra Dünya'nın yörünge konumu öyle bir yere gelir ki, dönme eksenini konumunun değişmemesi nedeniyle, kuzey yarımküre eğik aldığı güneş ışınlarıyla kış; güney yarımküre ise dik aldığı güneş ışınlarıyla yaz mevsimi yaşar.

Dünya'nın yörüngesi elips biçimindedir. Bu nedenle, Güneş'e olan uzaklığımız sürekli değişir; en yakın olduğumuzda, Güneş'ten 147.1 milyon km. uzakta, en uzak olduğumuzda da 152.1 milyon km. uzakta bulunuyoruz. Fakat ilginçtir ki, Ocak ayı başında Güneş'e en yakın Temmuz ayı başında da en uzak konumda bulunuyoruz. Terslişe bakın ki, Güneş'e en yakın bulunduğumuzda kış mevsimi, en uzak olduğumuzda da yaz mevsimi yaşıyoruz. Hatırlayalım ki, mevsimlerin oluşum nedeni, güneş ışınlarının yeryüzeyiyle yap-



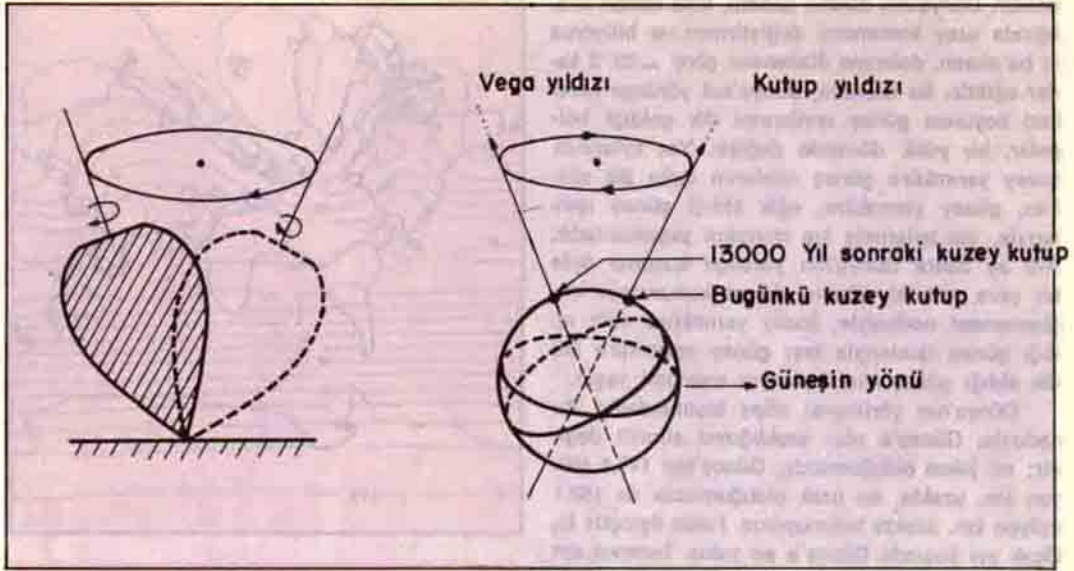
Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisine atmosfer etkisi, enleme ve zamana göre ışınların gelme açısı, albedo etkisi, Dünya'nın dönme, dolanma, presesyon ve ve nütasyon hareketleri etkisi, Dünya yörüngesindeki uzun dönemli değişme etkileri gibi düşünülebilen tüm faktörler dikkate alınarak, Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırmalar Merkezi'nden G.R. North, D.A. Short ve J.G. Mengel tarafından hazırlanan iklim modeliyle bilgisayara hazırlanan Temmuz 1983 Dünya sıcaklık ortalamaları haritası. Gözlemsel değerlerle tamamen uyuşan bu haritada gösterildiği gibi Temmuz ayında sıfırın altındaki sıcaklık bölgeleri (Grönland ve Antarktika) gerçekten buzlarla kaplıdır.



Sayfanın sol üstünde yer alan şekildedeki sıcaklık dağılımı haritasının hazırlanmasında kullanılan iklim modeliyle, 115.000 yıl öncesinin Temmuz ayı için hazırlanan Dünya sıcaklık dağılımı haritası. Bu haritada sıfırın altındaki bölgeler, 115.000 yıl önce hüküm süren buzul çağında, buzullar altında bulunan bölgeleri göstermektedir.

tiği açı değişimidir. Güneş'e yaklaşım, uzaklaşma, mevsim sıcaklıkları arasındaki farkı etkiler. Örneğin, kuzey yarımkürede kışların güney yarımküredeki kışlara göre daha ılıman olması, kuzey yarımkürede kış mevsimi yaşanırken Dünya'nın Güneş'e en yakın konumda olmasıdır. Aynı nedenle, güney yarımkürenin yazları, kuzey yarımkürenin yazlarından çok daha sıcaktır. Çünkü, güney yarımküre yaz mevsimini, Dünya Güneş'e en yakın konuma geldiği zaman yaşar; güney yarımküredeki insanların genelde esmer tenli olmalarının nedeni de budur.

Sıcaklık değişiminde etkin olan yukarıda saydığımız etmenler, buzul çağlarını açıklamaya



Dönen bir topacın ve Dünya'nın presesyon hareketleri. Dünya'nın dönme eksenini, bir topacın dönme eksenini gibi zamanla yer değiştirerek, uzun sürede (dönemi 20.000 yıl) bir koni yüzeyi çizer. Dönme ekseninin bu hareketine presesyon hareketi denir. Ay'ın çekim etkisiyle bu harekette de daha kısa dönemli değişiklikler olur ki, buna da nütasyon hareketi denir. Presesyon hareketinin, uzun dönemli iklim değişikliklerinde büyük payı vardır.

yeterli değildir. Hepsini kısa dönemli etmenlerdir, Dünya yüzeyinde, uzun dönemde bir sıcaklık değişimi oluşturmazlar.

Dünya'nın kısa dönemde kararlı olan dönme eksenini, uzun dönemde bir presesyon hareketi (Şekle bakınız) yapar. Bugün dönme eksenini, kuzey yönünde kutup yıldızına yönelmiştir. 13.000 yıl kadar sonra, bu eksenini Vega yıldızından geçeceği bilinmektedir. Hareketin dönemi ~ 26.000 yıldır. Dünya'ya ilişkin diğer yörünge öğelerinde de zamanla, Ay ve diğer gezegenlerin etkisiyle dönemli olan değişimler görülür. Örneğin dönme eksenini eğikliği 40.000 yıllık bir dönemle 22°1' - 24°5' arasında; yörünge dışmerkezliği (e) ~ 100.000 yıllık dönemle 0.005-0.06 arasında değişir. Buzul çağlarının oluşumu, işte bu tür değişimlere bağlanmaktadır.

Milankovitch'in 1920'lerde ve 1930'larda yaptığı uzun incelemelere göre, buzul çağlarının oluşumu için bu değişimler yeterlidir. Örneğin basitçe görülebilir ki, dönme ekseninin eğikliğinin artmasıyla her iki yarımkürede hatta kutuplarda bile kışlar daha soğuk yazlar daha sıcak olacaktır. Diğer taraftan, 13.000 yıl kadar sonra Dünya'nın dönme eksenini Vega yıldızına yöneldiğinde, kuzey yarımkürede yazlar ve kışlar (bugün güney yarımkürede olduğu gibi) oldukça şiddetli geçecektir. Çünkü o zaman kuzey yarımküre, Dünya Güneş'e en yakın olduğu zaman, kış aylarında yaz mevsimi yaşayacak, en uzak olduğu zaman da yaz aylarında kış mevsimi yaşayacaktır. Dünya yörüngesinin dışmerkezliği, zamanla uzun dönemli bir değişim gösterdiği gibi, yörünge kendisi de Güneş etrafında bir dönme hareketi yapar. Bu hareketin de dönemi, 20.000 yıldır.

Toplam olarak, dış merkezliğin değişimi Dünya'nın Güneş'ten aldığı yıllık enerjide küçük değişikliklere neden olur. Eğim ve presesyon olayları ise alınan toplam enerjiyi değiştirmezler; fakat onun enleme ve mevsimlere göre dağılımını etkilerler. Yörünge dönmesi ise zamanda kaymaya neden olduğundan, tüm olayları daha karmaşık hale getirir; fakat gerçekte alınan enerji miktarını etkilemez.

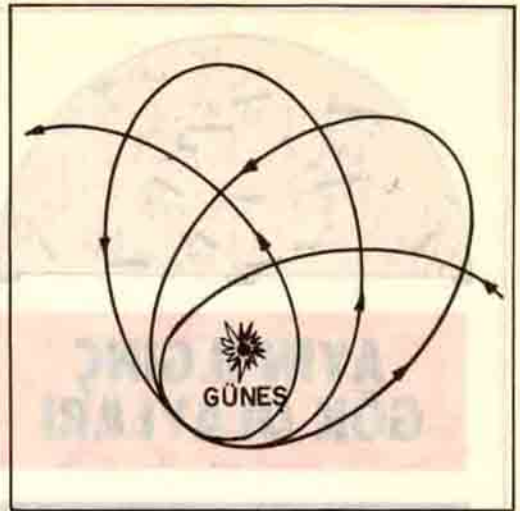
Buzul çağının oluşumu için yaz sıcaklığı çok önemlidir. Çünkü kışın, yüksek enlemlerde zaten kar yağar ve birikir. Önemli olan kışın ne kadar kar biriktiği değil, yaz sonunda ne kadar kar kaldığıdır. Eğer yüksek enlemlerde, kışın yağın tüm karı eritemeyecek şiddette bir yaz yaşanırsa, kıştan kışa biriken karın erimeyen kısmı üst üste birikerek, zamanla buzul katmanla-

rını oluşturur ve o bölge buzul çağına girer. Eğer yazın alınan güneş enerjisi artar; kışın, yazın eritilenden daha az kar yağarsa, bölge zamanla buzullardan kurtulup normal iklimine döner.

Diğer taraftan kuzey yarımkürede özellikle bu kürenin yüksek enlemlerinde yaz sıcaklığı daha önemlidir; çünkü buzullar karalar üzerinde oluşur ve kuzey kürede karalar, güney küreye göre çok daha fazla yer tutar.

Son on yıldır yapılan yoğun çalışmalar sonunda, buzul çağları oluşumunun, Dünya yörünge öğelerindeki uzun dönemli değişimlerin iklim olan ortak etkisinden kaynaklandığı saptanmıştır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri araştırma merkezlerinde bu konuda sürdürülen çalışmalarda, Dünya atmosferinin etkisi de dahil yakarıda saydığımız tüm etkiler dikkate alınarak, Dünya iklimindeki uzun dönemli değişimler hızlı bilgisayarlarla modellenerek buzul çağları anlaşılmasına çalışılmaktadır. Her şeye karşın, oksi- jen 18 bolluk gözlemlerinden bulunan 100.000 yıllık dönem açıklanamamaktadır. Buzul çağları, neden 26.000 yıllık presesyon 200.000 yıllık yörünge dönmesi, 40000 yıllık eğimdeki değişim ve 100.000 yıllık dışmerkezlik değişimi dönemlerinden sonuncusunu tercih edip, 100.000 yıllık dönemlerle oluşmaktadır? İklim dışmerkezlik değişim etkisi, diğerlerinden daha büyük değildir. Burada, başkaca etkenlerin dikkate alınması gereği ortaya çıkmaktadır. Örneğin, (a) Amerika'nın milyonlarca yıl önce sürüklenecek Avrasya'dan ayrılması, sıcaklığın düşüp buzul çağlarının başlamasında etkin olmuş olabilir. (b) Çok sayıda volkanik patlamalar sonunda üst atmosferde daha fazla güneş enerjisi saçılıp, soğurularak, karalar soğuyup buzul çağlarının başlaması hızlanmış olabilir. (c) Buzul çağlarında biriken kilometrelerce kalınlığında buzullar etkisiyle kıtaların düşey hareketi, buzulların birikim ve erime sürelerini etkin biçimde geciktirmiş olabilir.

Dünya bundan sonrada buzul çağları geçirecek mi dersiniz? İşte bu beklenmiyor. Sanılıyor ki, 18.000 yıl önce yaşanan Dünya'nın son buzul çağıydı. Niye mi? Dünya bu hızla endüstrileşmeye devam ederse, hava kirliliği öyle artacak ki, atmosferde biriken karbon dioksitle Dünya'nın ısı kaybı azalacak; yani atmosferin sera etkisi artacak. Bu 21. asır başlarında öyle bir düzeye ge-



Dünya yörüngesinin Güneş etrafındaki uzun dönemli hareketi. Einstein kuramıyla tahmin edilip, sonradan gözlemsel olarak da belirlenen bu hareketin de Milankovitch'e göre, uzun dönemli iklim değişikliklerinde payı vardır.

lecek ki, artık Dünya'nın yörünge öğelerindeki değişimler, Dünya iklimini buzul çağına sokacak kadar etkilemeyecektir. ■

● Okyanuslardaki büyük akıntılar, zaman zaman olağandışı iklim koşullarının ortaya çıkmasında rol oynuyorlar.

Örneğin, Pasifik Okyanusu'ndaki sıcak su akıntısı El Nino, geçtiğimiz kış mevsiminde batı kıyılarında çok kötü hava koşullarına neden olduğu gibi, Dünya'nın dönüşünü de birkaç gün yavaşlattı. Boston Atmosfer ve Çevre Araştırmaları Enstitüsü'ndeki meteorolojistlere göre, sıcak suların yarattığı farklı atmosferik basınçlardan kaynaklanan bu yavaşlama, günde milisaniyenin 50'de 1'i kadardı.

Atalarından sana kalanı hak etmeye bak. Yoksa senin olmazlar.

GOETHE