

PUSULA KUZEYİ GÖSTERMEDİĞİNDE...

MANYETİK TERSİNME

Pusulanın iğnesi bir gün, kuzey yerine güneyi gösterecek. Gezegenimizin manyetik kutupları, binlerce yıl süren dönemlerin ardından yer değiştiriyor. Bize olağandışı gibi görünen bu durum, aslında milyarlarca yıldır tekrarlanıyor. Ne var ki, insanoğlu tarihi boyunca böyle bir değişimle hiç karşılaşmadı. Dünya'nın manyetik alanı, bizi kozmik ışınlardan koruyan bir kalkan. Manyetik kutupların yer değiştirme süreci sırasında, bu alanın etkisinin önemli ölçüde azaldığı düşünülüyor. Bu nedenle, değişim sürecinin özellikle gezegenimizdeki yaşam üzerinde birtakım etkilerinin olması kaçınılmaz. Bilim adamları, şimdi yeni bir değişim sürecinin başlamak üzere olduğunu vurguluyorlar. Hatta, birçoğuna göre bu süreç çoktan başladı bile.

Manyetik alandan yalnızca pusulayla yönümüzü bulurken yararlanmıyoruz. Aslında, yeryüzündeki yaşamın ona bağlı olduğunu söylemek yanlış olmaz. Çünkü manyetik alan bizi uzaydaki zararlı ışınlardan korumakla kalmıyor, yeryüzünde ve denizlerde yaşayan birçok canlı, yönlerini bulabilmek için de manyetik alandan yararlanıyor. Peki, ya bu alan bir gün yok olursa, ya da tersinirse (yön değiştirirse) ne olur? Araştırmalar, gezegenimizin manyetik alanının düzenli olarak tersindiğini gösteriyor. Tersinme süreci, yüz bin ila bir milyon yılda bir gerçekleşiyor ve ortalama 5.000 yılda tamamlanıyor. Bu süreler bize uzun gibi görünebilir;

ancak yapılan son araştırmalar, yeni bir tersinmenin eşiğine gelmiş olabileceğimizin ipuçlarını veriyor. Tersinme sürecinde, manyetik alan ciddi bir karsızlık yaşıyor. Hatta, bu sırada uzun bir süre iki kutuplu manyetik alanın şiddeti önemli ölçüde düşüyor, çok kutuplu bir manyetik alan oluşuyor.

Gezegenimizde gerçekleşen en son manyetik kutup tersinmesinin 778.000 yıl önce gerçekleştiği biliniyor. Gezegenimizin en azından 3 milyar yıllık bir manyetik geçmişinin olduğunu düşündüğümüzde, bunun kısa bir süre olduğunu görüyoruz. Ayrıca jeolojik veriler, bu tarihten sonra da gezegenimizin manyetik alanının yönünü birçok

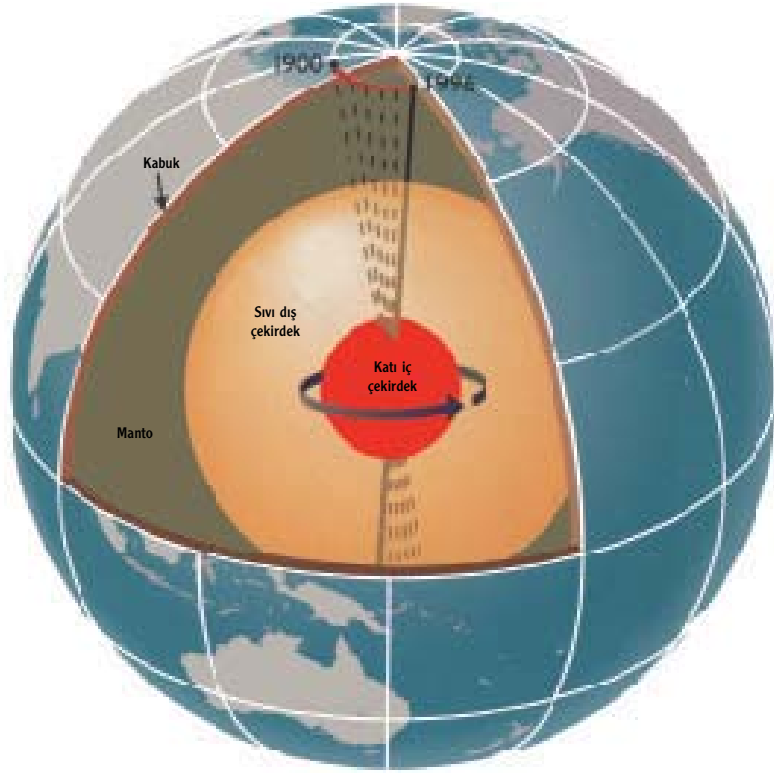
kez değiştirmeye çalıştığını gösteriyor. Manyetik alanın şiddetinde, son birkaç yüzyıl içinde gözlenen hızlı düşüş, bilim çevrelerinde bu sıralar dikkat çekiyor. Geçtiğimiz yılın sonunda ABD'de San Francisco'da yapılan Jeofizik Birliği toplantısının gündeminde yer alan konulardan biri de buydu.

Geçmişle ilgili kayıtlara bakıldığında, böyle bir düşüşün bir kutup tersinmesi öncesi gerçekleşen tipik bir durum olduğu görülüyor. Eğer bir tersinme kapıdaysa, elbette bunun birden bire olması beklenmiyor. Yani, yaklaşık 5000 yıl sürmesi beklenen böyle bir değişim sürecinde, pusulalarımızı ayarlamak için yeterince zamanımız ola-

cak. Hatta, kuşların ve manyetik alana göre yön bulan canların da buna ayak uydurmaları çok zor olmayabilir. Ancak, bu değişim sürecinin bir takım başka etkileri de olacak. Manyetik alanın şiddetinde ve biçiminde oluşacak değişiklikler, yüklü parçacıkların atmosfere giriş biçimini etkileyecek. Bu durum, kutup ışıklarına ilgi duyanları sevindirecek belki; ama yeryüzüne ulaşan zararlı ışıının önemli ölçüde artmasına neden olabilecektir. Eğer bu durum, atmosferdeki ozonun bozunmasına yol açarsa, morötesi ışıının yeryüzüne daha fazla ulaşması kaçınılmaz olur. Bazı araştırmacılar, belli dönemlerde canlıların büyük bölümünün soyunun tükenmesini manyetik kutupların değişim sürecine bağlıyorlar. Yeryüzüne ulaşan yüklü parçacıklar ayrıca iletişim hatlarına ve yörüngede dolanan uydulara ciddi zararlar verebilirler. Neyse ki Hollywood, bizi bu zor durumdan kurtarmanın yolunu bilim adamlarından önce buldu. Önceki yıl vizyona giren “Çekirdek” (The Core) adlı filmde, manyetik alanı yeniden yaratarak yeryüzünü zararlı ışıından koruyabilmek için, manto tabakasını delip geçerek dış çekirdeğe ulaşabilen bir araç yapılıyor. Gözüpek araştırmacılar bu araçla, binlerde derece sıcaklıktaki ergimiş katmana inip yerkürenin derinlerinde atom bombaları patlatarak manyetik alanın yeniden canlanmasını sağlıyorlar.

Alanın Kaynağı

Dünya'nın manyetik alanı, basit bir çubuk mıknatısın manyetik alanına benzer. Gezegenimizin manyetik alanının varlığının yüzyıllardır bilinmesine karşın, gizemi hala tam olarak çözülmemiş değil. Gezegenimizin dış kabuğunun altında bulunan ve gezegenin toplam kütlesinin %50'sini ve hacminin %68'ini oluşturan manto, büyük oranda manyetik özelliğe sahip demir içeren silikat bileşiklerinden oluşur. Mantonun içinde yer alan ve demirce zengin olan dış çekirdek manyetik alanın oluşumundan birinci derecede sorumlu tutuluyor. Dış çekirdeğin başladığı yerde (yaklaşık 2900 km derinlikte) manyetik alan şiddeti, yüzeydeki yaklaşık 10 katıdır. Elektriksel bakımdan mükemmel bir iletken olan sıvı dış çekirdeğin, mantodaki manyetik alan



Jeofizikçiler, gezegenimizin çekirdeğinin, dış katmanlara göre daha hızlı döndüğünü keşfettiler. Bununla birlikte, sıvı katmanlardaki çalkantılar, manyetik alanın oluşumundan sorumlu tutuluyor.

şiddetinden 100 kat daha şiddetli manyetik alana sahip olabileceği sanılıyor. Manyetik alan, ancak elektrik akımı olduğunda ortaya çıkar. Bu bölgedeki yüksek sıcaklığın etkisiyle iyonlaşan elementler ve iyi bir iletken olan katmandaki çalkantılar, bir dinamo gibi çalışarak manyetik alanı oluşturur.

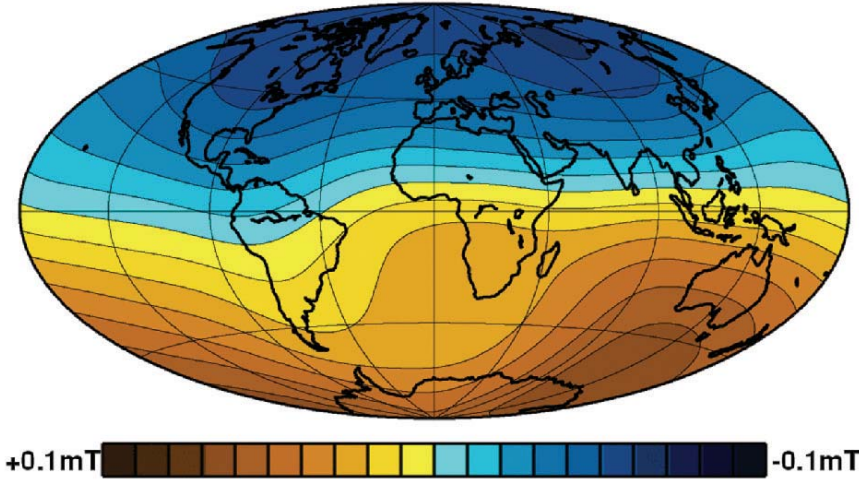
Manyetik alanın yönünde meydana gelen kısa dönemli değişimler (yüz yıllık dönemlerdeki birkaç derecelik sapmalar gibi), dış çekirdekdeki küçük ve rastgele ortaya çıkan çalkantılarla açıklanıyor. Manyetik alan çizgilerinin batıya doğru olan hareketi de gezegenin eksenini çevresinde dönmesine bağlı oluyor. Eğer dinamo etkisi bir şekilde durursa, enerji kaybına bağlı olarak manyetik alanın ortadan tümüyle kalmasının 10.000 ila 50.000 yıl süreceği sanılıyor. Dinamo etkisinin gerçekleşebilmesi için, enerji gerekiyor. Eski jeolojik kayaların incelenmesinde elde edilen verilere göre, geçmiştekiyle günümüzdeki manyetik alan şiddetleri birbirinden çok farklı değil. Dış çekirdekdeki çalkantıların ne kadar hızlı gerçekleştiğini doğrudan ölçmek olası değil. Ancak jeofizikçiler, hareketin yılda 10 ila 30 km olduğunu düşünüyorlar. Çalkantı, enerjisini ısınan sıvının yükselme özelliğinden alıyor. Burada

yürütücü kuvvet, Dünya'nın çekirdeğinden dışarı doğru yavaş yavaş salınan ısı enerjisi. Enerji, dış çekirdekdeki çalkantılarla dışarı doğru taşınıyor. Bu hareket, Dünya'nın dönme hareketiyle birleşince ortaya dinamo özelliği çıkıyor ve manyetik alan oluşuyor.

Henüz kaygılanmak için çok erken ama, bir gün gezegenimizin manyetik alanını tümüyle yitireceği düşünülüyor. Sıvı haldeki dış çekirdek soğuyup katılaştığında, manyetik alanı oluşturan dinamo etkisi tümüyle ortadan kalkacak. Bu durum, Mars'ta gözleniyor. Mars, soğumuş çekirdeği nedeniyle manyetik alanını kaybetmiş durumda. Mars Global Surveyor uzay aracının verilerine göre, gezegende bir zamanlar kutup tersinmeleri de meydana geliyordu.

Tersinen Alan

Gezegenimizin geçmişinde gerçekleşmiş manyetik kutup tersinmelerinin izlerini aramak için en uygun yer kayalar. Manyetit ve hematit gibi demir oksitleri, mıknatıslanma özellikleri sayesinde geçmişin kayıtlarını tutarlar. Yanardağ patlamaları sırasında akan lavlar, mıknatıslanma özelliği olan demir bileşiklerini de yeryüzüne taşır. Sıcak



Gezegnimizin manyetik alan şiddetinin yüzeydeki dağılımı. Mavi renk kuzey yönlü, turuncu renk güney yönlü alanı simgeliyor.

lavlar sıvı halde olduğundan, içerdikleri demir bileşikleri Dünya'nın manyetik alanına göre yönelirler. Lav katmanı yaklaşık 580°C'ye soğuduğunda katılaşır ve artık hareket edemeyen demir bileşikleri lavın katılaştığı andaki manyetik alanın yönünü kaydetmiş olurlar. Bu kayaların tarihlendirmesi yapılarak ve içerdikleri demir oksit minerallerinin yönüne bakılarak, manyetik alanın ne zaman ne biçimde olduğu anlaşılabilir, hatta manyetik alan şiddeti bulunabilir.

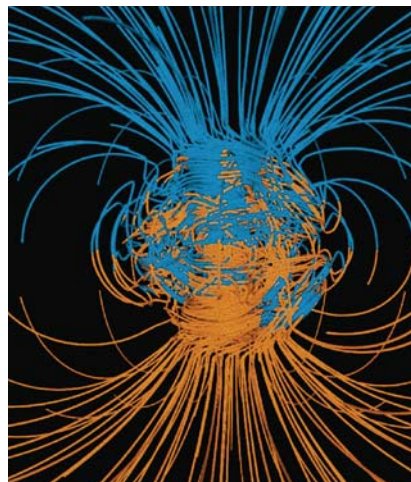
Kayalar, eskiye ait birden fazla veriye de saklayabilir. Mıknatıslanmanın yönü saptanırken, yükselme ve eğiklik olarak iki koordinata bakılır. Bu şekilde sanal manyetik kutbun (manyetik kutbun Dünya'nın yüzeyindeki izdüşümü) yeri bulunabilir. Bir milyon yaşından daha genç kayalardan elde edilen verilere bakılarak saptanan sanal manyetik kutupların konumları, Dünya'nın dönme eksenini çevresinde yoğunlaşıyor. Bu da gezegenin manyetik kutuplarının gezegenin dönme eksenine bağlı olduğu şeklinde, basit bir model oluşturulmasına neden oldu. Bu model, birkaç derecelik farklarla da olsa doğru. Araştırmacılar, coğrafi kutbun manyetik kutupla çakıştığını varsayarak, kıtaların geçmişteki hareketlerini saptama yoluna gidiyorlar.

Manyetik alan tersinmelerinin kronolojisi belirlenirken, ilk olarak yeryüzündeki kayaların geleneksel tarihlendirme yöntemleri kullanılarak yaşları bulunuyor. Bu, araştırmacıların kayaların ne kadar süre önce oluştuğunu, dolayısıyla ne zaman mıknatıslandıklarını bulmalarını sağlıyor. Bu yöntem-

lerle, örneğin 30 milyon yaşındaki bir volkanik kayanın yaşı, yaklaşık 30.000 yıllık bir hata payıyla bulunabiliyor. Zamanla geriye gidildikçe, bu yöntemlerin duyarlılığı azalıyor.

Daha duyarlı ölçümler, okyanus tabanının tarihlendirilmesiyle yapılabilir. Okyanus tabanını oluşturan kabuk, çok düzenli ve sürekli bir biçimde oluşuyor. Okyanus ortası sırtlardan dışa doğru ilerleyen kabuktaki mıknatıslanma anormallikleri, gezegenimizin manyetik alanındaki değişimleri gösteriyor. Bu araştırmalara göre, manyetik alanının yönünü tarih içinde, ortalama 200.000 yıl aralarla gerçekleşmiş. Okyanus tabanından elde edilen veriler ışığında elde edilen, son 160 milyon yılın manyetik alan yönleriyle ilgili veriler oldukça ayrıntılı.

Bu kayıtlar içinde, dikkat çeken iki

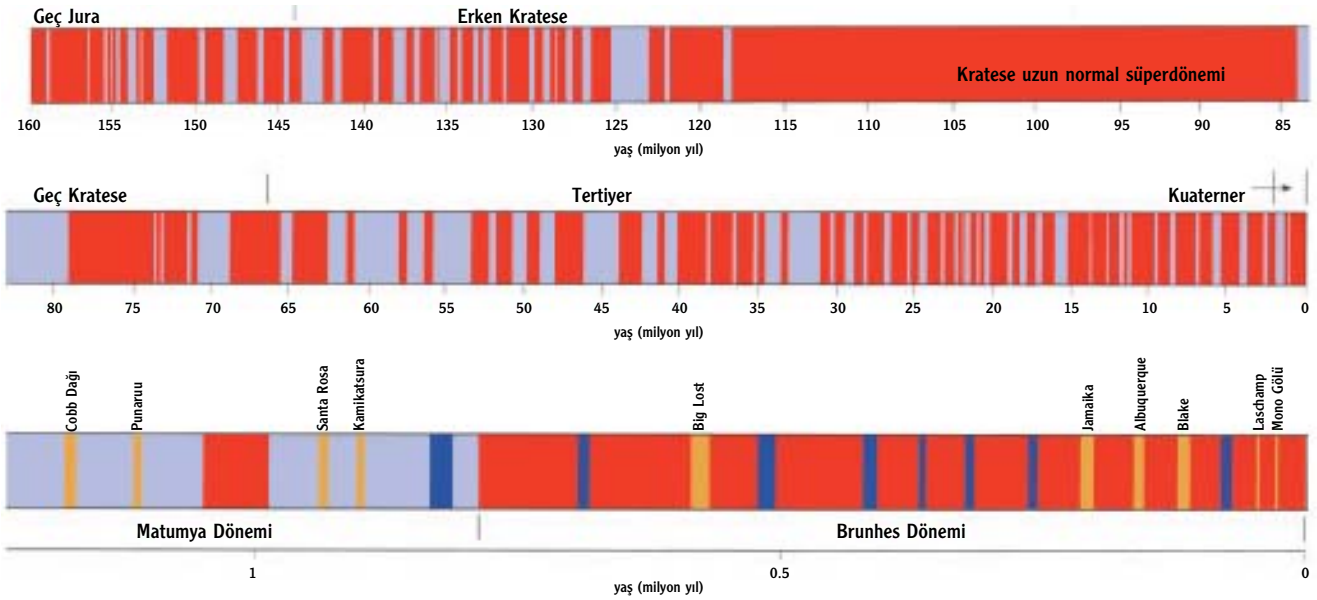


Dünya'nın manyetik alanındaki değişimler, süperbilgisayarlar ve özel yazılımlar kullanılarak canlandırılıyor. Bu sayede, milyonlarca yıl içinde gerçekleşen değişimler izlenebiliyor, ileriye yönelik tahminler yapılabilir.

belirgin dönem var. Fanerozoik Dönem olarak adlandırılan geçmiş 543 milyon yıl içinde, manyetik alanın yönünün sabit kaldığı iki uzun dönem var. Bu dönemlerden biri, 114 ile 83 milyon yıllar öncesinde, ötekiyse 320 ile 260 milyon yıl öncesinde gerçekleşmiş. Manyetik alan yönünün değişmediği bu uzun dönemlerin gizemi henüz çözülebilmemiş değil. Çünkü, sıvı halde bulunan dış çekirdekdeki hareketlilik oldukça yüksek. Bu nedenle bu bölgenin yaklaşık 100.000 yıldan daha uzun bir süre için sabit bir manyetik alan oluşturamayacağı düşünülüyor. Bu yaklaşımın doğru olduğunu düşünen bilim adamları, manyetik alandaki değişimlerde mantonun da rolünün bulunabileceğini düşünüyorlar. Katı yapıdaki manto, çekirdeğe göre çok daha yavaş hareketlilik gösteriyor. Bu durum, Orta Kretase ve Geç Paleozoik dönemlere karşılık gelen bu uzun dönemlerde mantoda neler olduğu sorusunu gündeme getiriyor. Ayrıca araştırmalar, bu dönemlerin ardından gerçekleşen kutup değişimlerinin sıklığının arttığını da gösteriyor.

Orta Kretase döneminde (yaklaşık 100 milyon yıl önce), kısmen de olsa okyanus tabanındaki kaymalara bağlı olarak, deniz seviyesinde küresel çapta önemli bir yükselme olduğu gözleniyor. Bir yandan da Permo-Karbonifer jeolojik dönemlerinde manyetik alanın sabit kaldığı uzun dönem, Süperkıta Pangea'nın birleşmesiyle yaklaşık aynı zamana denk geliyor. Bu dönemde, tüm karalar aynı kıtada toplanmıştı. Okyanus tabanında bu zamana ait manyetik kayıtlar bulunmamakla birlikte, Pangea'nın oluşumu sırasında mantonun ısıl yapısının normalden oldukça farklı olduğu öne sürülüyor.

Jeomanyetik alan şiddetindeki uzun dönemli değişimler, özellikle son zamanlarda ilgi odağı haline gelmiş durumda. Alanın şiddetinin, yön değiştirme hızıyla ilişkisinin bulunması, bu ilgiyi artıran nedenlerden biri. Uzun dönemli ve tersinmeyen manyetik alan, onu yaratan olayların bozulmadan düzenli olarak gerçekleşmesi sayesinde şiddetli oluyor. Bunun tersi de geçerli: Kısa sürelerle tersinen alanın yönü, düşük şiddetli manyetik alanla ilişkili. Bu durum, özellikle 1990'lı yıllarda yapılmış birçok araştırma tarafından destekleniyor.



Okyanus tabanından elde edilebilen 160 milyon yıllık veriler, manyetik kutupların yüz defadan fazla tersindiğini gösteriyor. Günümüzdeki gibi, kuzeyin yukarıda olduğu normal dönemler kırmızıyla, ters kutuplu dönemlerse maviyle gösteriliyor. Okyanus tabanından elde edilen verilerden, manyetik alanın zayıfladığı dönemleri saptamak zor. Bu nedenle eski veriler çok duyarlı değil. Ancak, özellikle son 1,2 milyon yıldaki değişimler, volkanik kayalardan elde edilen verilerin ışığında, ayrıntılı olarak biliniyor. Bu kayıtlar, iki kutuplu manyetik alanın değişmeden, kısa dönemli olarak bozulduğu dönemleri de içeriyor. Sarı renk, toplam manyetik alanın bu bozulmalar sırasında normal yönde, lacivertse ters yönde olduğu dönemleri gösteriyor. Bu dönemler adlarını, verilerin bulunduğu yerlerden alıyor.

Tersinme Süreci

Dünya'nın manyetik alanının yönünün nasıl değiştiğini anlayabilmek için, araştırmacılar tarihte gerçekleşen tersinmeleri inceliyorlar. Bu yaklaşımdaki en büyük zorluk, tersinme sürecinin manyetik alanın sabit kaldığı öteki zamanlara göre çok kısa sürmesi. Bu durum, eski mıknatıslanma kayıtları arasında bu verileri bulmayı güçleştiriyor. Geçiş önemleriyle ilgili daha önce yapılan çalışmalar, bu sırada kutupların 180° dönene kadar bir yay izlediğini öne süren varsayımı doğrulama kaygısıyla yapıyordu. Bu durumda, sanal manyetik kutupların yeryüzünde yavaş yavaş ilerleyerek tersinmesi gerekirdi. Ancak, gezegenimizin değişik bölgelerinden toplanan çok sayıda verinin incelenmesiyle, araştırmacılar bunun doğru olmadığını farkettiler. Kayalarda geçişler sırasında oluşan mıknatıslanmaya bakılarak yerleri belirlenen sanal manyetik kutupların bir yay oluşturacak biçimde birleşmediği ortaya çıktı.

Tersinmeler sırasında, manyetik alanın nasıl değiştiği konusunda sağlam bir veri elde etmek için, belli bir geçiş dönemine ait çok sayıda ve değişik yerlerden alınan örnekler gerekiyor. Bunun için bakılabilecek en iyi yerler, volkanik kayalar. Çünkü, jeolojik bakımdan çok kısa bir dönemin, çok duyarlı bir kaydı bu kayalarda saklı olabiliyor.

Ancak buradaki sorun, yanardağ patlamalarının sürekli değil, arada bir gerçekleşmesi. Bu nedenle, eski manyetik alan kayıtları sürekli olmayabiliyor. Ayrıca, bir bölgede gerçekleşen bir yanardağ patlaması, bazen bir başka yerdekiyle ilişkilendirilemiyor. Bu yöntemin yerine kullanılabilen bir yöntem de, manyetik alan kayıtlarının, denizlerin tabanındaki çökelti katmanlarına bakılarak elde edilmesine dayanıyor. Ancak, bu yöntemin de bazı sorunları var. En büyük sorun, kayalarda hapsedilen alan yönlerinin zamanla değişebilme olasılıklarının bulunması.

Fransa'daki Faible Araştırma Merkezi'nden Carlo Laj ve çalışma arkadaşları, yaklaşık 10 yıl önce önemli bir gözlem yaptılar. Kutup tersinmeleri sırasında, özellikle çökelti kayalarda oluşmuş sanal manyetik kutupların izlerini incelerken, sanal kutupların çoğunun iki ana boylamsal bantta toplandığını buldular. Bunlardan biri Kuzey ve Güney Amerika kıtalarından, öteki de Büyük Okyanus'tan geçiyordu. Fransız araştırmacılar, tersinmeler sırasında ortaya çıkan bu sanal kutup noktası gruplaşmalarını, manto katmanının derinlerinde meydana gelen birtakım olaylara yordular. Mantonun derinlerinde, bu gruplaşmanın olduğu kuşaklarda normal olmayan soğuk bölgelerin bulunduğu da dikkat çekti. Öteki bilim adamları bu varsayıma

kuşkuyla yaklaşıyorlar da, bunun nedeni ortaya çıkan sonucun mantıksız oluşu değil, çökelti kayalarından elde edilen verilerin güvenilir olmamasıydı.

1993 yılında Montpellier'den Prevot ve Pierre Camps, çok daha yakın geçmişe ait bir tersinme dönemine ilişkin verileri volkanik kayalardan elde etmeyi başardı. Ortaya çıkan sonuç, Laj ve arkadaşlarının ortaya attığı boylamsal kuşaklarla ilgili varsayımı destekler nitelikte değildi. Üstelik, ABD'de Florida Üniversitesi'nde yapılan bir başka araştırmada, deniz tabanlarındaki çökeltilerdeki kayıtların, çökeltmenin hızına bağlı olarak değiştiği gösterildi. California Polytechnic Enstitüsü'nden Kenneth Hoffman'ın lav birikintileri üzerinde yaptığı daha sonraki bir çalışma da, sanal kutupların farklı bölgelerde gruplandığını gösterdi. Bunlardan biri Batı Avustralya civarında, ötekiyse Güney Amerika'yla Antarktika arasında yer alıyordu. Birbirleriyle örtüşmeyen bu araştırma sonuçları, bilim adamlarının bu konuda kesin bir yargıya varmalarına engel oldu.

Tersinme süreçleriyle ilgili, herkesin düşünce birliğinde olduğu bazı noktalar da var. Öncelikle, manyetik alanın şiddeti, tersinme sırasında, öncesine ve sonrasına göre düşük oluyor. Bu durum, Oregon'daki Steens Dağı'ndaki gibi lav akıntılarıyla oluşmuş katmanlardan elde edilen çok sa-

yılda veriyle desteklenen bir gözlem. Bu uzun dönemi kapsayan ve art arda tekrarlayan lav akıntılarıyla oluşmuş yaklaşık 1 km kalınlıktaki katmanlar dizisi, 16,2 milyon yıl öncesine tarihleniriliyor. California Üniversitesi'nden Rob Coe ve ABD Jeolojik Araştırmalar Merkezi'nce yürütülen çalışmada, kutupların tersinme süreci başından sonuna izlenebiliyor. Bu tersinme dönemi yaklaşık 50 katmanda kaydedilmiş durumda ve kayıtlar fazlaca karmaşık. Çoğu lav katmanı, değişimin hızına göre çok daha çabuk soğur. Bu nedenle katmanlardaki manyetik kayıtlar genellikle açıkça bir noktayı işaret eder. Ancak, Steens Dağı'ndaki durum biraz farklı. Özellikle, iki farklı katmandaki kayıtlar karmakarışık.

Steens Dağı'ndan elde edilen veriler, o sırada meydana gelen tersinme sürecinin, başka dönemlere ait başka kayıtlarda da olduğu gibi, toplam 5000 yılda tamamlandığını gösteriyor. Ancak, özellikle karmaşık veriler sunan iki ayrı katmanda yoğunlaşan Coe ve Prevot, alan yönünün çok daha kısa sürede önemli ölçüde değiştiğini gösterdi. Bu ancak, manyetik alanın birkaç gün gibi çok kısa bir süre içinde, önemli ölçüde yön değiştirmesiyle açıklanabilir. Lav akıntısı bir yerde biriktiğinde, dışarıdan içeriye doğru, alttan ve üstten soğumaya başlar. En son, birikintinin ortası soğur. Soğuma uzun sürmediği için genellikle bir katmanın her yerinden alınan örnekler aynı yönü gösterir. Ancak, Steens Dağı'ndaki bu iki katmanın altından ve üstünden alınan örnekler bir yönü gösterirken, katmanların ortasından alınan örnekler bir başka yönü işaret ediyor. Bu katmanlardan biri, katmanın soğuma süreci boyunca manyetik alan yönünün 80° kadar değiştiğini gösteriyor. Böyle bir katmanın yaklaşık 13 günde soğuyabileceğini tahmin eden araştırmacılar, değişimin de bu süre içinde gerçekleştiği sonucuna vardılar. Coe ve Prevot'un Steens Dağı'ndaki verilerle ilgili bu ilk yorumları, 1995 yılında Nature dergisinde yayımlandı.

Dış çekirdekteki olayların bu kadar hızlı gerçekleşmesi araştırmacıları şaşırtsa da, bundan daha da şaşırtıcı olan, bu etkilerin yüzeye de aynı hızda yansması. Yüzeyle dış çekirdek arasındaki 2900 kilometrelik katman

Manyetik Kalkan

Yıldızımız Güneş, yaşamın kaynağı olmakla birlikte, ona karşı korumasız olanlara pek de konuksever değildir. Güneş, herhangi bir canlıyı çok kısa sürede öldürebilecek dozda ışıma yapar. Gezegenimizi ve üzerinde yaşayan tüm canlıları Güneş'in bu zararlı ışınlamadan koruyan en önemli kalkan manyetik alandır. Manyetik alan, Güneş'ten ve yıldızlararası ortamdan gelen yüklü parçacıkları belli bölgelerde yakalar. 1907'de, Carl Stormer adlı bilim adamı, elektrik yüklü parçacıkların manyetik alan içinde hapsedilebileceğini göstermişti. Herhangi bir durgun manyetik alan içindeki parçacıkların üzerindeki kuvvetler, bu parçacıkların manyetik alanın içinde yay biçimli yollar izlemelerine yol açıyordu. Manyetik alanın gezegenlerin çevresinde oluşturdukları doğal kalkanlara manyetosfer deniyor.

1958 yılında, James Van Allen, Dünya'nın çevresini saran elektrik yüklü bölgeyi gözlemeyi başardı. Daha sonraki gözlemlerde, parçacıkların iki ayrı bölgede, biri içte, biri dışta iki katman halinde gezegenimizi kabuk gibi sardığı keşfedildi. Bu katmanlara Van Allen Işınım katmanları deniyor. Manyetosfer, manyetik alan çizgileri boyun-



ca ilerlediği için, alan çizgilerinin atmosfere girdiği yerlerde, yani kutup bölgelerinde yüklü parçacıklar atmosferin üst katmanlarında atmosferdeki gazlarla etkileşime girer. Bu bölgelerde kutup ışıklarının gözlenmesinin nedeni budur.

Manyetik alanın Güneş rüzgarıyla karşılaştığı yerde, yay biçiminde bir şok dalgası oluşur. Bu bölgede güneş rüzgarı manyetosferi bir miktar sıkıştırır ve şok dalgasının olduğu yer gezegenimize burada 64.000 km kadar yaklaşıp. Yüklü parçacıkların bir bölümü manyetik alan içinde yakalanırken, bir bölümü de bir uçağın çevresinden akıp giden hava gibi manyetosferin çevresinden akar. Bunun sonucunda, gezegenin arkasında, uzunluğu birkaç milyon km'yi bulabilen bir kuyruk oluşur.

nedeniyle, ani elektromanyetik hareketlerin yeryüzündeki etkilerinin çok küçük ve zamana yayılmış olması beklenirdi. Manyetik alanın yüzeyde bu kadar hızlı ilerleyebilmesi, açıklanması zor bir durum. Steens Dağı'ndaki verilerin gösterdiği hızlı hareketi açıklamaya yetmese de Leeds Üniversitesi'nden Andy Jackson'un çalışmaları günde 2°'lik hareketin mümkün olabileceğini gösteriyor. California Üniversitesinde yapılan ve gezegenimizin içindeki dinamonun bir benzerinin yaratılmaya çalışıldığı laboratuvar deneyinin sonucu buna göre çok daha iyimser: günde yaklaşık 10°'ye kadar değişimlerin mümkün olabiliyor.

Jeofizikçilerin, gezegenin manyetik alanının nasıl oluştuğunu ve tersinmelerin nasıl meydana geldiğini anlama çabaları bir yere kadar sonuç veriyor. Aslında, kimse ulaşılan sonucun tam olarak doğru olduğunu da öne süremiyor. Özellikle bir konuda, manyetik alanın tersinmesini tetikleyen mekanizmanın ne olduğu konusunda hala kimsenin net bir düşüncesi yok. Yakın zamana kadar, yerkürenin iç katmanlarının dinamiğinin canlandırılabilmesine olanak tanıyacak kadar hızlı bilgi-sayarlar ve bunu sağlayacak yazılımlar bulunmadığından, bilgisayarlardan bu konuda tam olarak yararlanılamıyordu. Son yıllarda, yalnızca yerküre dinamiğini değil, kutup tersinmelerinin zamanlamalarıyla ilgili de tahmin yapabi-

lecek programlar sayesinde, süreç daha iyi anlaşılmaya başlandı. Tersinme öncesi, manyetik alanın şiddetinde meydana gelen yaklaşık %10 ila %20'lik azalma, değişimi tetikliyor. Los Alamos Laboratuvarı'nda yapılan ve jeodinamonun gerçeğine uygun olarak canlandırılmaya çalışıldığı üç boyutlu bilgisayar canlandırmasında 36.000 yıla karşılık gelen bir süre içinde manyetik alanın tersindiği gözlemlendi. Ayrıca bu araştırmada, değişim süresince, sanılanın aksine alan şiddetinin tamamen kaybolmadığı, alanın çok kutuplu hale geldiği sonucu ortaya çıktı.

Mantonun Etkisi

Manto, gezegenimizin hacim olarak en büyük bölümünü oluşturuyor. Bu nedenle, manyetik alan üzerinde az da olsa bir etkisi olmalı. Tektonik kıta hareketlerinden de sorumlu olan mantonun içindeki madde hareketinin nasıl gerçekleştiği, uzun süredir tartışılıyor. Özellikle kıta hareketleri sırasında bir katmanın diğerinin altına girmesine nasıl bir etkinin yol açtığı merak konusu.

Bazı yerbilimciler, kalın katmanların yerin çekirdeğine kadar batabildiğini öne sürüyorlar. Eğer bu doğruysa, bu bölgelerde 700 km derinlikten daha aşağılarda neden deprem olmadığına başka bir açıklama bulmak gerekiyor. Belki de katmanların bu kadar derine battığında sertliğini biraz olsun

kaybetmesi, artık depreme yol açamamasına neden oluyor. Öteki yer bilimcilerse, katmanın 410 ila 660 km derinlikteki manto geçiş bölgesinde yığıldığını savunuyorlar.

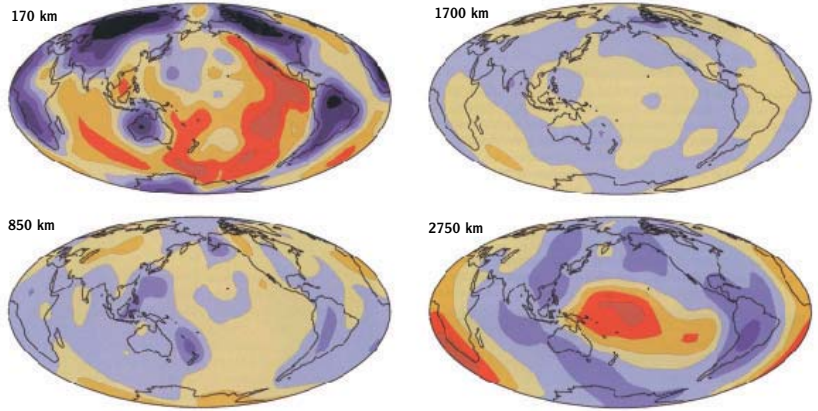
Bu yaklaşımlardan hangisi doğru olursa olsun, kaya katmanları milyarlarca yıldır bu şekilde mantonun içine doğru battığından, mantonun ısıl özelliklerinde önemli etkilerinin olması kaçınılmaz. Yaklaşık 200 milyon yıl süren böyle bir dönemin ardından, mantoda soğuk bölgelerin oluşmasının kaçınılmaz olduğu düşünülüyor.

Günümüzde, mantonun ısıl yapısı hakkında epeyce bilgi sahibiyiz. Bu bilgi, sismik dalgaların soğuk kayalarda sıcak kayalara göre daha hızlı hareket etmesi sayesinde elde edilebiliyor. Sismik tomografi görüntülerinden, mantonun ısıl yapısının düzenli olmadığı, hatta Pasifik Okyanusu'nun çevresinde halka yapısında bir soğuk bölgenin bulunduğu açıkça görülüyor. Buna ek olarak, son zamanlarda yine tomografi yöntemleri kullanılarak yapılan araştırmalarda, bazı batmış katmanların mantonun iyice alt katmanlarına kadar ulaşabildiği gözleniyor. Bu durum, elbette mantodaki sıvı hareketini de önemli ölçüde etkileyebilecek bir durum.

Pusula Kuzeyi Göstermediğinde...

Manyetik kutupların birkaç gün içinde önemli ölçüde yer değiştirebildiğini gösteren jeolojik kanıtlar, ister istemez şu soruyu akla getiriyor: Peki manyetik alanın yönü yarın değişmeye başlarsa ne olacak? Bu, elbette bir günde gerçekleşmeyeceği için fazla kaygılanmaya gerek yok. Her şeyden önce, en azından birkaç bin yıl sürecek olan değişimin başladığına ilişkin bir takım ipuçları olması gerek. Örneğin, geçmişteki değişimlerin manyetik alanın şiddetindeki azalmanın ardından gerçekleştiğine değinmiştik. En azından son 10.000 yıllık geçmişe bakarak, manyetik alan şiddetinin nasıl bir değişim izlediğini görebiliriz.

ABD'deki Minnesota Üniversitesi'nden Stefanie Brachfeld ve Subir Banerjee'nin geçtiğimiz aylarda yayımladıkları veriler, gezegenimizin toplam manyetik alan şiddetinin 500 yıl önce azalmaya başladığı ve bunun dikkate



Yeraltındaki sıcaklık dağılımı, sismik dalgaların kullanıldığı tomografi yöntemleriyle belirleniyor. Kırmızı bölgeler sıcak, mavi bölgelerse soğuk yerleri gösteriyor. 2750 km derinlikte, dış çekirdek-manto sınırındaki sıcak bölgeler, bu bölgenin ısıl yapısının düzgün olmadığını gösteriyor. Bu durumun, dış çekirdek ve mantodaki sıvı hareketini etkilediği ve manyetik alanda değişimlere neden olduğu düşünülüyor.

değer bir azalma olduğunu gösteriyor. Bunun bir manyetik alan tersinmesinin habercisi olduğunu söylemek için erken olabilir. Ancak, manyetik alanın azalıyor oluşu, şimdiden bazı yerlerde kendini belli ediyor. Örneğin, günümüzde ölçülen en düşük manyetik alan şiddeti, Atlantik Okyanusu'nun güneylerinde bir bölgede bulunuyor. Bu bölge, yapay uydulara zarar verebilecek düzeyde yüklü parçacık içeriyor. Alçak yörüngede dolanan ve yörüngeleri bu bölgeden geçen uydularda bazı bozulmalar gözleniyor. NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nden Jim Heirtzler, gezegenimizin manyetik kutuplarındaki alan şiddetinin azalması ve çok kutuplu hale gelmesi nedeniyle birkaç yüzyıl içinde belli bölgelerdeki manyetik alan şiddetinin sıfıra kadar düşebileceğini belirtiyor.

Normalde manyetosfer, bu parçacıklara karşı yeryüzünden yaklaşık 60.000 kilometre yükseklikte, küresel bir kalkan oluşturur. Bu kalkanın zayıflaması ya da manyetik alanın çok kutuplu hale gelmesi nedeniyle parçalanması, Güneş rüzgarıyla gelen yüksek enerjili parçacıkların atmosfere ulaşmasını ve bunun da atmosferde ve yeryüzünde bazı yıkımlara yol açması bekleniyor. Manyetik kalkanın varlığında bile yeryüzüne ulaşan etkileri olabilen Güneş'teki manyetik fırtınalar, özellikle iletişim uyduları ve başka birçok elektronik aygıtın devre dışı kalmasına neden olabiliyor.

Manyetik kutupların değişme sürecinin en büyük etkisi büyük olasılıkla canlılar üzerinde olacak. Özellikle göç eden canlıların bundan etkilenmesi ka-

çınılmaz. Çünkü bu canlılar, yönlerini bulurken büyük oranda manyetik alandan yararlanıyorlar. Yeryüzündeki türlerin büyük bölümünün belli dönemlerde ortadan katlığı biliniyor. Bu tür yıkımlardan genellikle göktaşları sorumlu tutulsa da, bu yıkımdan manyetik kutup tersinmelerinin sorumlu olduğunu öne sürenler de var. Dinozorlarla birlikte, karalar ve denizlerdeki çoğu canlı türünün yok olduğu yaklaşık 65 milyon yıl önceki dönem ve yine benzer bir yok oluşun yaşandığı 185 milyon yıl önceki dönemin kutup tersinmelerine denk gelmemesi, yüreklerle su serpiyor. Kuşlar, deniz kaplumbağaları, arılar ve balinalar gibi birçok tür bu değişimden etkilenenler. Ancak, bu canlı türleri birçok defa manyetik kutup tersinmelerini yaşamışlar. Günümüzde bu türlerin varlıklarını sürdürmesi, bir şekilde bu kendini tekrarlayan sürece uyum sağlamış olmalarıyla açıklanabilir.

Manyetik kutup tersinmesi sırasında en büyük zorluğu yaşayacak canlı türlerinden biri kuşkusuz insan olacak. Bunun nedeni, öteki canlılar gibi doğaya bağımlı olmasının yanı sıra, bağımlı olduğu teknolojinin önemli ölçüde devre dışı kalması olabilir. Elbette, manyetik alan bir günde ortadan kalkmayacağı için büyük olasılıkla hazırlanmak için yeterince zaman bulacağız.

Alp Akoğlu

Kaynaklar:
Beatty K.J., Petersen C.C., Chaikin A., The New Solar System, Sky Publishing Corporation, 1999
Bergeron L., When North Flies South, New Scientist, 30 Mart 1996
Geismann J.W., Geomagnetic Flip, Physics World, Nisan 2004
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/magnetic>
<http://www.spacedaily.com/news/earth-magnetic-04a.html>