

Manyetik Kutupların Geleceği

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Kuzey manyetik kutbu, konumu 1830 yılında ilk kez tespit edildiğinde Kanada sınırları içerisinde yer alıyordu. Aradan geçen zamanda giderek artan bir hızla doğuya doğru yol aldı. Önce Kuzey Buz Denizi'ne girdi, sonra tarih değiştirme çizgisini geçip doğu yarım küreye geçti. Günümüzde de her yıl yaklaşık 55 kilometre hızla Sibiryaya doğru yol almaya devam ediyor. Kuzey manyetik kutbunun hareketlerindeki ivmelenme, pek çok bilim insanını acaba -geçmişte defalarca kez olduğu gibi- manyetik kutuplar bir kez daha yer değiştirecek mi diye düşündürüyor? Yakın gelecekte bir manyetik tersinme olabilir mi? Eğer olursa insanları nasıl bir değişim bekliyor?



Dünya'nın Manyetik Kutupları

Manyetik alanın kaynağı elektrik yüklerinin hareketidir. Dünya'nın manyetik alanı da demir bakımından zengin sıvı dış çekirdekteki elektrik yüklerinin hareketinden kaynaklanır.

Sıvı dış çekirdek Dünya'nın kendi etrafındaki dönüşü ve yerküredeki ısı konveksiyonu sebebiyle durmaksızın hareket eder. Mantoya yakın olan kısımlarda yatay yöndeki hareket hızı yılda onlarca kilometreye çıkar. Dış çekirdeği oluşturan sıvının hareketinin durması ancak hareketi sağlayan enerji kaynağının tükenmesiyle mümkündür. Konveksiyon hareketi kısmen sıvı dış çekirdeğin yavaş yavaş katı iç çekirdek üzerinde katılaşmasıyla ortaya çıkan ısıdan kaynaklanır. Milyarlarca yıldır süregelen bu soğuma gelecekte de uzun süre devam edecek.

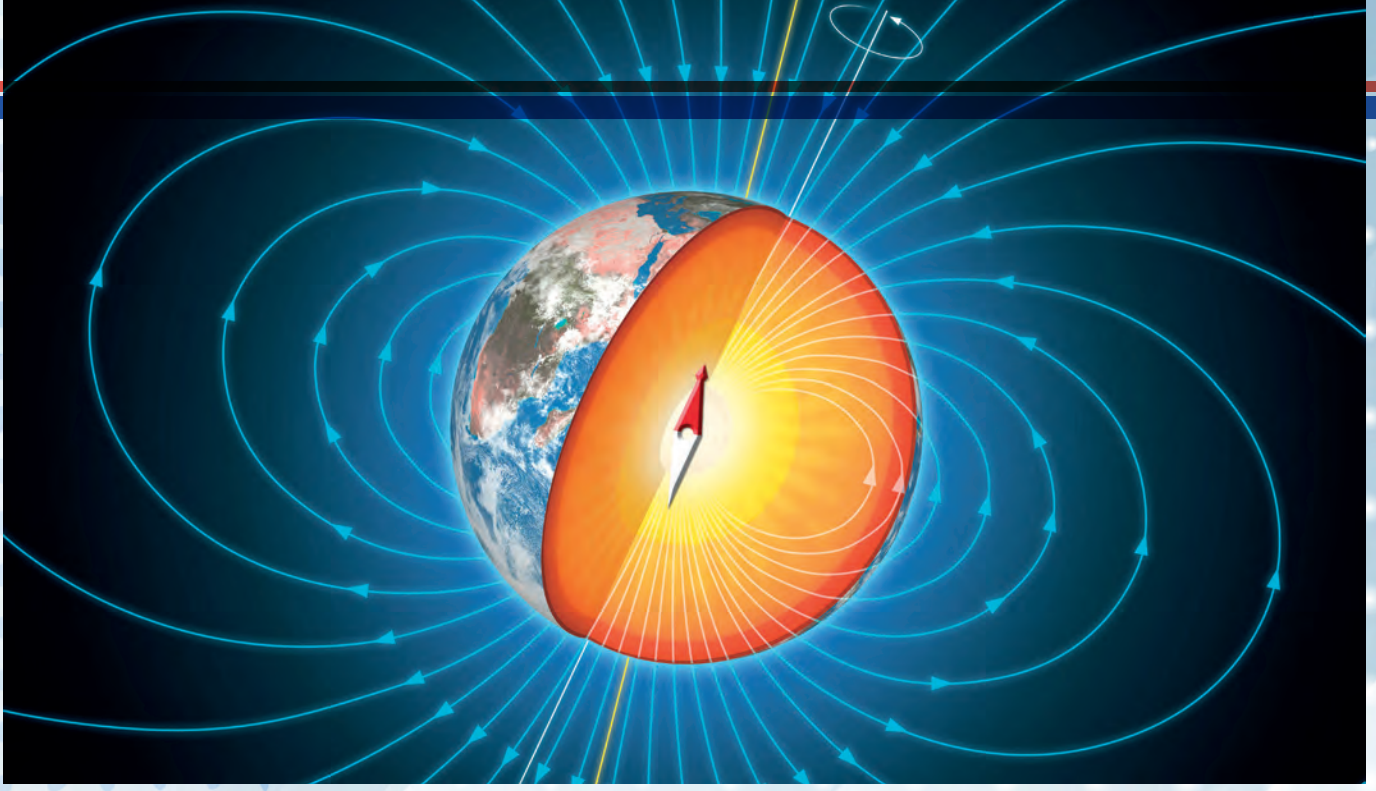
Sıvı dış çekirdekte Dünya'nın manyetik alanının kaynağı olduğu söylenebilecek tek bir elektrik akımından bahsedilemez. Dünya'nın dönme eksenine paralel eksenler etrafında dolanan çok sayıda elektrik akımı vardır.

Dünya'nın manyetik alanının oluşumunu açıklamak için öne sürülmüş, yaygın olarak kabul gören bir düşünce jeodinamo hipote-

zi diye adlandırılır. Bu hipoteze göre, zaten var olan ufak bir manyetik alan, konveksiyon hareketi yapan elektrik yüklerine bir kuvvetin etki etmesine sebep olur. Bu durum da var olan elektrik akımlarının ve dolayısıyla manyetik alanın güçlenmesiyle sonuçlanır.

Doğada manyetik monopol (tek kutup) yoktur. Örneğin çevresinde manyetik alan oluşturan bir mıknatısın genellikle N ile gösterilen bir kuzey kutbu ve genellikle S ile gösterilen bir güney kutbu vardır. Ancak bir mıknatısı ikiye böldüğümüzde ortaya çıkan parçaların biri kuzey, diğeri güney kutbu olmaz. Her iki parça da dipoldür, yani çift kutupludur, ikisinin de bir kuzey ve bir güney kutbu vardır. Benzer bir biçimde Dünya'nın da biri coğrafi Kuzey Kutbu, diğeri de coğrafi Güney Kutbu civarında olmak üzere iki manyetik kutbu olduğu söylenebilir. Ancak bu kutupları tanımlamanın ve tespit etmenin farklı yolları vardır ve farklı isimlerle adlandırılırlar.

Dünya'nın manyetik kutuplarını tanımlamanın bir yolu manyetik alan çizgilerine bakmaktır. Çubuk biçimli bir mıknatısın manyetik alan çizgilerine bakıldığında bir kutuptan çıkıp yay çizerek diğer kutba girdikleri görülür. Çubuk biçimli bir mıknatısın "manyetik kutup noktaları" manyetik alan çizgilerinin mıknatıstan dik olarak çıktığı noktalar olarak tanımlanabilir. Benzer biçimde, Dünya'nın manyetik alan çizgileri de çubuk biçimli



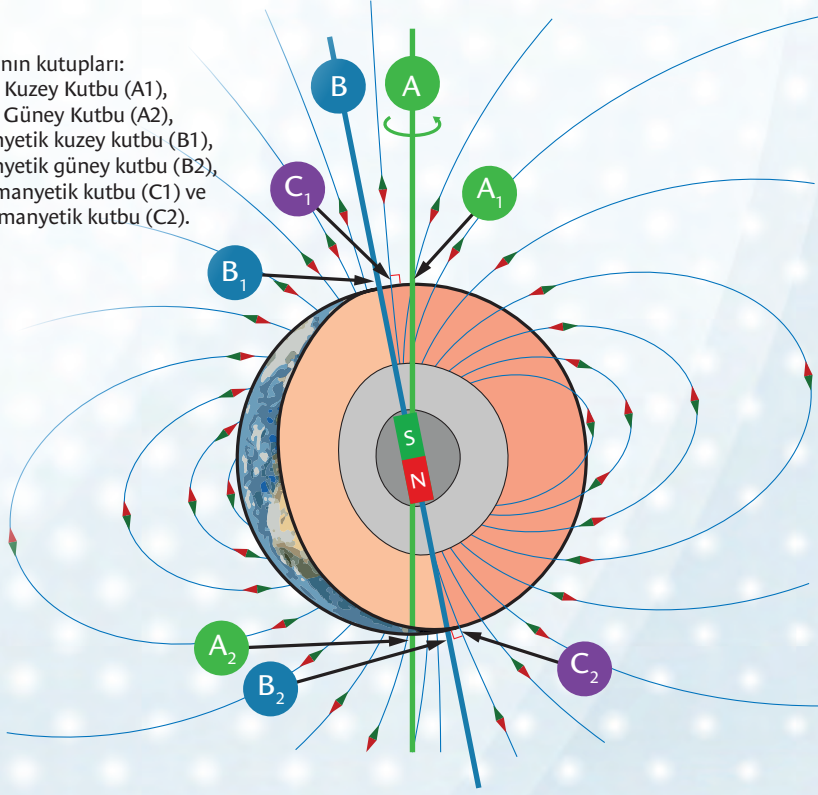
bir mıknatısınkilere benzetilebilir ve Dünya'nın manyetik kutupları da manyetik alan çizgilerinin yüzüne dik olduğu noktalar olarak tanımlanabilir. Bu kutup noktalarını bulmanın basit bir yolu pusula kullanmaktır. Bir pusulayı elinize alıp baktığınızda yapacağınız ilk gözlem, pusulanın mıknatıslı iğnesinin kuzey kutbunun coğrafi kuzey yönünü, güney kutbunusa coğrafi güney yönünü gösterdiği olur. Bu gözlemden çıkaracağınız ilk sonuçsa Kuzey Kutbu yönünde bir manyetik güney kutbu, Güney Kutbu yönündeysen bir manyetik kuzey kutbu bulunduğu olacaktır. Çünkü benzer manyetik kutuplar birbirini iter, zıt manyetik kutuplarsa birbirini çeker. Eğer pusulanın gösterdiği yönü takip ederseniz eninde sonunda pusulanın iğnesinin düşey doğrultuda sabitlendiği bir noktaya varırsınız. Bu durumun nedeni bulunduğunuz noktadaki manyetik alan çizgilerinin yüzeye dik olmasıdır. Böylece bir manyetik kutup noktasının ye-

rini tespit etmiş olursunuz. Kuzey Kutbu civarındaki manyetik kutup noktasını 1830'larda ilk olarak tespit eden James Clark Ross'da bu yöntemi kullanmıştı. Manyetik alan çizgilerinin yüzeye dik olduğu noktalar olarak tanımlanan bu manyetik kutuplar kuzey manyetik kutbu ve güney manyetik kutbu olarak adlandırılırlar. Coğrafi Kuzey Kutbu yakınında yer alan kuzey manyetik kutbu günümüzde bir manyetik güney kutbu, coğrafi Güney Kutbu yakınında yer alan güney manyetik kutbu ise günümüzde bir manyetik kuzey kutbudur. Kuzey ve güney manyetik kutuplar birbirinden bağımsızdır. Çevresinde manyetik alan oluşturan yekpare bir manyetik sistemin iki kutbu değildir. Yerküre üzerinde birbirlerine zıt konumlarda yer almazlar.

Dünya'nın manyetik kutuplarını tanımlamanın bir başka yolu da yeryüzünde gözlemlenen manyetik alanın kaynağının yerküre-

nin merkezi yakınlarında yer alan bir dipol tarafından üretildiğini varsaymaktır. Bu varsayım tabii ki doğru değildir. Ancak yeryüzünün çeşitli noktalarında gözlemlenen manyetik alanların yönlerinin ve büyüklüklerinin mümkün olan en az hata payıyla tahmin edilmesine imkân veren bir hayali dipolün konumu ve yönelimi hesaplar yapılarak bulunabilir. Bu hayali dipolün üzerinde yer aldığı doğru her iki yönde uzatıldığında yeryüzünü biri Kuzey Kutbu, diğeri Güney Kutbu civarında olmak üzere iki noktada keser. Hayali doğrunun yeryüzünü kestiği bu noktalara jeomanyetik kutup noktaları denir. Eğer Dünya'nın manyetik alanı gerçekten de mükemmel bir dipol tarafından üretiliyor olsaydı jeomanyetik kutup noktaları, kuzey ve güney manyetik kutup noktalarıyla çakıştırdı. Bugün itibarıyla jeomanyetik kutup noktalarının üzerinde yer aldığı doğru Dünya'nın merkezinin yaklaşık 500 kilometre uzağından geçiyor.

Dünya'nın kutupları: coğrafi Kuzey Kutbu (A1), coğrafi Güney Kutbu (A2), jeomanyetik kuzey kutbu (B1), jeomanyetik güney kutbu (B2), kuzey manyetik kutbu (C1) ve güney manyetik kutbu (C2).



Dünya'nın manyetik alanının büyüklüğü ilk olarak 26 Mayıs 1832 tarihinde Carl Friedrich Gauss tarafından ölçülmüştü. Gauss, iki çubuk mıknatısın kullanıldığı basit bir deney düzeneğiyle Almanya'nın Göttingen şehrindeki manyetik alanın "yatay yöndeki" büyüklüğünü 17 mikrottesla olarak ölçmüştü. Dünya'nın manyetik alanının büyüklüğü zamanla değiştiği için Gauss'un ölçümünün ne kadar hassas olduğu tam olarak bilinmiyor. Ancak geriye dönük tahminler Gauss'un ölçümündeki hata payının %1'den az olduğuna işaret ediyor. Bugün itibarıyla yeryüzündeki manyetik alanın büyüklüğü 25 ile 65 mikrottesla arasında değişiyor. Dünya'nın dış çekirdeğinde ise manyetik alanın büyüklüğü 2500 mikrotteslaya kadar çıkıyor.

Manyetik Tersinmeler

Bugün itibarıyla Dünya'nın manyetik güney kutbu, Kuzey Kutbu civarında, Dünya'nın manyetik kuzey kutbu ise Güney Kutbu civarındadır. Ancak bu geçmişte her zaman böyle değildi. Bilimsel veriler Dünya'nın manyetik kutuplarının defalarca yer değiştirdiğini gösteriyor.

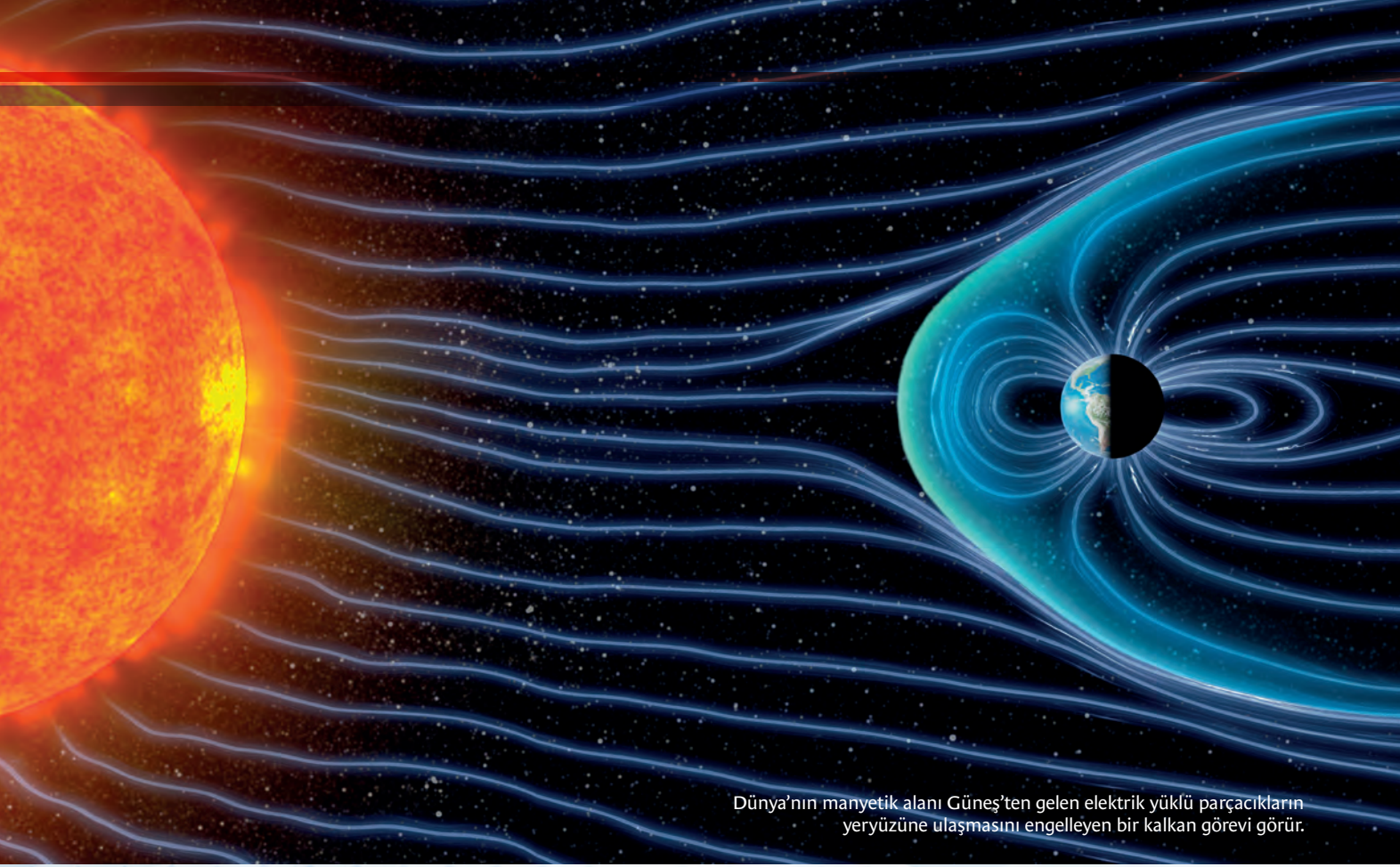
Geçmişte Dünya'nın manyetik alanında meydana gelen değişimleri tespit etmeye çalışan araştırmacılar yarıdağlardan püsküren lavların oluşturduğu kayalara ve deniz tabanlarındaki tortul tabakalara bakarlar. Lavlarda ve minerallerde mikrometre boyutlarında manyetik zerreler bulunur. Lavlar soğuyarak katılaştıkça da mineraller çökelirken, bu manyetik zerreler Dünya'nın manyetik ala-

nı yönünde hizalanırlar. Dolayısıyla, farklı zamanlarda oluşmuş kayalar ve tortul tabakalar incelenerek geçmişte Dünya'nın manyetik alanında meydana gelen değişimler tespit edilebilir.

Bilimsel çalışmalar Dünya'nın manyetik kutuplarının geçmişte defalarca yer değiştirdiğini gösterse de meydana gelen değişimlerde belirli bir düzen olduğu söylenemez. Ortalama olarak her 300.000 yılda bir manyetik tersinmeler meydana geliyor. Ancak iki tersinme arasındaki zaman on binlerce yıla milyonlarca yıl arasında değişebiliyor. Örneğin Brunhes-Matuyama tersinmesi olarak adlandırılan son manyetik tersinme günümüzden yaklaşık 780.000 yıl önce gerçekleşmişti.

Manyetik tersinmelerin nasıl gerçekleştiği tam olarak bilinmiyor. Bir hipoteze göre manyetik kutuplar birkaç yüzyıl ile birkaç bin sene arasında değişen bir zaman ölçeğinde yavaş yavaş göç ederek yer değiştiriyorlar. Bir başka hipoteze göre ise Dünya'nın manyetik alanının kaynağı olan jeodinamo kendiliğinden ya da kuyruklu yıldız çarpması gibi bir dış etken nedeniyle aniden duruyor. Tekrar çalışmaya başladığında ise ortaya çıkan manyetik kutuplar bir öncekilerin tersi olabiliyor.

Manyetik kutuplar bazı dönemlerde kutuplardan uzaklaşıp Ekvator'a doğru yol almaya başlıyor ancak bir tersinme yaşamaksızın bir süre sonra başlangıçtaki konumları civarına geri dönüyorlar. Kayalarda ve tor-



Dünya'nın manyetik alanı Güneş'ten gelen elektrik yüklü parçacıkların yeryüzüne ulaşmasını engelleyen bir kalkan görevi görür.

tul tabakalarda bu manyetik “gezinmelere” dair de pek çok kayıt bulunuyor. Bilimsel çalışmalar, Laschamp gezinmesi olarak adlandırılan son manyetik gezinmenin günümüzden yaklaşık 41.000 yıl önce gerçekleştiğini gösteriyor. Bu manyetik gezinme dönemlerinde sıvı dış çekirdekteki manyetik alan yön değiştirir ancak katı iç çekirdekteki manyetik alan yön değiştirmez.

Manyetik Kutupların Geleceği

Manyetik tersinmeler doğal bir süreç. Geçmişte defalarca kez olduğu gibi gelecekte de manyetik tersinmeler olacaktır. Ancak sistemin karmaşıklığı ve geçmiş manyetik tersinmelerde be-

lirli bir düzen olmaması sebebiyle ne zaman yeni bir manyetik tersinme yaşanacağını tahmin etmek çok zor.

Dünya'nın manyetik alanında gözlemlenen çeşitli durumlar pek çok bilim insanına yakın gelecekte bir manyetik tersinmenin yaşanabileceğini düşündürüyor.

Öncelikle kuzey manyetik kutbu giderek artan bir hızla yer değiştiriyor. İlk kez tespit edildiğinde Kanada sınırları içerisinde kalan Nunavut bölgesinde yer alıyordu ve aradan geçen yaklaşık 200 yıl boyunca da hareketleri sürekli takip edildi. Başlangıçta her yıl 10-15 kilometre hızla yer değiştiriyordu ve batı yarım kürede yer alıyordu. Ancak 1990'lardan sonra giderek daha hızlı hareket etmeye başladı. 2018'de tarih değiştirme çizgi-

sini aşmış doğu yarım küreye geçti. Günümüzde her yıl 50-60 kilometre hızla Sibirya'ya doğru yol alıyor.

Manyetik kutupların hızla hareket etmesi genel olarak tersinme dönemleriyle ilişkilendiriliyor. Ancak bugün gözlemlenen hareket hızlarının gerçekten de büyük olduğu söylenebilir mi? Günümüzdeki yıllık 50-60 kilometrelik hareket hızı, Dünya'nın manyetik alanının yerküre üzerinde 0,1 derecelik yön değiştirmesine karşılık geliyor. Ancak kayalarındaki ve tortul tabakalardaki manyetik alan kayıtlarında manyetik alanın yönündeki değişimlerin yıllık 1 dereceye kadar çıktığı dönemler olduğu görülüyor. Ayrıca Christopher Davies ve Catherine Constable tarafından 2020'de Nature Communications'ta yayımlanan

bir makaleye göre manyetik alanın büyüklüğünün azaldığı zamanlarda Dünya'nın manyetik alanının yılda 10 derece yön değiştirmesi de mümkün.

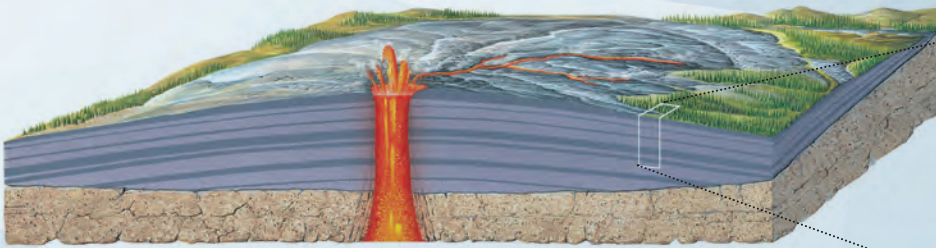
Philip Livermore ve arkadaşları geçtiğimiz yıl Nature Geoscience'ta yayımladıkları bir makalede kuzey manyetik kutbunun hareketleri için bir açıklama öne sürdüler. Dünya'nın manyetik kutuplarının tek bir sistemin parçaları olarak düşünülmemeyeceğini daha önce not etmiştik. Araştırmacıların kuramsal modellemelerle yaptıkları tahminlere göre kuzey manyetik kutbunun konumu iki ana bileşen tarafından belirleniyor. Dış çerçerde biri Kanada'nın, diğeri de Sibirya'nın altında kalan iki büyük manyetik güney kutbu bulunuyor. Kuzey Kutbu civarında gözlemlenen manyetik alan büyük ölçüde bu iki manyetik kutuptan kaynaklanıyor. Araştırmacıların hesaplarına göre kuzey manyetik kutbunun konumu ilk kez tespit edildiğinde Kanada'nın altındaki manyetik kutup daha güçlü, Sibirya'nın altındaki manyetik kutupsa daha zayıftı. Aradan geçen zamanda

Kanada'nın altındaki kutup zayıflamaya, Sibirya'nın altındaki kutupsa güçlenmeye başladı. Araştırmacıların tahminlerine göre gelecek on yıl içinde kuzey manyetik kutbu Sibirya'ya doğru 390-660 kilometre daha yol aldıktan sonra giderek yavaşlayacak ve durağanlaşacak. Yine yapılan hesaplara göre kuzey manyetik kutbu son 400 yıldır Kanada sınırları içerisinde bulunuyordu. Ancak son 7000 yıla bakıldığında Kuzey Kutbu civarında kaotik bir biçimde dolandığı görülüyor. Hatta daha önceleri de bir dönem Sibirya civarında bulunuyordu. Kuzey manyetik kutbunun Sibirya civarında durağanlaştıktan sonra yeniden hareketlenip Kanada'ya dönmesi de mümkün.

Yakın gelecekte yeni bir manyetik tersinme olabileceğini düşündüren bir diğer olgu da Güney Atlantik okyanusu üzerindeki çok büyük bir alanda manyetik alanın aşırı derecede zayıf olması. Üstelik bu bölge son 250 yıldır giderek büyüyor ve bölgedeki manyetik alan giderek zayıflıyor. Bu zayıflık gerçekten de bir manyetik tersinmenin habercisi ola-

bilir mi? Bu konu hakkında bir fikir edinmek isteyen Yael Annemiek Engbers ve Andrew Biggin bölgedeki Saint Helena Adası'nda bilimsel çalışmalar yapmışlar. Napolyon'un 1821'de ölmeden önce, ömrünün son günlerinde sürgün hayatı yaşadığı bu adada günümüzden 8-11,5 milyon yıl önce aktif olan iki sönmüş yanardağ yer alıyor. Araştırmacılar adadaki volkanik kayaları incelediklerinde bölgedeki manyetik alanın genel olarak Dünya'nın geri kalanına kıyasla çok daha kararsız olduğu, görece kısa zaman ölçeklerinde büyük değişimler gösterdiği sonucuna varmışlar. Başka bir deyişle, bugün Güney Atlantik'te görülen sıra dışı manyetik alan yakın zamanlarda ortaya çıkmış nadiren görülen bir olay değil. Bu bölge zaten genel olarak kararsız olduğu için bugünkü zayıf manyetik alanı bir manyetik tersinmenin habercisi olarak yorumlamak doğru değil.

Araştırmacılara göre Güney Atlantik'teki manyetik alanın aşırı zayıf olmasının bazı nedenleri şunlar olabilir: Manto'nun Afrika'nın altında kalan bölgesinde sismik dalgaların aşırı derecede yavaş ilerlediği



Volkanik kayalardaki manyetik zerrelerin yönelimlerine bakarak geçmişte Dünya'nın manyetik alanında yaşanan değişimler tespit edilebilir.

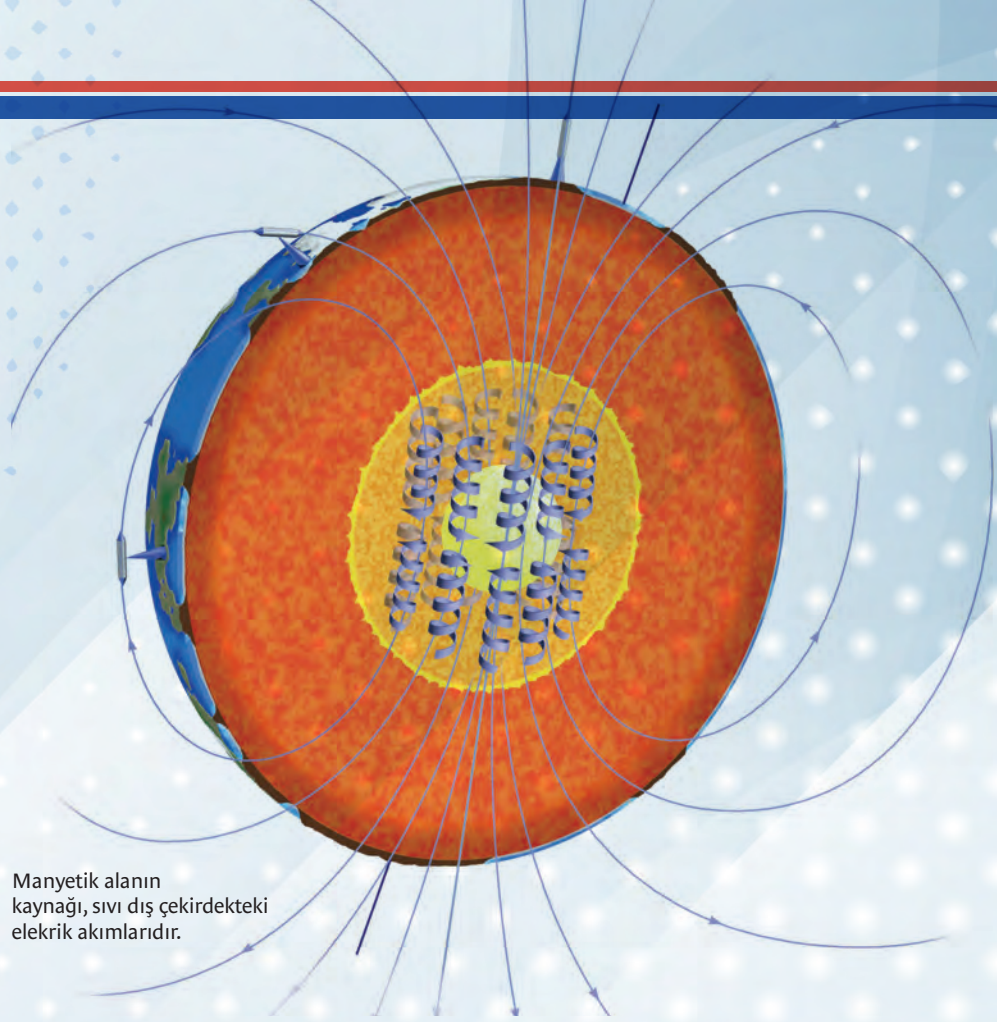
bir bölge var. Bu durum büyük olasılıkla Manto'nun alt katmanlarının Afrika'nın altında kalan kısmının diğer kısımlara kıyasla çok daha sıcak olmasından kaynaklanıyor. Bu sıcaklık da söz konusu bölgede Manto'nun alt katmanları ile dış çekirdeğin iç katmanlarının farklı bir biçimde etkileşmesine sebep oluyor. Bir diğer neden ise Dünya'nın iç çekirdeğiyle ilgili olabilir. İç çekirdek milyarlarca yıldır büyümeye devam ediyor. Ancak büyüme her bölgede aynı hızla gerçekleşmiyor. Bu durum dış çekirdekteki akımları etkiliyor olabilir.

Olası Bir Manyetik Tersinmenin Sonuçları

Yakın bir gelecekte olmasa bile manyetik kutuplar eninde sonunda bir gün yine yer değiştirecek. Peki böyle bir durumda dünyayı nasıl bir gelecek bekliyor?

Olası bir manyetik tersinme canlılar için bir tehdit midir? Geçmişte yaşanmış bazı kitlesel yok oluşların manyetik tersinme dönemlerinde yaşandığına dair bazı iddialar olsa da yaygın kanı manyetik tersinmelerin canlıların yaşamı açısından büyük bir tehdit olmadığı.

Pek çok canlının Dünya'nın manyetik alanını algıladığı biliniyor. Örneğin bazı deniz kaplumbağası türleri yumurtalarını bırakacak-



Manyetik alanın kaynağı, sıvı dış çekirdekteki elektrik akımlarıdır.

ları sahillere ulaşmak için manyetik alandan yararlanıyorlar. Manyetik tersinme sırasında yaşanacak değişimler bu canlıların denizlerde yönlerini bulmasını engelleyebilir ve böylece üreyip çoğalmalarını zorlaştırabilir. Ancak manyetik tersinmeler genellikle binlerce yıl içinde yavaş yavaş gerçekleşiyorlar. Dolayısıyla manyetik alanı algılayan canlılar da bu değişimlere yavaş yavaş uyum sağlayabilirler. Söz konusu olan insanlar olduğunda da büyük bir tehlikeden bahsedilemez. İnsanlar milyonlarca yıldır yeryüzünde yaşıyorlar. Bu süre içinde onlarca kez manyetik tersinme yaşandı. Herhangi birinin insanlar üzerinde olumsuz bir etkisi olduğuna dair bir bulgu yok.

Dünya'nın manyetik alanı Güneş'ten gelen elektrik yüklü parçacıkları

saptırarak yeryüzüne ulaşmalarını engelleyen bir kalkan görevi görür. Manyetik alanın zayıflaması bu parçacıkların Dünya'ya daha çok yaklaşmalarına sebep olabilir. Ancak yine de atmosferin içinden geçip yeryüzüne ulaşmaları çok zor. Güneş'ten yayılan elektrik yüklü parçacıkların atmosfere en çok girmeyi başardığı bölgeler, manyetik alan çizgilerine paralel olarak geldikleri kutup bölgeleridir. Manyetik alanın zayıflaması elektrik yüklü parçacıkların kutup bölgelerinde sebep olduğu Aurora'ların orta enlemlere doğru kaymasına neden olabilir.

Olası bir manyetik tersinme tek tek insanların yaşamını tehdit etmese de toplum açısından büyük sorunlara yol açabilir. Örneğin Güneş'ten yayılan elektrik yüklü parçacıkların

miktarında yaşanan sıra dışı artışların yerküreyi çevreleyen manyetik alanda sebep olduğu geçici değişimler sonucu ortaya çıkan jeomanyetik fırtınalar uydulara ve GPS sistemlerine zarar verebiliyor. Dünya'nın manyetik alanının zayıflaması daha çok jeomanyetik fırtınanın gerçekleşmesine sebep olabilir.

Bugün pek çok uydu operatörü idare ettikleri uydular Güney Atlantik'in üzerinden geçerken uyduyu korumak amacıyla uydunun mümkün olan tüm sistemlerini kapatmayı tercih ediyor. Çünkü uzaydan gelen elektrik yüklü parçacıklar bazen kısa devrelere ve uyduların bozulmasına sebep olabiliyor. Benzer biçimde Uluslararası Uzay İstasyonu'nundaki bazı deney aletleri ortalama olarak ayda

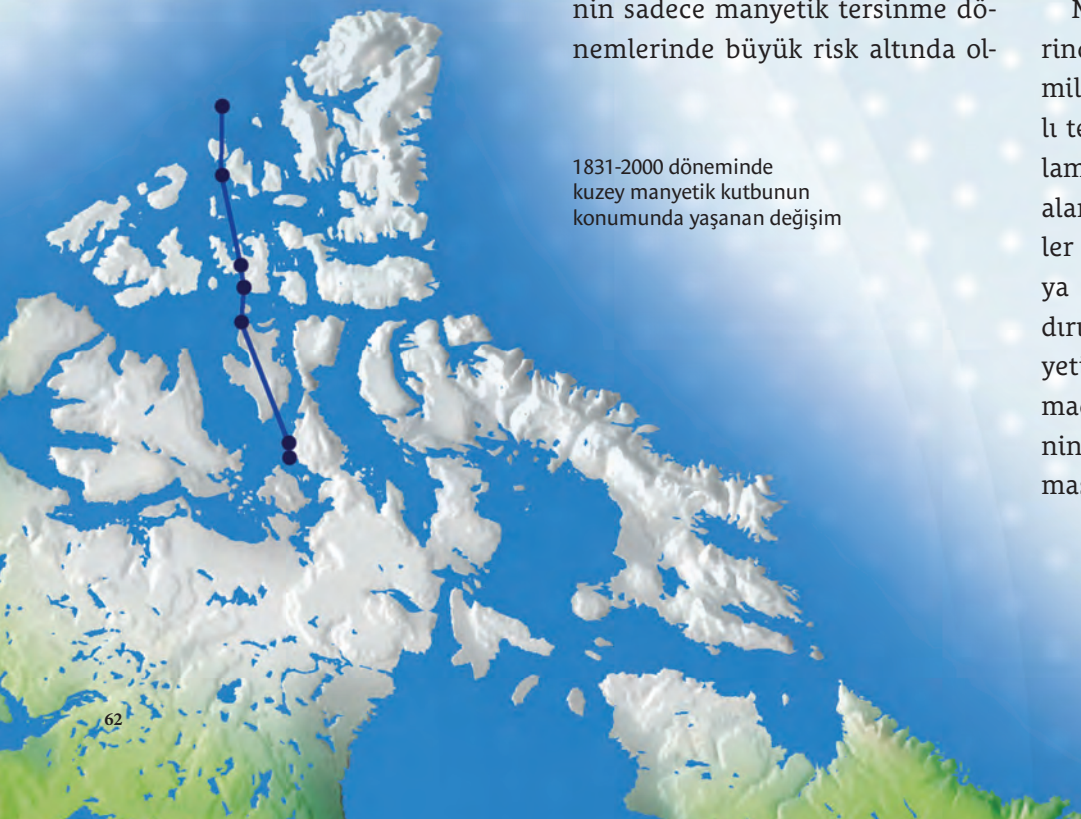
bir kez Güney Atlantik'in üzerinden geçerken arıza veriyor. Olası bir manyetik tersinme sırasında manyetik alanın zayıflaması benzer sorunların sadece Güney Atlantik üzerinde değil dünya genelinde yaşanmasına sebep olabilir.

2012 yılında ortalama olarak 150 yılda bir görülecek büyüklükte bir güneş fırtınası gerçekleşti. Taçküre kütle atımı olarak adlandırılan bu olay sırasında, Güneş'in taçküresinden yüksek miktarda plazma çıkışı oldu. Neyse ki olay sırasında plazma çıkışının olduğu bölge Dünya'ya değil diğer tarafa bakıyordu. Eğer kütle atımı 10-15 gün önce ya da sonra meydana gelseydi (Güneş'in kendi etrafındaki bir dönüşü yaklaşık 25 gün sürer), sebep olacağı jeomanyetik fırtınanın Dünya genelinde elektronik aletlere vereceği zararın maliyeti on milyarlarca doları bulacaktı. Dolayısıyla uyduların ve GPS sistemlerinin sadece manyetik tersinme dönemlerinde büyük risk altında ol-

1831-2000 döneminde kuzey manyetik kutbunun konumunda yaşanan değişim

duğu söylenemez. Ancak manyetik tersinme dönemlerinde riskin çok daha artacağı da aşikâr.

Modern navigasyon sistemlerinde (örneğin uçaklardaki ve gemilerdeki navigasyonlarda ve akıllı telefonlardaki navigasyon uygulamalarında) Dünya'nın manyetik alanından yararlanır. Bu sistemler konum belirlemek için Dünya Manyetik Modeli olarak adlandırılan bir modeli kullanılır. Manyetik kutupların konumu sabit olmadığı için navigasyon sistemlerinin daha doğru bir biçimde çalışması için bu modelin zaman za-





kutbu giderek daha hızlı hareket etmeye devam ederse bu güncellemelerin gelecekte çok daha sık yapılması gerekebilir. Olası bir manyetik tersinme sırasında, manyetik kutupların coğrafi kutuplardan uzaklaşması durumundaysa pusulalar tamamen yararsız hâle gelecektir.

Kuzey manyetik kutbunun giderek daha hızlı bir biçimde yer değiştirmesi, acaba yakın gelecekte yeni bir manyetik tersinme olabilir mi sorusunu akıllara getiriyor. Sistemin karmaşıklığı nedeniyle bir sonraki manyetik tersinmenin ne zaman gerçekleşeceğini tahmin etmek çok zor. Olası bir tersinmenin canlıların yaşamını ne ölçüde etkileyeceği ise tartışmalı. Ancak tersinme sürecinde yerküreyi çevreleyen manyetik alanın zayıflamasının bugün sahip olduğumuz elektronik altyapı ve dolayısıyla toplum üzerinde çok önemli etkileri olabilir. ■

man güncellenmesi gerekir. Eski-den Dünya Manyetik Modeli periyodik olarak her beş yılda bir güncellenirdi. Ancak kuzey manyetik kutbunun hareketindeki ivmelen-

me sebebiyle navigasyon sistemlerindeki hata payı aşırı artınca son güncelleme beş senenin dolması beklenmeden planlanandan bir yıl önce yapıldı. Eğer kuzey manyetik

Kaynaklar

- Davies, C. J. ve Constable, C. G., "Rapid geomagnetic changes inferred from Earth observations and numerical simulations", *Nature Communications*, Cilt 11, Makale No: 3371, 2020.
- Livermore, P. W., ve ark., "Recent north magnetic pole acceleration towards Siberia caused by flux lobe elongation", *Nature Geoscience*, Cilt 13, s. 387, 2020.
- Witze, A., "Earth's magnetic field is acting up", *Nature*, Cilt 565, s. 143, 2019.
- "Earth's Magnetic Field", https://web.ua.es/docivis/magnet/earths_magnetic_field2.html, 2020.
- Engbers, Y. A. ve Biggin, A., "Are the Earth's magnetic poles about to swap places?", *EarthSky*, <https://earthsky.org/earth/earths-magnetic-poles-reversal-soon-study>, 2020.
- Davies, C., "Earth's magnetic field may change faster than we thought", *The Conversation*, <https://theconversation.com/earths-magnetic-field-may-change-faster-than-we-thought-new-research-142752>, 2020.
- Johnson-Groh, M. ve Merzdorf, J., "NASA Researchers Track Slowly Splitting 'Dent' in Earth's Magnetic Field", NASA, <https://www.nasa.gov/feature/nasa-researchers-track-slowly-splitting-dent-in-earth-s-magnetic-field>, 2020.
- NASA, "Magnetic Pole Reversals Happen All The (Geologic) Time", <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-pole-reversal.html>, 2017.
- Gramling, C., "A magnetic field reversal 42,000 years ago may have contributed to mass extinctions", *Science News*, <https://www.sciencenews.org/article/earth-magnetic-field-reversal-mass-extinctions-environment-crisis>, 2021.
- Malin, S. R. C. ve Barraclough, D. R., "150th anniversary of Gauss' first absolute magnetic measurement", *Nature*, Cilt 277, s. 285, 1982.