

BÖLÜM 19 YERYÜZÜNÜN İÇİNİN ARAŞTIRILMASI

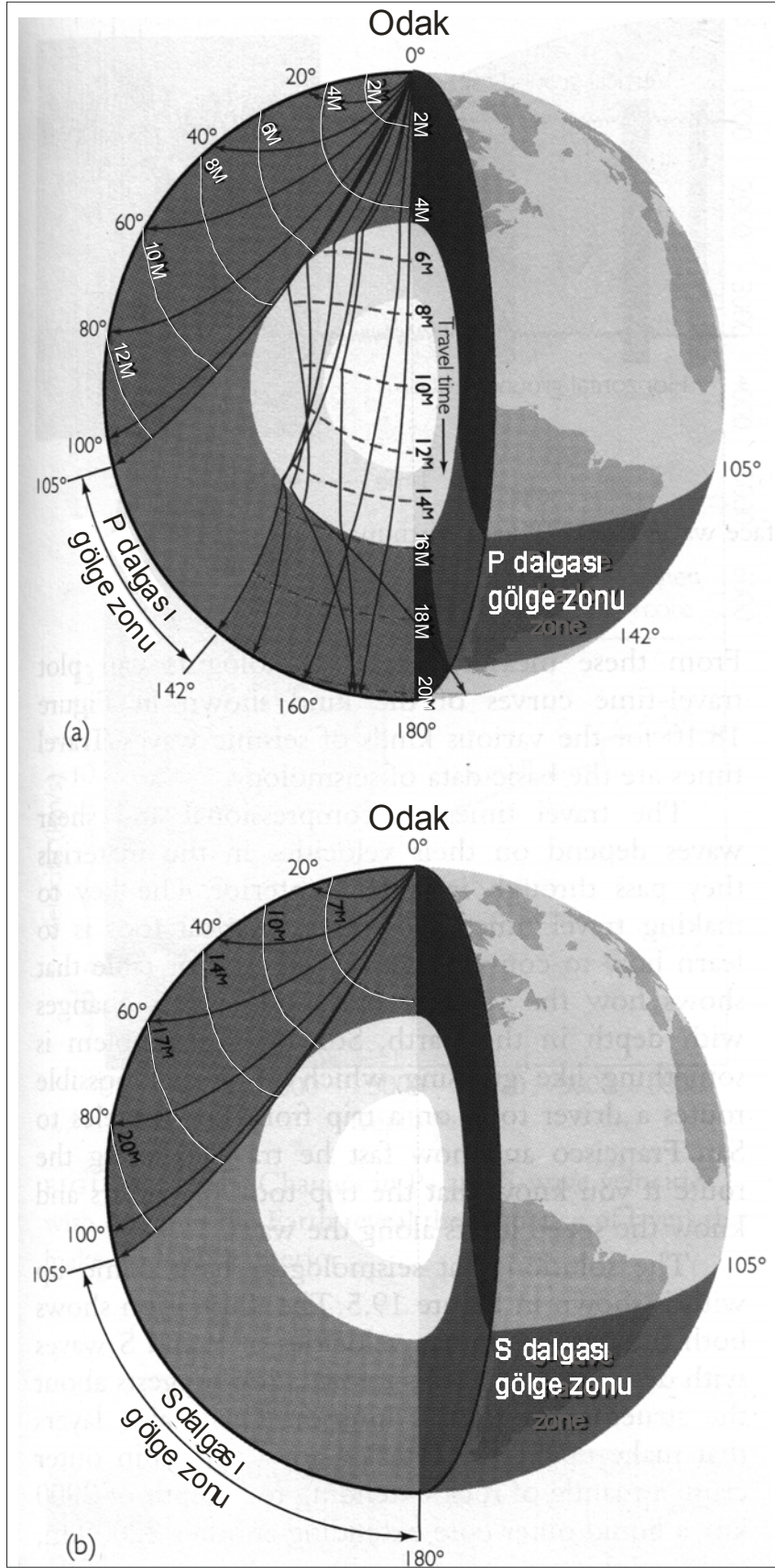
GİRİŞ

Jeologlar, yeryüzünün en fazla 50 ila 100 kilometre derinliklerinden taşınan (volkanizma ile) veya yükseltelen (deformasyonla) kayaçları inceleyebilmektedirler. Yarıçapı yaklaşık 6400 km olan yeryüzünün içinin anlaşılabilmesi için dolaylı veri sağlayan jeofizik yöntemlerine gereksinim vardır. Bu yöntemlerden biri, yeryüzünü kateden sismik dalgaların hızlarının değişmesini incelemektir. Ayrıca, yeryüzünün derinliklerinden yüzeye doğru gelen ısı akısını ölçmek ve arzın manyetik alanının özelliklerini araştırmakla da yer içine ait bilgiler elde edilebilir. Bölüm 18'de depremler incelendi. Bu bölümde ise, yerin içinde bulunan malzemelerin sismik dalgalardan itibaren nasıl araştırılabileceği, ve ısı akısı ve manyetizmanın yerin içinin yapısı ve bileşimi hakkında hangi bilgileri verebileceği konuları ele alınacaktır.

SİSMİK DALGALARLA YERİN İÇİNİN ARAŞTIRILMASI

Değişik türdeki dalgaların ortak özelliği, dalgaların yayılım hızlarının geçtikleri malzemeye bağlı olduğudur. Örneğin P ve S dalgaları bazaltta granite göre daha hızlı yayılırlar. P ve S dalgalarının hızları, bunların katettikleri mesafe ve yayılım süresi yardımı ile bulunabilir. Dalgaların yayıldıkları başka güzergahlarda (path) bu hızlarda ortaya çıkan farklar, bu hacimlerde bulunan malzemelere atfedilebilir.

Yayılma hızı ve güzergah kavramları, dalgalar birden fazla malzemeye karşılaştıkları zaman karışık hale gelirler. Bu durumda, sismik dalgalar aynen ışık ışınları gibi iki değişik malzemenin sınırında kırılma ve yansımaya uğrarlar. Sismologlar, sismik dalgaların kırılma ve yansıma olaylarını inceleyerek arzın içinin bazı özelliklerini çözmektedirler.



Şekil 19.1 a) P ve b) S dalgalarının arz içindeki yayılım yolları.

Yerin içinde yayılan sismik dalgaların güzergahları

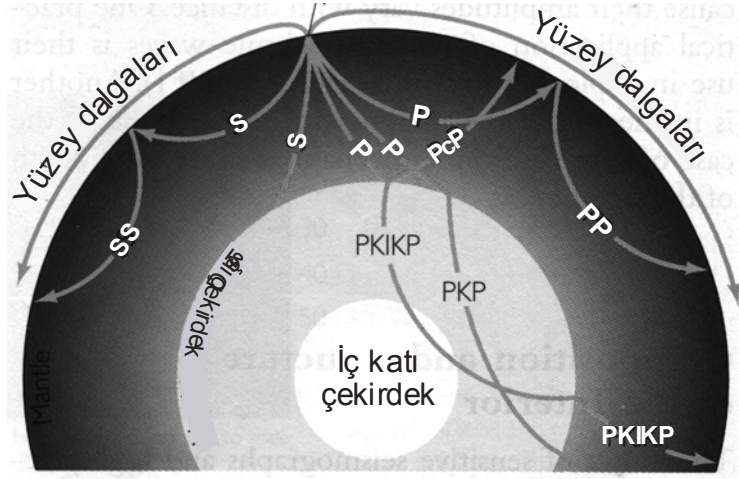
Dünya özellikleri yüzeyden merkeze kadar değişmeyen tek bir maddeden yapılmış olsaydı, bir odaktan itibaren bir sismografa doğru yayılan P ve S dalgaları düz bir hat boyunca yol alırlardı. Gerçekte, dalgalar bir hat boyunca yayılmazlar. Bundan itibaren sismologlar yerin içinin tabakalı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Arzın içinde yayılan dalgalar

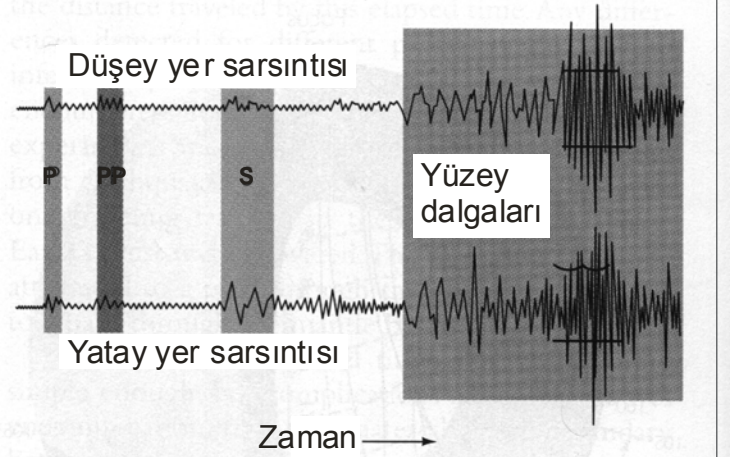
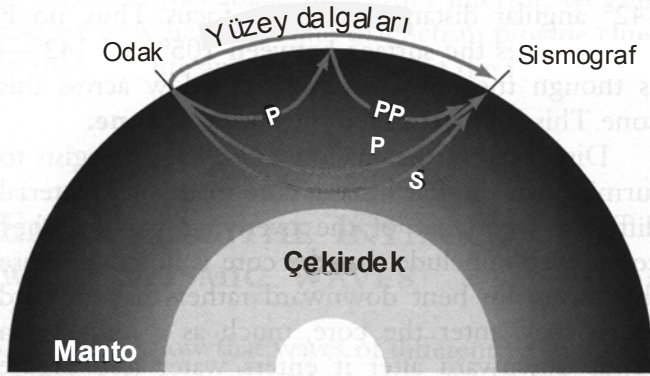
Şekil 19.1a, çok sayıda deprem verisi incelenmesi sonucu elde edilen ve P dalgalarının yer içindeki yayılım güzergahlarını göstermektedir. Bir odaktan itibaren açılal uzaklık olarak 105° ve 142° arasında P dalgaları kayıt edilememektedir (P dalgaları gölge alanı: P wave shadow zone). Bunun nedeni, bu dalgaların yerin merkezine doğru yayılmaları sırasında, çekirdek sınırında bükülerek çekirdek içine girmeleri ve tekrar başka kısımlardan yüzeye çıkmalarıdır. Şekil 19.1b ise, S dalgalarının yollarını göstermektedir. Buna göre, S dalgaları çekirdekten geçmemektedirler. Kesme (S, shear) dalgalarının katı dışında ortamlardan geçmediği bilindiğine göre, çekirdeğin dış kısmının sıvı olması gerekir. Başka sismik dalga çeşitleri ile çekirdeğin içinin katı olması gerektiği ileri sürülmüştür.

Arzın içinde yansıyan dalgalar

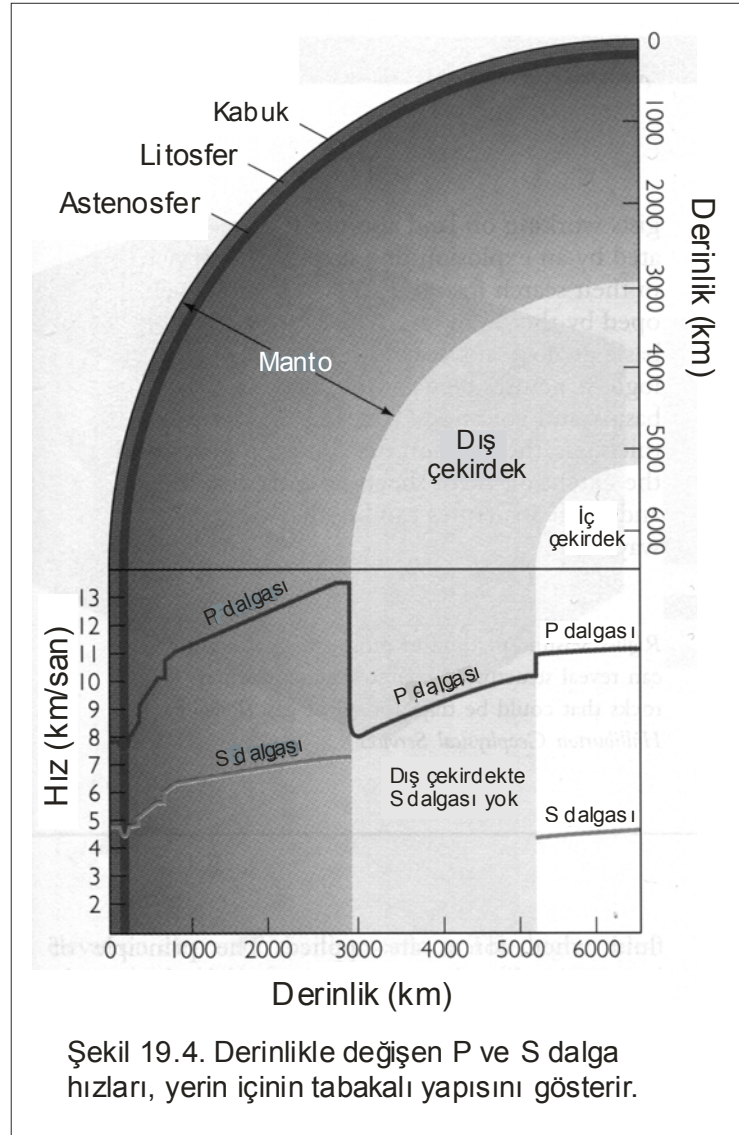
Sismologlar, yeryüre içinde değişik malzemeleri birbirlerinden ayıran sınırlarda gelişen yansımaları inceleyerek bu sınırların yerlerini saptamaya çalışmışlardır. Yansımalarla yeryüzüne ulaşan dalgalara, ilk dalgadan itibaren, yansıma ortamlarına göre bir isim verilir. Örneğin, kabuğa girip tekrar yüzeye doğru yol alan ve yüzeyden yansıyarak tekrar kabuğa giren P veya S dalgalarına, sıra ile, PP veya SS denir (Şekil. 19.2 ve 19.3). Mantodan yansıyan bir P dalgası, yüzeyde kayıt edildiğinde buna PcP denir. İç çekirdekten yansıyan bir P dalgası PKP, iç çekirdekten geçen bir dalgaya ise PKIKP denir.



Şekil 19.2. P ve S dalgalarının arz içindeki yansımaları. PP kabuk içinde yansıma ile oluşan dalgadır. PcP: çekirdekten yansıyan P dalgası; PKP: dış sıvı çekirdekten geçen P dalgası; PKIKP: katı iç çekirdekten geçen P dalgası.



Şekil 19.3. Uzak bir depremin P, PP, S ve yüzey dalga kayıtları.



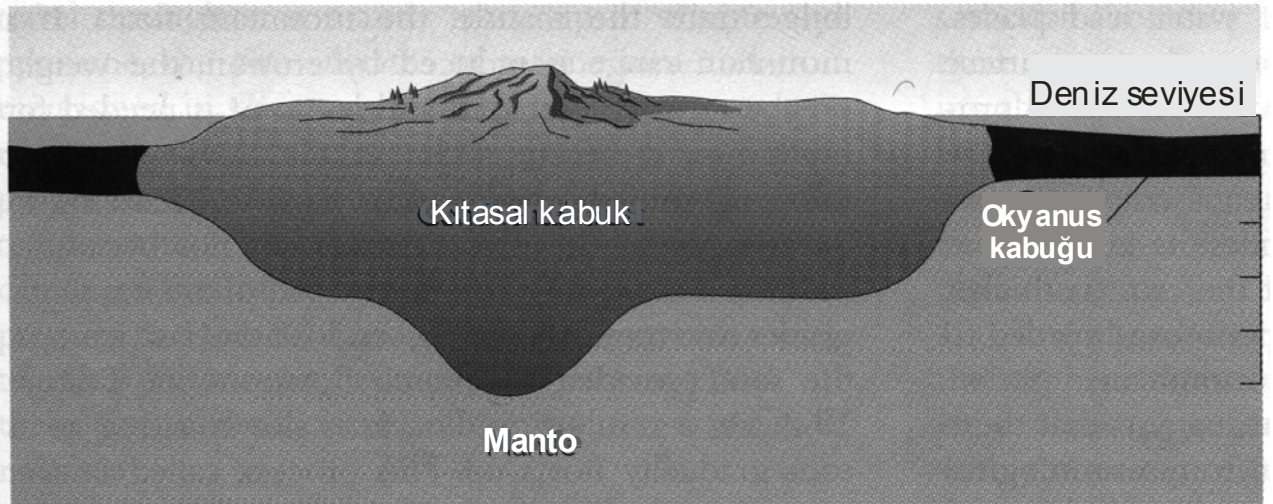
Arzın içinin Bileşim ve Yapısı

Binlerce deprem verisi ve nükleer denemelerde oluşan suni depremlerden elde edilen verilerin sonuçları Şekil 19.4'te yer almaktadır. Buna göre yerin ana tabakaları, dışta çok ince bir kabuk, 2900 km derinliğe kadar uzanan bir manto, ve 2200 km kadar kalın, **sıvı halde bir dış çekirdek** ve buradan merkeze kadar uzanan bir **katı iç çekirdek**.

Kabuk

Sismik dalgalarla ve değişik kabuk taşları üzerinde yürütülmüş olan dalga hızı ölçmeleri ile iyi incelenmiş olan kabuk, değişik kalınlıklara sahiptir (Şekil 19.5). Okyanuslarda 5 km olan kabuk, kıtalar altında 40 km, fakat yüksek dağlar altında ise 65 km ye kadar kalın olabilir. Kabuk içinde yol alan P dalgalarının hızı 6 ila 7 km/saniye dir. Hızlar felsik (granit) kayalarda 6 km/san, mafik (gabro) 7 km/san ve ultramafik kayalarda (peridotit) 8 km/san kadardır.

Bu hızlardan itibaren kıtasal kabuğun bileşiminin granitik olduğu, gabronun kabuğun alt kesimlerinde olduğu ve okyanusal kabukta granit bileşiminde kayaların olmadığı anlaşılmıştır. Okyanusal kabuk sadece bazalt ve gabro içermektedir. Kıtasal kabuğun alt kesimlerinde P dalgalarının hızı keskin bir şekilde 8 km/san değerine ulaşır. Bu hız bu kayaların daha derindeki ve mantoya ait ultramafik peridotit türünde olabileceğini göstermektedir. Manto ile kabuk arasındaki sınıra Moho (Mohorovicic, 1909, Yugoslav deprembilimci) süreksizliği adı verilmiştir. Kabuğun alttaki mantodan daha hafif olduğunu gösteren bu veriler, kabuğun manto üzerinde yüzecek şekilde daha hafif malzemelerden yapılmış olduğu teorisini de destekler niteliktedir.

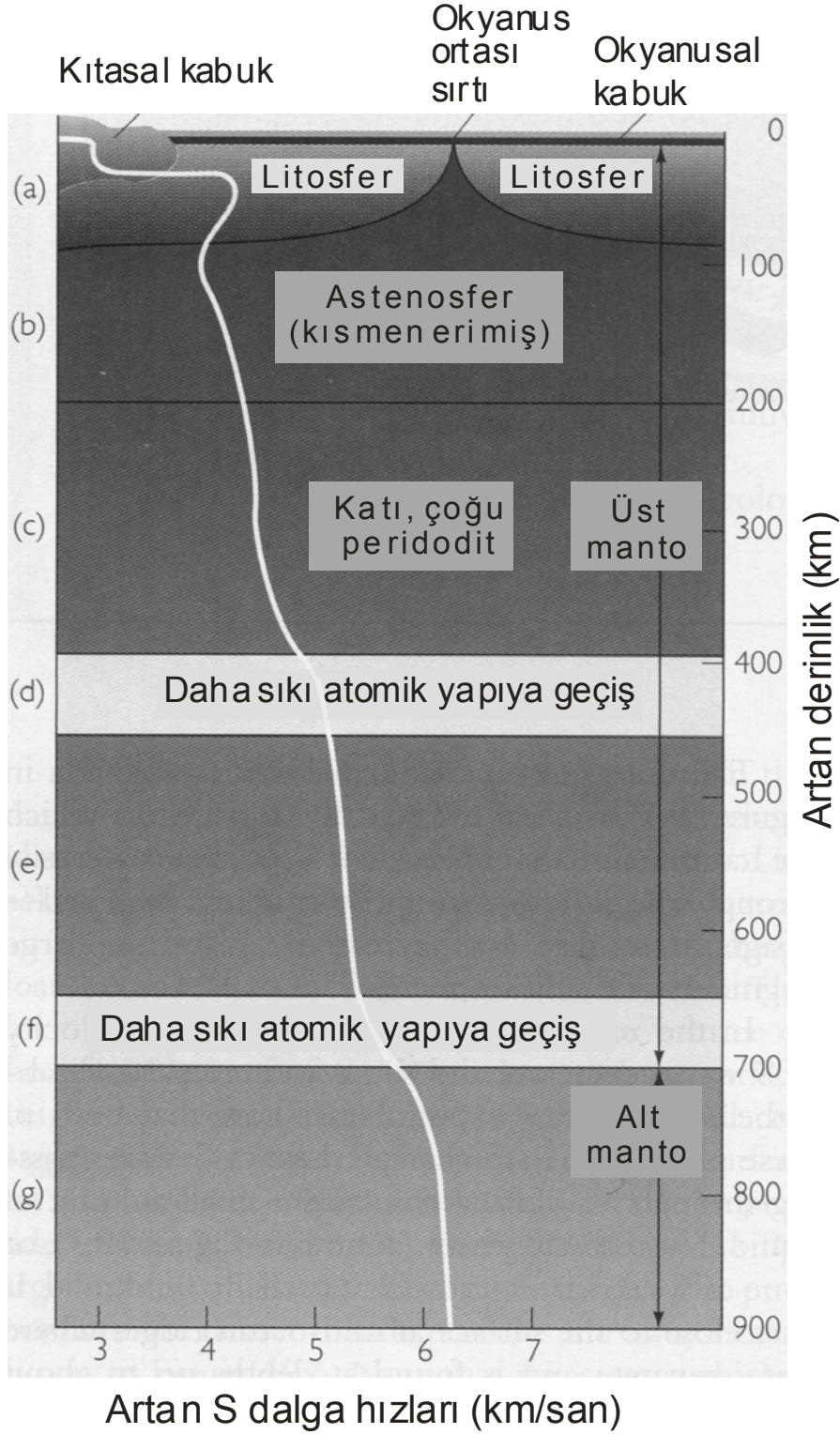


Şekil 19.5. Sismik dalgalar kabuk ve altındaki mantoyla kabuk kalınlıkları konusunda bilgi verir.

Manto

Üst mantoda yeralan peridotit, demir ve magnezyum silikatları olan olivin ve piroksen minerallerinden oluşmuştur. Özellikle 1970'lerden beri yapılan çalışmalar, en üst mantonun 100 km kadar olan ve litosfer adı verilen kesiminden S dalgalarının geçebildiğini, dolayısı ile katı olduğunu gösterdi (Şekil 19.6a). Litosferin altında ise, S dalgalarının hızı azalır ve dalgalar kısmen soğurulurlar (Şekil 19.6b) (absorption). Laboratuvar çalışmaları, S dalgalarının katıdan kısmen erimiş bir kesime geçtiklerini göstermektedir. Bu kesime astenosfer adı verilir. Jeologlar, astenosferin, belki yüzde bir kaç oranında erimiş madde içerdiğini düşünmektedirler. Bu düşünce de, astenosferin bazaltik magmaların kökeni olduğu ve katı litosferik plakaların alttaki kısmen erimiş ve zayıf astenosfer üzerinde hareket edebilecekleri fikirleri ile uygundur.

200 ila 400 km arasında S dalgalarının hızı gittikçe artar (Şekil 19.6c). 400 km nin altında ise önemli bir hız artışı vardır (Şekil 19.6d). Bu hız artışının, laboratuvar deneyleri ile, bu kesimdeki basınç ve sıcaklığın olivin kristallerindeki atomik yapının değişmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Aynı hız artışı, 670 km derinlikte de görülmektedir (Şekil 19.6f). 700 km den 2900 km derinliğe kadar olan alt mantoda ise S dalgalarının dereceli olarak artması ile, derinlik arttıkça bileşim ve yapının fazla değişmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 19.6. Derinlikle değişen S dalga hızları, yerin üst 900 km sinde bulunan üst mantoda sağlam litosfer, zayıf astenosfer, ve daha yoğun veya kristal yapıları daha sıkı iki zonun varlığına işaret eder.

Çekirdek

S dalgalarının incelenmesinden, çekirdeğin dış kısmının sıvı halde olduğu anlaşılmaktadır. P dalgalarının daha merkeze doğru bir kesimde (5100 km) hızlarının artışı, bu kesimin katı olduğu izlenimini vermektedir. Yapılan laboratuvar çalışmaları, bu kesimlerin genellikle demir içerdiklerini ortaya koydu. Bu aynı zamanda astronomlarında vardıkları sonuçlara uygundur.

Son yıllarda yapılan sismik araştırmalar ise, iç çekirdeğin aynı yönde sıralanmış demir kristallerinden oluştuğunu, ve bu kesimin dev bir tek kristal gibi davrandığını öne sürmektedir. Bu buluş şüphesiz dünyanın manyetik alanının açıklanması için yararlı olacaktır.

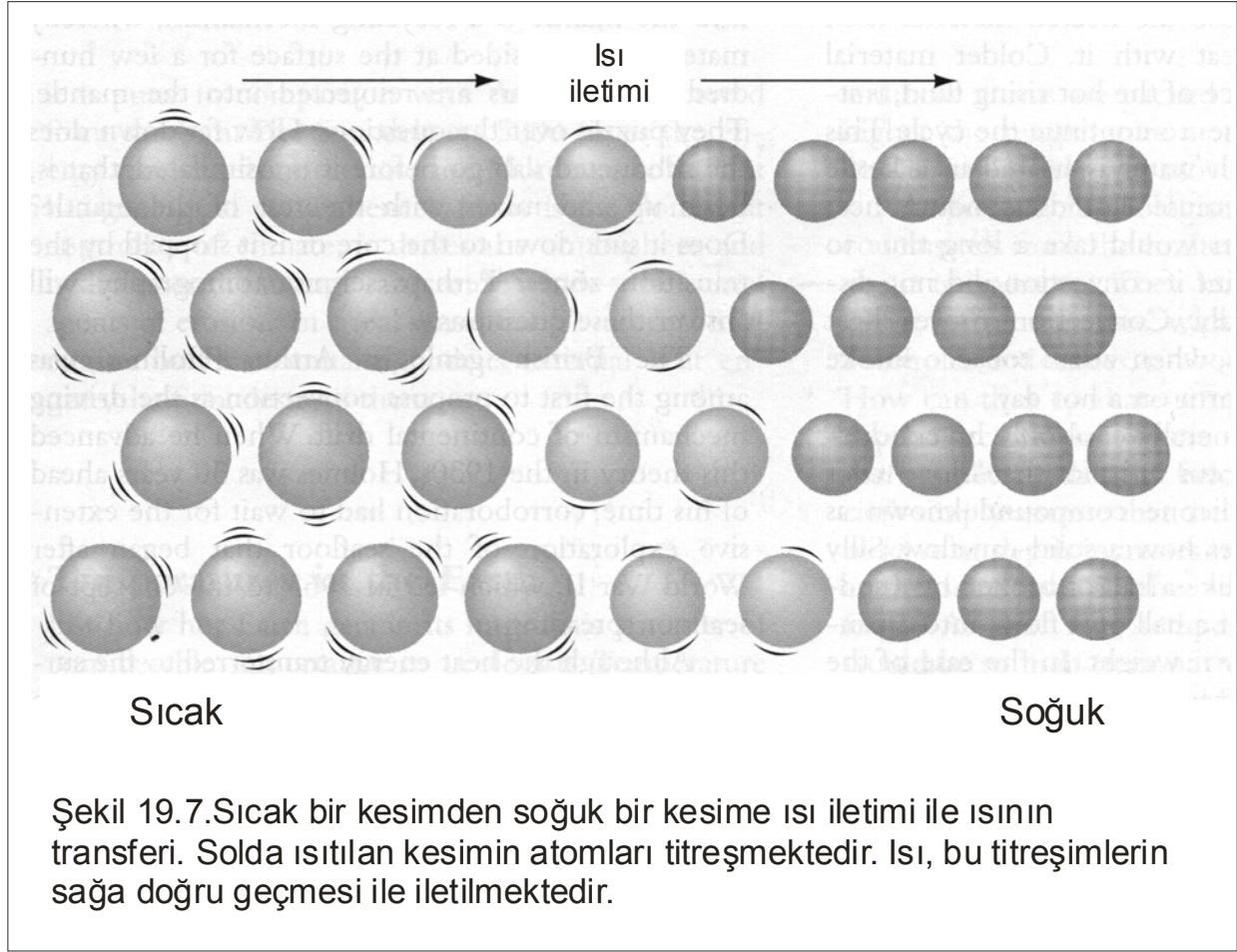
YERKÜRENİN İÇİNİN ISISI

Bu dersin ilk kısımlarında yerin içinin sıcak olduğu ve nedenleri ele alınmıştı. Burada ise yerin içindeki sıcaklığın dışarıya doğru nakil edilebileceği iki tür ısı transfer tipi (ısı iletimi ve konveksiyon) ve bunun sonuçlarının ne olabileceği üzerinde durulacaktır.

Isı iletimi (conduction)

Sıcak bir yerden soğuk bir yere iletimle ısı transferi, malzemeyi oluşturan atom ve moleküllerin hareketleri ile olur (Şekil 19.7). Sıcak ve titreşen parçaların hareketleri ile ısı iletilir.

Değişik malzemeler ısıyı değişik miktarlarda iletir. Metaller ısıyı plastikten daha iyi iletir. Kaya ve toprak ise ısıyı kötü iletirler.



Kayanın kötü ısı iletimi nedeni ile, 100 metre kalınlığında bir lav akıntısının 1000°C ' dan yüzey sıcaklığına soğuması 300 sene kadar zaman alır. Buna göre, 400 km kalınlığında bir kaya plakanın bir yüzündeki ısı diğer yüzüne ancak 5 milyar yıl sonra iletilir. Bu da dünyanın yaşından daha fazladır. Buna göre, dünya sadece iletimle soğusa idi 400 km altında bulunan ısı henüz yüzeye iletilmemiş olacaktı. Bu da, daha önce gördüğümüz gibi dünyanın ilk zamanlarında erimiş halde bulunan mantonun hala sıvı halde olmasını gerektirir. Fakat, sismik dalgalar bize bu kesimin (mantonun) sıvı halde olmadığını göstermektedir. Sonuçta, dünyanın 4 milyar yıldan beri soğumasını açıklayacak başka olayların olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizma konveksiyondur.

Konveksiyon

Konveksiyon, ısıtılan bir sıvı veya gazın genleşmesi ve çevreden daha az yoğun hale gelmesi ile yükselmesidir. Konveksiyonda, ısınan malzeme hareket ettiği ve ısıyı taşıdığı için konveksiyonla ısı transferi iletimle olandan daha fazladır.

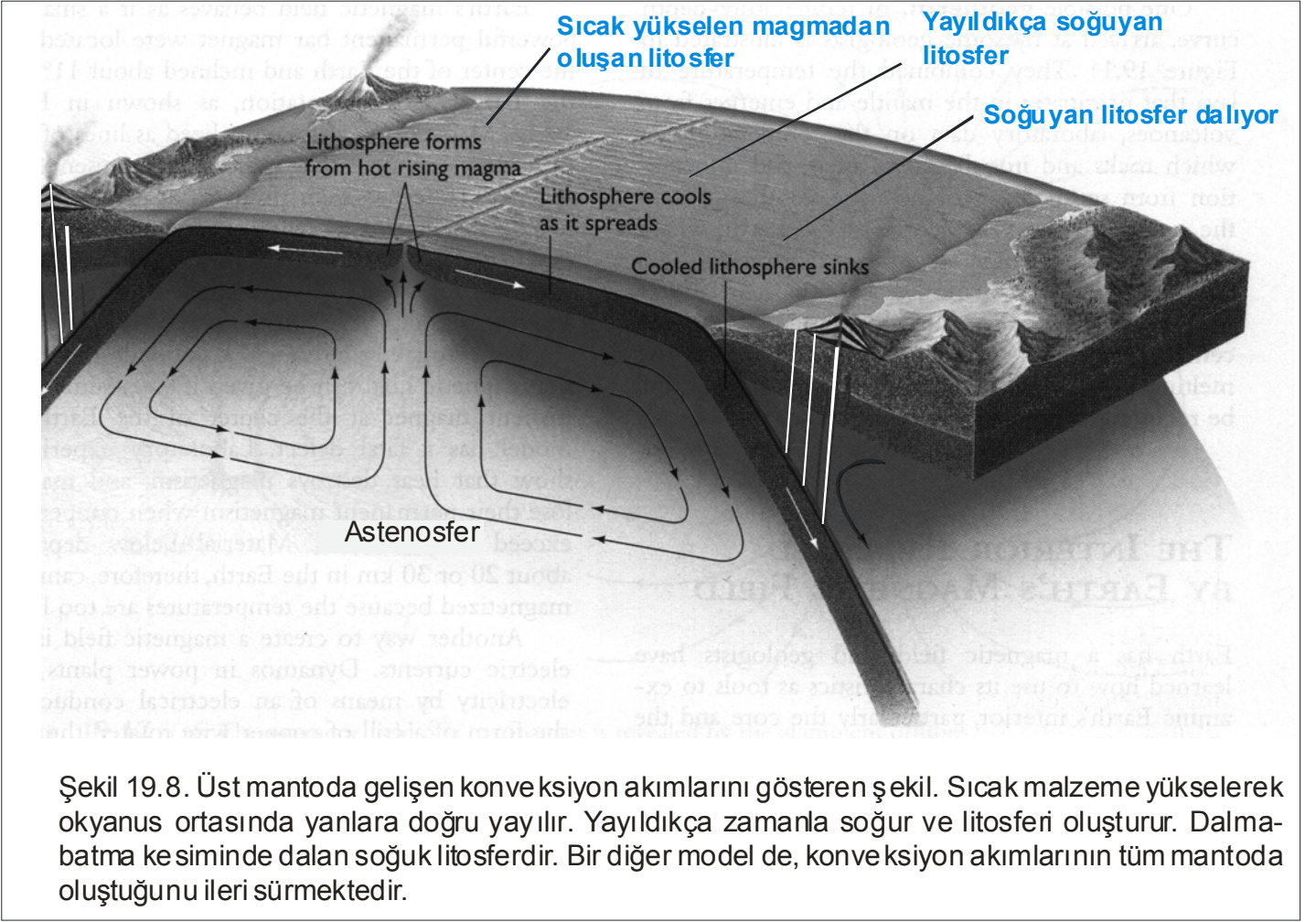
Isı transferi katı maddelerde sadece iletimle gerçekleşirken, konveksiyon uzun zamanlar boyunca “akan” katılarda olabilir. Yıl mertebesinde manto katı gibi davranırsa da, milyonlarca yıl süre için ve yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında manto sıvı gibi davranır. Bu haldeki manto malzemesi, çok kıvamlı bir akışkan olarak akar. Bu tez, şu soruları da beraberinde getirir: Konveksiyon, dünyanın ısısının iletildiği önemli bir işlev midir ? Halen sürmekte midir ? Geçmişte de olmuş mudur ?

Konveksiyonun etkileri

Okyanus açılması ve plaka tektoniği kuramı, konveksiyonun sürmekte olduğunun dolaysız işaretleridir. Okyanus ortasında yükselen sıcak malzeme yeni litosfer oluşturur. Bu malzeme yayılarak soğur ve daha sonra tekrar mantoya doğru batar (dalma-batma olayı) ve mantoda eritilir (Şekil 19.8).

Bazı bilim insanlarına göre, konveksiyon akımları mantonun birkaç yüz kilometresi içinde olmaktadır. Bazılarına göre, tüm manto bu işleve katılmaktadır. Bazılarına göre ise, konveksiyona derinlerde bulunan sıcak noktaların üzerine yeralan kısımlardaki hareketler yolaçar. Yöntem ne olursa olsun, dünya jeolojik zamanlar boyunca olasılıkla bu tarzda soğumuştur.

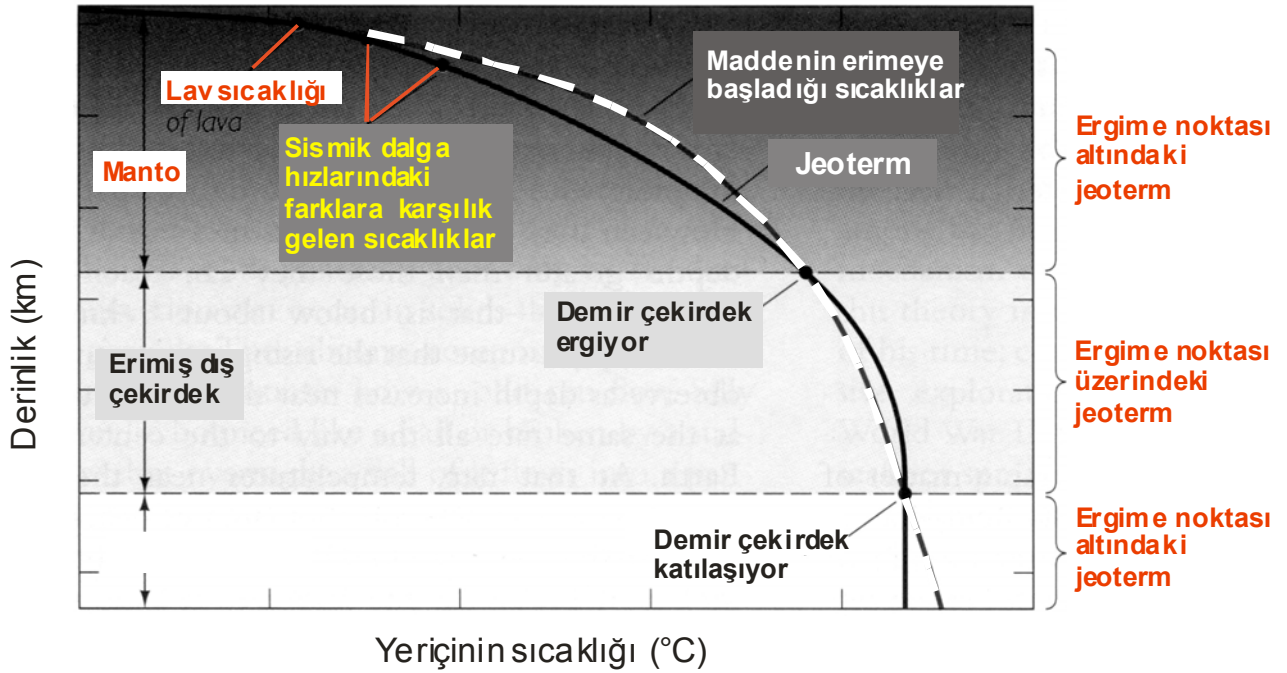
Bu yolla hareket eden plakalar, dağları ve diğer yeryüzü şekillerini içten gelen enerji şeklinde oluştururken, dış enerji olan güneş ve etkileri ise, yükseklikleri aşındırma yönünde çalışır.



Yeryüzü içindeki sıcaklıklar

Genellikle madencilik veya petrol sondajı çalışmalarından bilinen ve her 100 metre derinlik için sıcaklığın 2 veya 3° artışının dünyanın merkezine kadar olduğu varsayılırsa, merkezde sıcaklığın on binlerce derece olması gerekir. Bu da burada sadece erimiş malzemenin bulunmasını gerektirir ki bu sismolojinin bulgularına ters düşer.

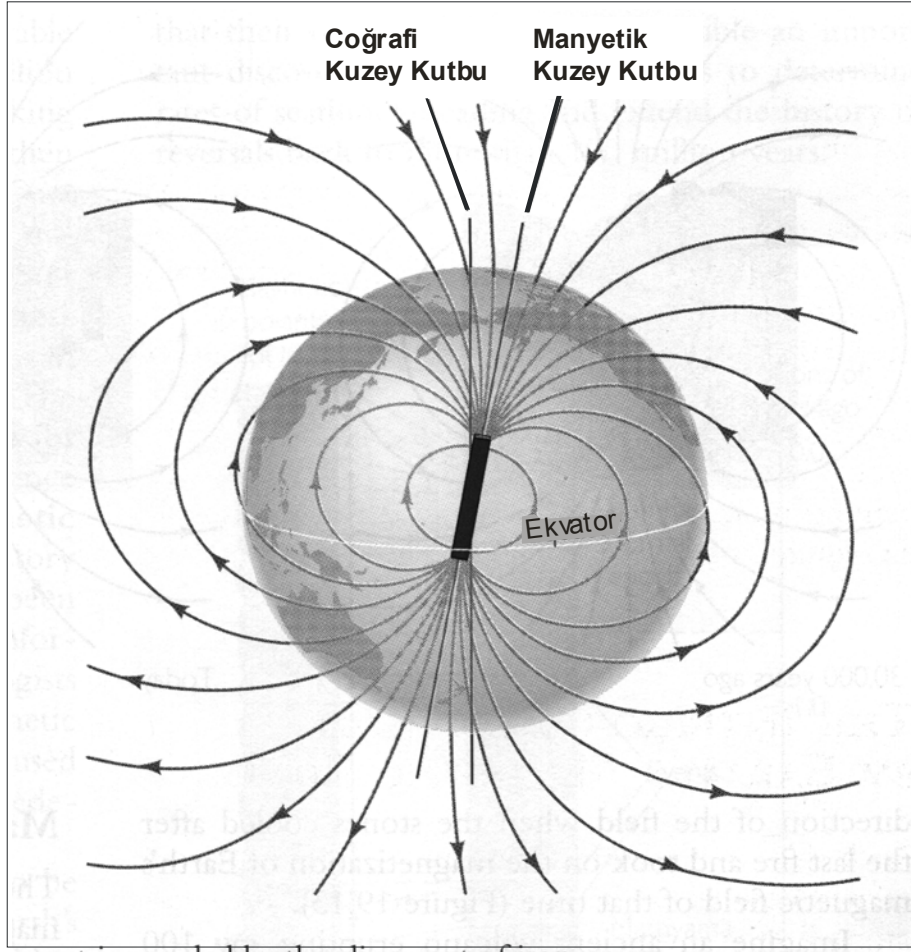
Olası bir dünya jeotermi veya bir sıcaklık-derinlik eğrisi, çeşitli laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilmiştir (Şekil 19.9). Bu çalışmalar, kökeni mantoda olan ve volkanlardan çıkan malzemelerin sıcaklıkları, demirin ve kayaların laboratuvarında elde edilen erime sıcaklıkları ve sismolojik verilerin bir sentezi niteliğindedir. Buna göre, arzın merkezinde hüküm süren sıcaklıklar 4000 ila 5000° C'dir.



Şekil 19.9. Çeşitli deprem dalgası, volkanik kayaç ve laboratuvar çalışmasının sonucunda ortaya çıkan yer içinin sıcaklık modeli.

YERİN MANYETİK ALANI

Yerin manyetik alanı, yerin merkezinde ve dönme eksenini ile 11° açı yapan bir mıknatıs varmış gibi davranmaktadır (Şekil 19.10). Bu mıknatısın etkisi, yeryüzünün herhangi bir noktasında bir pusulanın ibresinin gösterdiği yaklaşık kuzey-güney doğrultulu kuvvet çizgileri ile anlaşılmaktadır.



Şekil 19.10. Dünyanın manyetik alanının özellikleri, yerin merkezine konmuş ve dönme eksenini ile 11° açı yapan dev bir mıknatıs çubuğu ile açıklanabilmektedir. Üzeri oklu eğriler manyetik kuvvet çizgileridir.

Bu varsayım, yani dünyanın merkezinde bulunabilecek bir mıknatısın varlığı, önemli engelle karşılaşır. Laboratuvar deneyleri, ısınn manyetizmayı yokettiğini, ve sıcaklığın 500° aşması ile maddelerin mıknatıs olma özelliklerinin kalktığını göstermiştir. Buna göre, 20 ila 30 km derinliklerde malzemeler, sıcaklığın bu seviyelere ulaşması nedeni ile mıknatıslanma gösteremez.

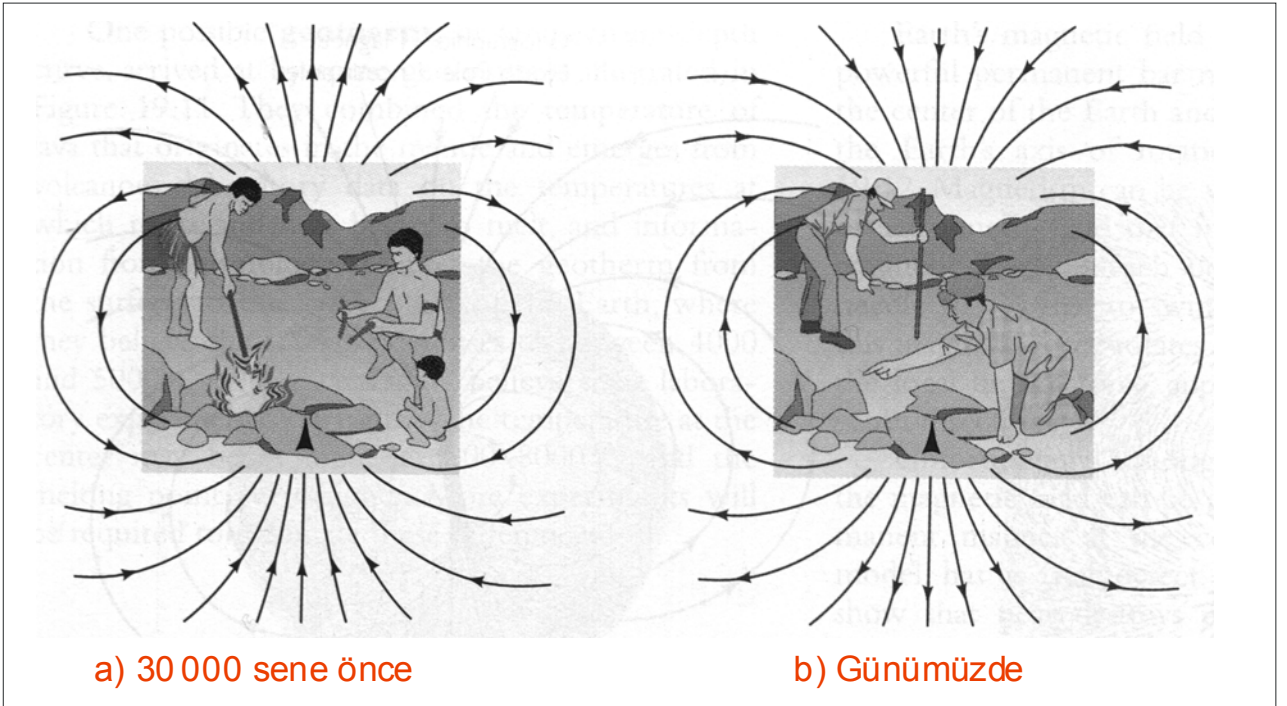
Manyetik alan, ayrıca dinamolarda olduğu gibi, elektrik akımları ile de yaratılabilir. Elektrik santrallerinde bu, su veya buhar gücü ile bir manyetik alan içinde döndürülen, bakır tel sarımlı bobinlerle yapılır. Yeryüzünde etkilerini gözlemlediğimiz bu manyetik alanı yaratabilecek kuvvete elektrik akımları üreten dinamo acaba arzın içinde olabilir mi ?

Araştırmacılara göre, böyle bir dinamonun yeri dış çekirdektedir. Erimiş ve demirden oluşmuş dış çekirdek katı iç çekirdeğin etrafında konveksiyon akımları ile dönmekte ve bir

tür dinamo oluşturmaktadır. Henüz iyi anlaşılamamış bir işlevle, çekirdekte süregelen bu hareket ile hem elektrik akımları hem de bir manyetik alan yaratılmaktadır. Yeryüzüne ulaşan bu manyetik alan, çekirdekteki bu alanın etkileridir.

Paleomanyetizma

1960'lı yılların başında, bir Avustralya'lı öğrenci, Avustralyalı yerli aborjinlerin yaktıkları bir kamp ateşinden, ilk konumlarını (doğada bulundukları konumda) kayıt ettiği taşları inceledi. Yaptığı çalışmada, kamp ateşinin sıcaklığından pişen bu taşların işaret ettiği manyetik alanın bugünkünün tam tersi olduğunu gösterdi. Hocasının inanmamasına karşın (ah bu hocalar !) öğrenci, kamp ateşinin yakıldığı günümüzden yaklaşık 30 000 yıl önce, yerin manyetik alanının bugünkünün tersi olduğunu ileri sürdü (Şekil 19.11). Yani o zaman bir pusula, kuzey yerine güneyi gösterecekti !

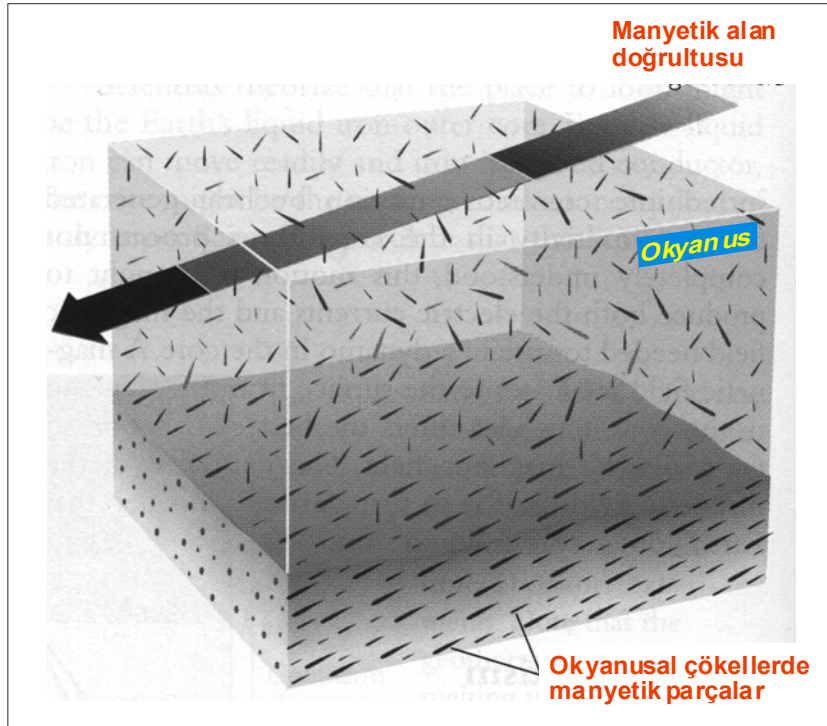


Şekil 19.11. Günümüzden 30 000 yıl önce, dünyamızın manyetik alanı bugünkünün tam tersi idi. Bunu anlamak için, o zaman yakılmış bir ateşten etkilenmiş kayalar incelenebilir. Ateşle ısınan kayalarda, soğuma sırasında manyetik mineraller o zamanki alana göre dizilmişlerdi. Güncel çalışma ile bu eski alan özellikleri ortaya çıkarılabilmektedir.

Yapılan çalışmalar, mıknatıslanabilecek demirli mineraller içeren kayaçların, örneğin volkanik kayaçların, soğuması sırasında 500°C sıcaklığın altına inmeleri ile, o zamanki manyetik alana paralel bir şekilde sıralandıklarını ortaya çıkardı. Yani, bu mineraller kayacın içinde aynı yönü gösteren minik mıknatıslar şeklinde taşlaşıyorlardı. Buna “sıcaklıkla kalıcı mıknatıslanma” (THERMOREMANENT MAGNETIZATION) adı verildi. Kalıcılıkla, manyetik alan değişse bile kalan bir mıknatıslanma anlaşılmaktadır. Böylece, Avustralya’lı öğrenci, taşların en son ateşten etkilendiği ve soğurken o zamanki manyetik alanı kaydettiği olguyu incelemiş oldu.

Aynı düşünce ile, örneğin 100 milyon yıl önce püskürmüş olan bir volkandan çıkan lavlar, katılaşıp ve soğurlarken, orta Kretase yaşına ait manyetik alanın etkisini de kayıt ederler.

Bu olay, çökelmede de kendini gösterir. Deniz tabanına çökelen tortullar arasında bulunabilecek örneğin manyetit mineralleri taşlaşma sırasında o dönemdeki manyetik alana paralel olacak şekilde sıralanırlar. “Çökelmede kalıcı mıknatıslanma” (DEPOSITIONAL REMANENT MAGNETIZATION) adı verilen bu olayla, tortul kayaçlardan da eski jeolojik zamanlara ait manyetik alan verileri elde edilebilmektedir (Şekil 19.12).

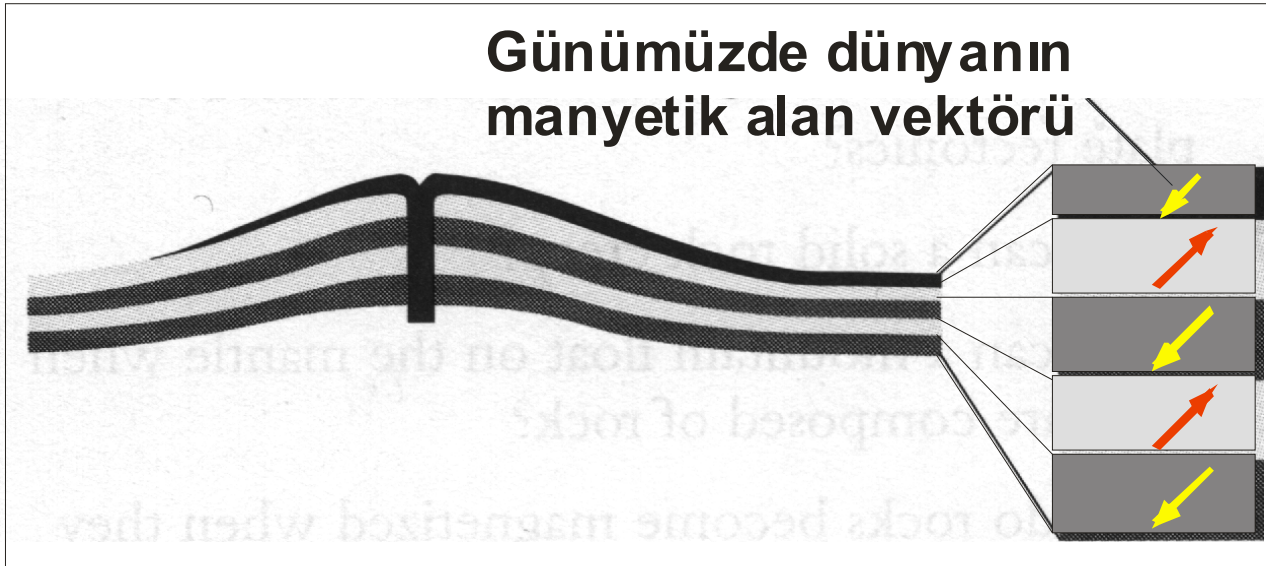


Şekil 19.12. Aşınma ile denize taşınan diğer mineraller gibi manyetik alandan etkilenen minerallerde denizde çökelişirler. Bu çökeltme sırasında etkin olan alana göre dizilen mineraller, taşlaşma sonrasında da bu dizilimlerini korurlar. Sonuçta, taş, oluşum zamanına ait manyetik alan verilerini "hatırlar".

Bu olguya paleomanyetizma veya fosil manyetizma (PALEOMAGNETISM, FOSSIL MAGNETISM) ismi verilmektedir. Bilinen en eski mıknatıslanmış 3.5 milyar yıllık kayalar üzerinde yürütülen çalışmalarda, yerin o zamanlar bugünküne çok farklı olmayan bir manyetik alanı olduğunu gösterdi. Bu da 4.5 milyar yıl yaşlı dünyanın, 3.5 milyar yıldan beri bir sıvı çekirdeğinin olabileceğini göstermektedir.

Manyetik stratigrafi

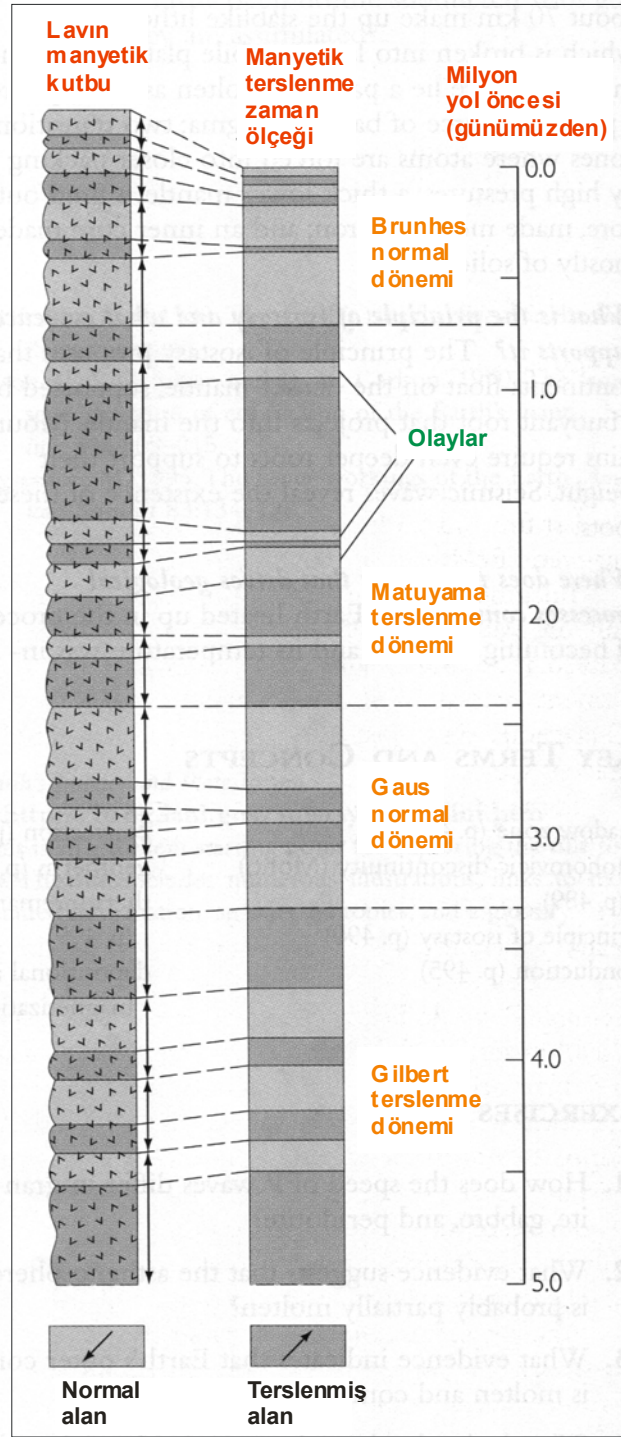
Avustralya'lı öğrencinin bulgusu, dünyada bu konuda yapılan çalışmalarla desteklendi. Buna göre, arzın manyetik alanı periyodik olarak “terslenmektedir”. Yaklaşık her yarım milyon yılda bir, manyetik kutuplar yer değiştirmektedir. Bu üst üste akarak gelmiş lavlardan kesin olarak ortaya çıkarılmıştır (Şekil 19.13). Yapılan çalışmalarla, geçmişte olagelmış bu terslenmeler, hem manyetik yöntemler kullanılarak hem de radyometrik yaş tayin yöntemleri (zaman içinde radyoaktif elementlerin bozunması) ile yaş verilerek incelendi. Geçmiş 5 milyon yıl için volkanik lavlardan elde edilen bu terslenmeler (Şekil 19.14) sayesinde bilinmeyen, diğer volkanik veya tortul kütlelerin manyetik alan özelliklerinin çıkarılması ile yaşları anlaşılabilir. Bu çalışma yöntemine manyetik stratigrafi (MAGNETIC STRATIGRAPHY) adı verilir.



Şekil 19.13. Lavlar, aktıkları zamana ait manyetik alanı soğur ve katılaşırlarken kaydederler. Böylece, güncel ve eski lavların manyetik özelliklerinden arzın manyetik alanının terslenmeleri anlaşılmış ve ölçülmüştür. En üstte yeralan lavlar güncel alan vektörünü gösterirken, eskiler arasında ters vektörü gösteren lav akıntıları da vardır.

Terslenme sütununda yer alan ve uzun süreli mantetik alan dönemlerine manyetik alanda şöhreti olan bilim insanlarının isimleri verilmiştir (Gaus gibi). Uzun dönemler arasında kısa süreli, binlerce yılla 200 000 yıla kadar sürebilen, ve “olay” (EVENT) adı verilen dönemler de yer alır.

Manyetik alanın bu terslenmeleri henüz anlaşılamamış ve açıklama bekleyen bilimsel olaylardan biridir.



Şekil 19.13. Dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan lavlarda yürütülen manyetik alan çalışmaları ve yaş tayinleri sayesinde son 5 milyon yıl için oluşturulan manyetik terslenmeler cetveli.