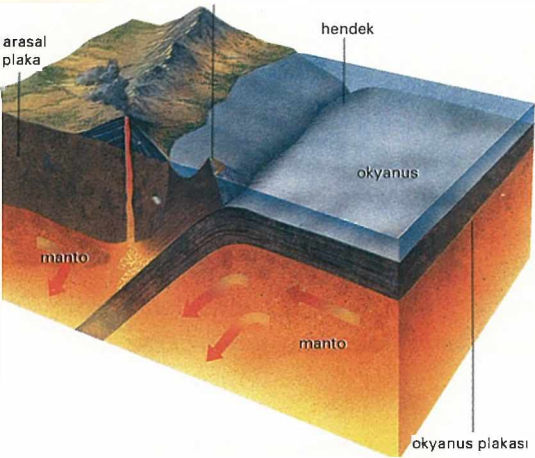


# Yeryuvarının İç Dinamikleri



Yitim, yoğun okyanus kabuğunun kıtasal kabuk altında batmasıyla oluşur, eriyen kayalar volkanizmaya neden olur.

*Geride bıraktığımız son 50 yıl, Dünyanın manto ve çekirdeğinin kimyasal, termal ve dinamik koşullarını daha iyi anlamaya yönelik önemli çalışmalar yapıldığı bir dönem oldu. Hala sırrını koruyan bir çok meseleye rağmen bazı temel ve can alıcı noktalar artık gerçeğe kavuşmaktan çok da uzak değiller.*

Çeviri: Ayhan Aydın  
ODTU Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğrencisi  
blackhors@hotmail.com  
Editör: Kirman  
E-K. Jeoteknik, kirman@science.ankara.edu.tr

**B**ir çok yönden 1940'ların sonları ve 1950'lerin başları, çekirdek ve mantonun kimyasal ve mineralojik özelliklerini anlamaya başlayışımızın 'modern çağ' başlangıcı olarak yorumlanabilir. Dünyanın kalın katmanlı bir yapısı olduğu bu yüzyılın ilk 10-20 yılı içerisinde sismoloji kullanılarak ortaya konmuştu. Fakat çekirdek ve manto özelliklerinin tam olarak tanımlanmasına yönelik nihai çalışmaların tabanı ve destekleyicisi konumundaki bir çok temel ilke ve görüşün ortaya çıkışı, bundan sadece 50 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Bunlara örnek olarak aşağıda sıralanan görüşler verilebilir:

I. Birch'ün, Jeffreys tarafından 400-1000 kilometre derinliklerde olduğunu ortaya konan, yüksek basınç kristallenme faz geçişlerinin sismik hızlarda anomali gösteren iniş ve çıkışlar meydana getirdiğine dair meşhur görüşü

II. Bullen'in, alt mantodaki sismik hız dağılımının gezegenin bu en büyük kısmında faz açısından ve kimyasal olarak bir özdeşliğe işaret ettiği fikri (son 200 km hariç).

III. Dana ve Wiechert tarafından 19. yüzyılın sonlarında ileri sürülen çekirdeğin demir ağırlıklı olduğu tezini; demir üzerine bir çok bilginin bileşimi, dış çekirdeğin sismik özellikleri ve meteorların yapısal özelliklerini kullanarak, destekleyen bir diğer görüş.

Bu görüşler arasında mantonun aynen bir sıvı ya da gaz gibi bir yerde ısınarak hafifleşmesi ve yükselmesi, daha sonra da başka bir yerde soğuyarak alçalması anlamına gelen 'manto konveksiyonu' ihtimall Verhoogen tarafından öne sürülüyordu. Fakat bu tez o zamanlar henüz kabul görmüş değildi. Gezegenin iç kısımlarının süre(k)li miknatizasyon özelliğinin Dünyanın iki kutuplu manyetik alanını oluşturması gerektiği fikri, örneğin Elsasser gibiler tarafından ileri sürülen dış çekirdekteki sıvı hareketlerinin manyetik alan üretici manyeto hidrodinamik modelleriyle, değiştirilmek üzereydi. Ve nihayet, varlığı ilk olarak 1936 yılında belirlenen iç çekirdeğin, bilimsel olarak o gün için henüz kanıtlanmadığı halde, katı olduğu ve demirin eğrimsizliğiyle jeotermal (ısı eğrisi), basınç etkisi altında çarışması sonucu oluştuğu iddia edildi.

Bu birinci sınıf öngörülere rağmen, Amerikan Jeoloji Enstitüsü kurulduğunda, yerkürenin derinlikleri hakkındaki bir çok belirsizlik varlığını hala sürdürmekteydi. Üst mantonun bileşimi ve manto-kabuk süreksizliğinin doğasına ilişkin görüşler, bugünlere oranla oldukça farklılıklar gösteriyordu. Mesela bazaltın hangi şartlarda oluştuğu açığa kavuşmamıştı, geçiş zonlarında görülebilecek kristalografik geçiş çeşitleri bir dizi spekülasyondan ibaretti, ve mevcut sismik gözlemler yavaş doğru homojen olan ve soğan şeklinde tabakalanmış bir gezegen benzetmesi kullanılarak açıklanıyordu. Günümüzde ise bundan yarım yüzyıl öncesine kadar hayal bile edilemeyecek, ve okyanus ortası sirtlara magma taşıyan taşıma sistemlerinden tutun da yanal sıcaklık değişimlerinin anlaşılmasına olanak sağlayabilecek küresel sismik süreksizlik sapma haritalarına kadar oldukça iddialı bir jeofizik harikalar zenginliği yaşanmaktadır.

## Üst Manto

1940'ların başlarında "Üst Manto" yaklaşımından ziyade, kabuk altı derinliklerde kalınlığı onlarca kilometreden tutun yüzlerce kilometreye varabilecek camı ya da magmatik bazaltik bir "alt tabakalanma" görüşü çok daha benimsenir durumdaydı. Bununla beraber, bazalt ile olan kimyasal benzerliği ve üst mantonun sismik göstergeleriyle sağladığı genel uyuma dayanarak eklojit, üst mantonun egemen kayacı olarak nitelendiriliyordu. Meteoritik yapı bir yerküre ele alındığında, kalsiyum ve alüminyum bakımından bu derece zenginleşmiş bir tabakanın, daha derinlerde magnezyum silikatların fazlıca yoğun olduğu bir başka bölgeye geçmiş olması bekleniyordu. 1952 tarihli meşhur makalesinde Birch, elastisitesini baz alarak peridotiti üst mantonun egemen kayalar

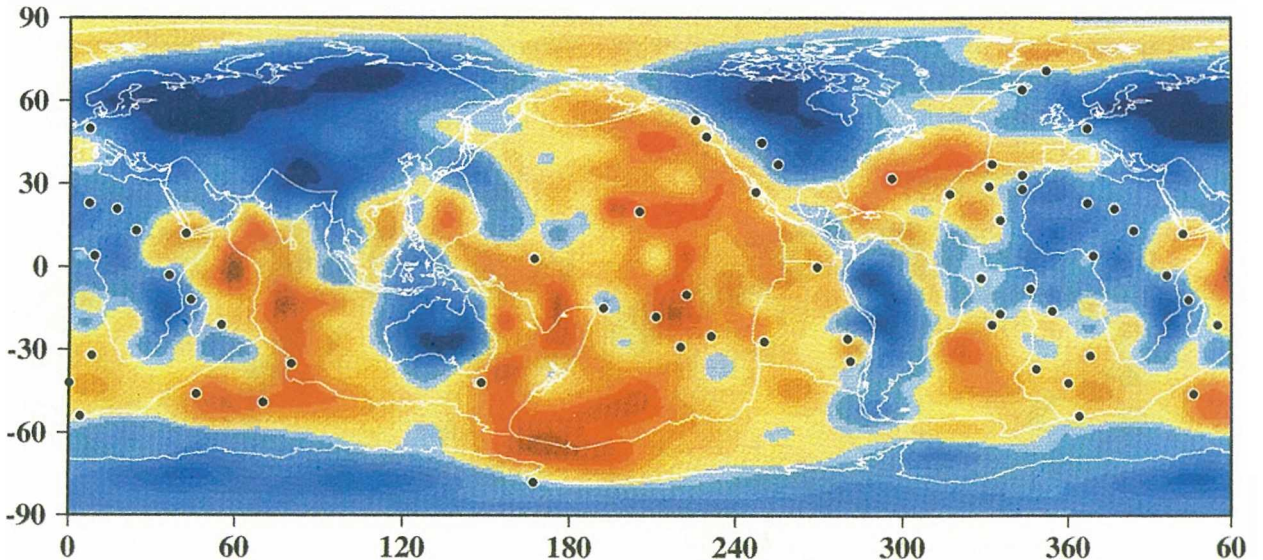
sınıfından çıkarıyordu. Bu kayı muhtemelen 80 kilometreden sığ ve 2,5 GPa'dan düşük basınçlarda meydana gelen plajiyoklazdan granat-peridotite geçiş fazının bilinmiyor oluşundan kaynaklanmaktaydı.

Ancak artık günümüzde, bazalt petrojenezine yönelik bir çok çalışmanın (Ringwood ve yardımcıları öncülüğünde) birleştirilmesiyle mineraller hakkında şartlara uyabilecek bir çok bilgi toplanmış, ve ağırlıklı olarak okyanusal kabukla mantoya ait sismik hız profilleri kullanılarak üst mantonun peridotitik ağırlıkta bir kimyası olduğuna dair fikir birliğine varılmıştır. Üst manto bileşiminin yeniden tanımlanması, eklojitten bazalt üretmek için gerekli olan büyük miktarda bir manto ergimesini de akıllarda uzağa atmıştır. Bazalt üretimi için meydana gelen ergimelerde üst mantonun oranı yaklaşık % 20'lik bir oranda, ergimenin ortalama başlangıç derinliğinin sınırı ise yaklaşık 100 km ile sınırlandırılmıştır. Bunun da ötesinde peridotitin ergime davranışı, ergimiş bazaltik oluşumdan harzburjitik bir artık meydana gelmesi için doğal bir mekanizmaya da olanak sağlar. Aynı zamanda peridotitin üst mantodaki öneminin anlaşılması, 1950'lerin sonları ve 1960'larda oldukça geçerli olan Moho süreksizliğine yönelik bir çok gözlemin tutarlı açıklaması olarak süregelen gabro-eklojit geçişini de ortadan kaldırmıştır. Bütün bunlara rağmen eklojitin elastik özelliklerinin üst manto ile benzerliği, günümüzde manto yapısına yönelik yorum ve yaklaşımlarda hala karmaşıklık ve soru işaretlerine neden olmaktadır.

## Yerin Derinlikleri

Yerkürenin derinliklerinde bulunan bölgeler hakkındaki görüşler, özellikle son yarım yüzyıl içerisinde çok ciddi bir değişime uğramıştır. 1940'larda, derinlikle beraber

## S Dalgaları, Derinlik=200.0 Km



200 km derinlikteki küresel kesme hızını gösteren model.



hızdaki dalgalanmaların kendiliğinden oluşan ve sıkışma etkileriyle açıklanamayan gezegenin geçiş zonu, 400-1000 km derinliklerde anormal sismik hız gradyanlarına sahip bir bölge olarak tanımlanıyordu. Bu geçişin nedenleri açık değildi ve değişik ihtimaller söz konusuydu. Mesela kimyasal özelliklerde bir değişim olabilirdi ya da faz geçişleri bu bölgedeki elastisite ve yoğunluğu değiştiriyor ya da yerlerini kaydırıyordu. 1936 yılında kimyacı J.D. Bernard olayın iç yüzünü anlamaya yönelik bir teklif ileri sürdü: yüksek basınç altında olivin daha yoğun bir spinel yapısına dönüşebilirdi. Ardından 1952 yılında Birch'ün öngörülleri geldi; buna göre  $MgSiO_3$ -piroksen yüksek basınç altında korund ( $Al_2O_3$ ),  $SiO_2$  ise rutil ( $TiO_2$ ) yapısına dönüşebilirdi. Şüphesiz bu görüşlerin her birinin ayrı ayrı doğruluğu araştırılıp incelemeye fazlasıyla değerdi, ama magnezyum silikatların faz dengelerinin geçiş zonu koşullarında anlaşılması için gerekli olan yüksek basınç teknolojisinde ciddi gelişmeler için biraz daha zamana ihtiyaç vardı.

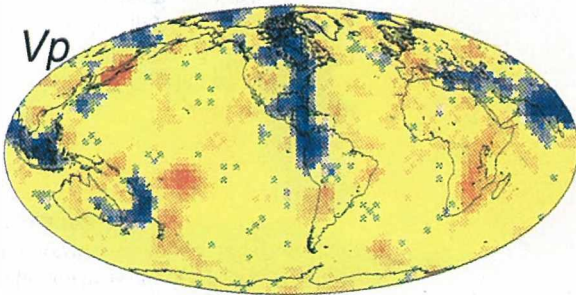
Yüksek basınç teknolojisi, geçiş zonunun sismik tanımlanışına paralel bir gelişim kaydetti. Geçiş zonu 1960'lardan günümüze uzanan ve kimyasal yapı araştırmalarından mineralojik çalışmalara kadar bir çok gelişmeyi içeren bir süreç içerisinde; vasıfsız, zorlu koşullardaki yetersiz sıcaklık, mineraloji ve kimya olanaklarıyla yarım yamalak bilinen bir bölge olmaktan çıkıp karmaşık mineralojisi tamamen anlaşılmiş, mutlak sıcaklığı noktasal olarak sabitlenmiş ve genel kimyası hakkında sadece ufak tefek belirsizliklerin varlığını sürdürdüğü bir bölge haline gelmiştir.

1948 yılındaki deneysel olanaklar sadece kabuk seviyesindeki koşullarda çalışmalar yapmaya imkan tanıyordu. Bugün ise laboratuvar ortamında gezegenin derinliklerindeki bütün basınç ve çoğu sıcaklık koşulları, X-ışını difraksiyon ve spektroskopik yöntemler kullanılarak yapısı ve özellikleri detaylıca tanımlanan örneklerde rahatlıkla sağlanabilmektedir. Bu şekilde hem geçiş zonunun detaylı sismik yapısı hem de alt

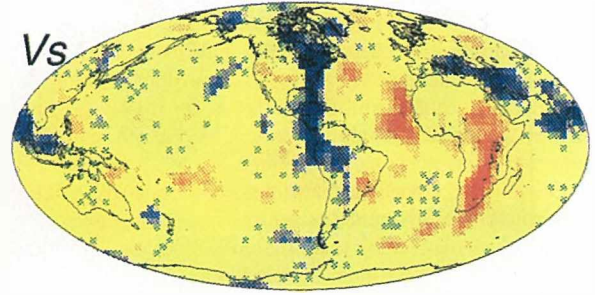
mantonun büyük kısmındaki yapısal eksiklik için ses-fiziksel ve termokimyasal bir taban oluşturulmaktadır.

Manto malzemelerinin reolojik özelliklerinin kanıtlanmış deneysel ve gözlemsel sınırlarıyla plaka tektoniğinin tanımlanması, "manto konveksiyonu" görüşünü spekülasyonlar diyarından alıp yerkürenin derinliklerini anlamamızdaki temel esaslarından biri haline getirdi. Günümüzde alt ve üst manto arasındaki birbirinden bağımsız madde değiş tokuşlarına, bir tüydeki yapıya benzeyen malzeme yükselmesine ve başka bir kıta ya da okyanusal kabuğun altına dalan kıta ya da okyanusal kabuk dilimlerinin akabetlerine dair yaklaşımların her biri, yerküre mantosunun aktif bir şekilde konveksiyon gösteren dinamik bir sistem olduğu düşüncesinden yola çıkmaktadır. 1980'lerde sismik tomografideki gelişmeler, manto konveksiyonunu ele alma ve değerlendirmeye yönelik yaklaşımları büyük oranda etkilemiştir. Zira bu teknolojinin sismik hızlardaki değişimleri üç-boyutlu incelemeye olanak sağlaması ile ilk defa yüzeyde gözlemlenen plakaların altında bulunan derinlerdeki yapıları da açığa çıkarma ve onlar hakkında daha sağlıklı bilgi edinme imkanı doğmuş oluyordu. Bugün, birincil olarak termal ama aynı zamanda kimyasal farklılıklardan kaynaklanan üst manto hızının yanal değişimlerinin, küresel boyutta anlaşılması ve davranışının belirlenmesi, küçük değişimlere dahi çok duyarlı bir şekilde yapılabilmektedir. Örneğin manto içerisinde yüksek ve düşük sismik hız bölgeleri saptanmış ve en güçlü değişimlerin ilk 300 kilometre derinlikte meydana geldiği belirlenmiştir. Kratonların 300-400 kilometre altına kadar uzanan yüksek-hız malzemelerinin derin kökleriyle karşılaşılması gibi umulmadık durumlar, plaka tektoniği ve kıtaların oluşumlarına yönelik ilk ve eski fikirleri kökten etkilemiş ve hatta değiştirmiştir. Okyanusal sırtlar ve büyük volkanik sıcak noktalar altında bulunan derin yerleşimli yükselmeler, düşük hız bölgelerine ve geçiş zonu süreksizliklerindeki sapmalara işaret etmektedir.

**Z=1350 km**



Maksimum anomali =  $\pm$  %0.4



Maksimum anomali =  $\pm$  %0.4

Batma eğiliminde olan manto dilimlerinin dağılımını gösteren orta manto P ve S dalgaları tomografik modelleri.

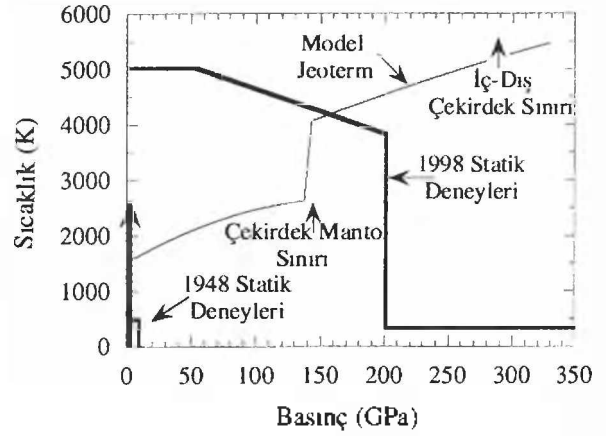
## Çekirdek-Manto Sınırı

1940'lardan bugüne, Çekirdek-Manto Sınırında (ÇMS) bulunan yapılar hakkında yürütülen fikirler kadar, gezegenin başka hiçbir bölgesi hakkında fikir yürütülmemiştir. Bu bölgeye dair görüşler, Jeffreys'in modelinde olduğu gibi hız dalgalanmalarını kısmi yassılaması ile tanımlanan ve Bullen'in 1949'da bu görüşe dayanarak son 200 kilometresinde kimyasal bir özdeşliğin bulunmadığını ileri sürdüğü bir görüş olmaktan çıkmıştır. Bu bölge bugün artık bir ÇMS'nin 5-50 kilometre, diğeri de 130-400 kilometre üzerinde bulunan ve yanal olarak değişiklikler gösteren iki sismik süreksizliği barındırdığı bilinen bir bölgedir. Bununla beraber yanal akıntılar boyunca malzemelerde bir dokulanmaya işaret eden anizotropik özellikli kısımların varlığı da bu bölgeye ait bilgileri pekiştirmiştir. Teknolojiye paralel olarak sürekli bir gelişme içerisinde bulunan ÇMS yakınlarındaki yapılara ait sismik veri ve şekiller, bu bölgedeki fiziksel ve dinamik olaylardaki işleyişin litosferdekilerle ve astenosferin sığ seviyelerindekilerle karmaşıklık bakımından rekabet edecek kadar çetin olduğuna işaret etmektedir. Yerkürenin mantosunun derinliklerine ilişkin en temel paradigmalardan birisi mantonun katı olduğudur. Fakat bir önceki cümlede söylenenler, manto ile çekirdeğin birleştiği yer olan yerküre mantosunun bazal tabakası için geçerli değildir. Henüz çok yakınlarda Çekirdek-Manto sınırında keşfedilen 5-50 kilometre kalınlığında, çarpıcı bir şekilde bastırılmış bir sismik hız tabakasının bulunması, bu derinlikte var olduğu düşünülen çok miktardaki kısmen ergimiş malzemelerin varlığına dayandırılmaktadır. Bu, mantonun alt kısımları için çok önemli reolojik sinyaller veren bir sonuç olmuştur.

ÇMS civarındaki sismik olarak tanımlanmış bir çok yapısal şekil ve olgu, mineralojik, petrografik ve gezegenler evrimi açısından bugün bile henüz tam manasıyla anlaşılmış değildir. Fakat bunlara dair basit gösterimler ve mevcut bilgiler, 1940'larda varlığına dair en ufak bir olgunun dahi olmadığı gezegenin bu gizemli bölgesine ait özellikleri anlayabilmek için halihazırda devam eden sayısız teorik ve deneysel çalışmalara ilham kaynağı olmuştur.

## Çekirdek

Çok uzun bir dönem boyunca çekirdeğin, Birch'un demir ağırlıklı olduğunu ileri sürdüğü bir şekilde, yapısal anlamda mantodan çok daha basit bir sistem olduğu düşüncesi hakimdi. Fakat bugün dış çekirdekte, ağırlığının yaklaşık %10'u oranında, daha hafif bileşen yada bileşenlerin demirle alaşımli bir şekilde bulunduğunu artık bilmekteyiz. Bunun da ötesinde, yüksek basınç deneylerine dayanarak dış çekirdeğin ısı, bugüne kadar yapılmış olan tespitlerden çok daha tutarlı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Örneğin dış çekirdeğin en üst kısmında sı-



Deney olanaklarının zaman içerisindeki gelişiminin grafikse gösterimi.

caklık 4000°K ya da olasılıkla daha fazla olacak şekilde saptanmıştır ki bu sonuç; Verhoogen'in 1953 yılında mantonun alt kısımları için öngördüğü 1500-6000°C ya da Gutenberg'in 1951 yılında "gezegenin merkezinin sıcaklığı 2000°C'a olasılıkla 5000°C'tan daha yakındır" görüşünden çok daha sağlam temeller üzerinde durmaktadır.

Çekirdeğin anizotropik olduğu yönündeki gözlemleri aydınlatılabilmek için yüksek basınç altındaki demirin elastik özelliklerinden faydalanılmıştır (sismik dalgalar, iç çekirdekte dönme eksenini boyunca, ekvatorunda sahip oldukları hız oranla daha yüksek bir hız sahiptirler). Buna göre, mantoyla birlikte gezegenin bu en alt bölümü de konveksiyon halinde olmalıdır. Bu ise, bundan son on yıl öncesine kadar hiç dikkate alınmamış bir olgu olan, kristallerin kesme yönelmeleri ile sonuçlanmaktadır.

Son olarak diyebiliriz ki, Dünyanın manyetik alanının anlaşılması, son 50 yıl içerisinde oldukça gelişme kaydetmiştir. Günümüzde artık, bünyesinde kendiliğinden meydana gelebilecek terslenmelerin olduğu iki kutuplu bir manyetik alan üretebileceğini gösteren çekirdek sisteminin, gerçek gözlemlerle birçok benzerlikler taşıyan, manyetohidrokinamik sayısal modelleri yapılmaktadır. Katı iç çekirdeğin dış çekirdekteki sıvı akışını, ve böylelikle manyetik alanın davranışını etkilemesi veya dış çekirdek sıvı akıntılarını büyük ölçekli karmaşık çalkantılar, bugün artık derin dünyanın alışılmış dinamikleri olarak bilinmektedir. Bu suretle manyetik alan, gelişimi ve değişimi hemen hiçi bilinmeyen bir düzeyden çekirdekteki sıvı akıntılarının model ve şekillerinin dahi bilinebildiği bir gelişim süreci içerisinde olmuştur. Ve açıkçası gelecek 50 yılın beraberinde getireceği gelişmeleri düşünmek bile oldukça eğlenceli, bir o kadar da baş döndürücü görünüyor.

### Kaynak

Lay, T. ve Williams, Q., 1998. Dynamics of Earth's Interior. Geofimes, 43, 124-131 s.