

MİNERALOJİ-PETROGRAFİ DERS NOTLARI 1

Elinizdeki ders notları, İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi dersi kapsamında hazırlanmıştır. Notlar, Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin ihtiyacı doğrultusunda ve ders kapsamında hazırlanan power point sunumlarındaki konu sırası gözetilerek hazırlanmıştır. Hiçbir tanımlama, açıklama, diyagram, şekil ve liste hazırlayan kişiye ait değildir. Farklı kitap ve ders notlarından ya olduğu gibi alıntılama yapılarak ya da harmanlanarak öğrencilere hizmet etmesi amacıyla hazırlanmıştır. Yararlanılan kaynaklar notların sonunda verilmiştir.

Derleyen: Yrd. Doç. Dr. Zeynep ÖZBEY

1. GİRİŞ

Mineraloji-Petrografi dersi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nde tek bir yarıyıl içinde verilmektedir. Oysa ki, ders kapsamında yer alan konu başlıkları Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde birden fazla yarıyıl süresi içine yayılarak anlatılmaktadır. Bu bağlamda, dersin süresi yetmeyeceği için ders kapsamında anlatılabilecek tüm konu başlıklarını sizlerle paylaşamıyoruz. En yüksek verimi elde etmek için siz Jeofizik Mühendisleri için bu dersin bitiminde elde etmiş olmanızı istedigim bilgiler belirledim. Bunları dersin öncelikli hedefleri olarak adlandırabiliriz. Nedir bu hedefler?

1. Yarıyıl sonunda elinize bir kayaç aldığınızda; magmatik, sedimenter ya da metamorfik bir kayaçtır, diyebilmelisiniz. Makro örnek üzerinde gözle görülebilecek mineralleri tanımla, dokusuna yönelik bilgiler verebilmelisiniz.
2. Kayacın yaşına, kökenine ilişkin bilgiler alabilmek için hangi yöntem ve analizleri, hangi diyagramlarda ve PC programlarında değerlendireceğinizi bilmelisiniz.

Seminer, bilgilerinizi, elde ettiğiniz verileri, yorumlarınızı karşı taraftaki kişi veya kişilere nasıl aktarabileceğinizi, sizlere doğrultulan sorulara nasıl yanıt vereceğinizi tecrübe etmenin en iyi yoludur. Ayrıca 3 ya da 5 kişiden oluşturulan gruplarla çalışmayı yaptığınızdan iş arkadaşınızı tanıma, görev paylaşımı yapma, sunum becerisi kazanma gibi yetileri de kavramak anlamında önemli bir çalışmaddir.

1.1. Tanımlar

Mineral: Doğal olarak oluşmuş, homojen, inorganik, düzenli bir iç yapısı ve belirli bir kimyasal bileşimi olan katı maddedir. 3500'den çok mineral belirlenip tanınmakla birlikte bunlardan yalnızca bir düzine kadarı Yerkabuğundaki kayaçları oluşturur. Maddeler halinde minerallerin özelliklerini sıralayacak olursak:

1. **Doğal olarak oluşur:** Laboratuvarlarda sentetik olarak elde edilen kimyasal bileşikler mineral sayılmasız. Bu yapay bileşikler halindeki katı maddelere doğada tabii halde rastlanmaz ve doğal şartlarda oluşturulamazlar. Bu tür katı maddelere “yapay mineraller” ya da “sentetik mineraller” adı verilir ve minerallerde olduğu gibi benzer kristal iç yapılarına sahiptir.
2. **Belirli bir kimyasal formülü vardır:** Mineraller belirli bir kimyasal bileşime sahiptirler. Her mineral bir kimyasal formül ile ifade edilir. Minerallerin kimyasal formülleri genellikle sabittir. Ancak belirli sınırlar içinde belirli kaidelerle değişebilir.

3. **Katı halde olup nadiren sıvıdır:** Minerallerin katı olmaları düzenli bir atomsal iç yapıya sahip olduklarını gösterir. Mineral kristallerinin dış yapıları incelendiğinde düzgün geometrik bir görünüme sahip oldukları görülür. Minerallerin "civa" gibi sıvı olan tipleri de vardır.
4. **İnorganiktir:** Minerallerin bir diğer özelliği de inorganik oluşudur. Yerkabuğunda bulunan petrol, kömür, fosil ve reçine gibi maddeler mineralojinin kapsamına girmez. Ancak nadir de olsa kehribar gibi organik mineraller de vardır.

Bu tanıma göre yapay olarak üretilen hiçbir madde mineral olarak adlandırılabilir. Elmas, yapay olarak üretilmiş ise mineral değil, doğal olarak oluşmuş ise mineraldir. Tanımdaki "inorganik" olma şartı, doğal olarak oluşmuş kömür ve petrolün mineral olarak sınıflanamayacağını gösterir. Çünkü fosil yakıtlar, **organik maddelerin** doğal yollarla işlenmesi suretiyle oluşurlar. Ayrıca petrol katı olma şartını da sağlamaz. Düzenli içyapı, kristalen maddelerin bir özelliğidir. O nedenle mineraller, düzenli atomik yapıları olan kristalen maddelerdir. Düzenli içyapı, atomların dizildiği eksenler arasındaki açı ve birim hücre boyutlarına göre yedi farklı kristal sistemi oluşturur. Kristalen yapısı olmayan, doğal olarak oluşmuş katı maddelere örnek olarak volkanik cam verilebilir. Böylece maddelere amorf madde adı verilir. Kristalen yapıyı oluşturan farklı element veya bileşik atom ve molekülleri o mineralin kimyasal bileşimini denetler. Sadece Si ve O atom ve moleküllerinden oluşan kuvars mineralinin kimyasal bileşimi, bir başka deyişle formülü, SiO_2 dir.

Mineraloji: doğal şekilde oluşan tüm mineralleri inceleyen bilim dalıdır. Mineraloji sözcüğü *mineralis* kelimesinden gelir. Latince, "yer kabuğundan çıkarılan cisim" anlamındadır. Mineralojinin iyice anlaşılabilmesi için Matematik, Fizik ve Kimya'nın yanı sıra Petrografi, Jeofizik ve Jeokimyanın da iyi bilinmesi gereklidir. Mineraloji başlıca: Kristallografi ve "Özel Mineraloji" olarak ikiye ayrılır.

- **Kristallografide;** minerallerin büyümeleri, dış şekilleri ve iç yapılarını oluşturan kurallar incelenir.
- **Özel mineralojide** ise; minerallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelenmektedir.

Amacı, minerallerin oluşturduğu yerkabuğunun kimyasal ve fiziksel yapısının öğrenilmesine, yerkabuğunun tarihinin bilinmesine ve yeraltı kaynaklarından yararlanmasına hizmet etmektir.

Kayaç: Bir veya daha fazla mineralin bir araya gelmesi sonucu oluşmuş doğal ve katı maddeye denir.

Bir veya daha fazla mineralin bir araya gelmesi sonucu oluşmuş doğal maddelere kayaç adı verilir. Kayaç içinde her bir mineral, kendi fiziksel ve kimyasal özelliğini korur.

Petrografi: Kayaçları mineralojik bileşimine, yapı ve dokusal özelliklerine ve doğada bulunuşlarına göre sınıflayan bilim dalıdır.

Petroloji: Kayaçların oluştuğu tektonik ortamları ve evrimlerini inceleyen bilim dalıdır.

1.2. KAYAÇ DÖNGÜSÜ

Kayaç, belli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip doğal olarak oluşan, inorganik, kristal katılar olan minerallerin bir yığışımıdır. Her biri kendi oluşum şekliyle bilinen başlıca üç kayaç grubu vardır: **magmatik**, **sedimanter (çökel)** ve **metamorfik** (Şek. 1). Her grupta biri diğerinden bileşim ya da doku (büyüklük, biçim ve mineral tanelerinin dizilimi) yönüyle farklı olan kayaç tipleri bulunur. Kayaç döngüsü, Yeryuvarı'nın iç ve dış süreçleri arasındaki ilişkileri inceleme yöntemidir ve üç kayaç grubunu birbiriyle ilişkilendirir (Şek. 2). Bu ilişkiler ayrışma, taşınma ve birikme (çökelme) gibi yeryüzü süreçleri ile magma oluşumu (ergime) ve metamorfizma gibi Yer içinde olan süreçlerdir. Levha hareketleri, kayaç malzemelerinin döngüsüne yol açıp kayaç döngüsünü harekete geçiren mekanizmadır.

Magmatik kayaçlar, magma kristalleşmesi ya da kül gibi volkanik malzemelerin birikip katılaşması ile oluşur. Magmanın soğuması ile mineraller kristalleşir ve sonuçta mineralleri birbirleriyle girdit Özelliğe bir kayaç oluşur. Magmanın, Yer yüzeyinin altında yavaş soğuması sonucu plütonik (intrüzif, sokulum) kayaçlar oluşur. Magmanın yüzeyde soğuması durumunda ise volkanik (ekstrüzif, püskürük) kayaçlar oluşur.

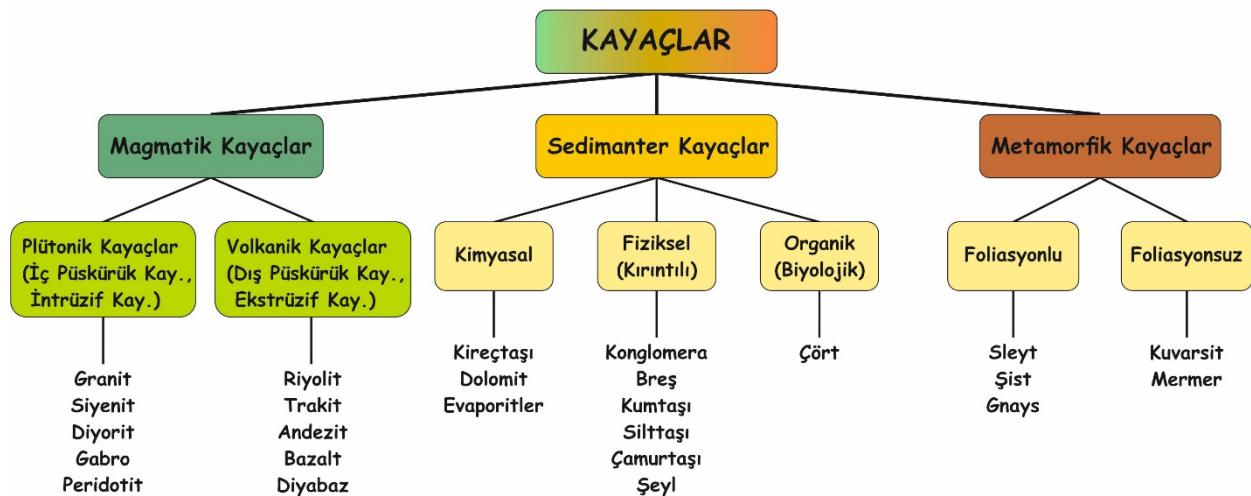
Yer yüzeyinde bulunan kayaçlar çeşitli ayrışma süreçleriyle ufalanır ve çözünürler. Ufalanan ve çözünen kayaç parçaları rüzgar, su ya da buzul gibi dış etmenlerle taşınarak sonunda çökel olarak biriktirilir. Bu çökelen malzemeler daha sonra sıkışıp çimentolanarak sedimanter (çökel) kayaçlar haline gelir. Çökel kayaçlar üç şekilde oluşur:

1. Ufalanmış kayaç parçacıklarının katılaşması,
2. Eriyikte çözünmüş halde bulunan mineral malzemelerinin çökelmesi,
3. Bitki ya da hayvan kalıntılarının çökelmesi.

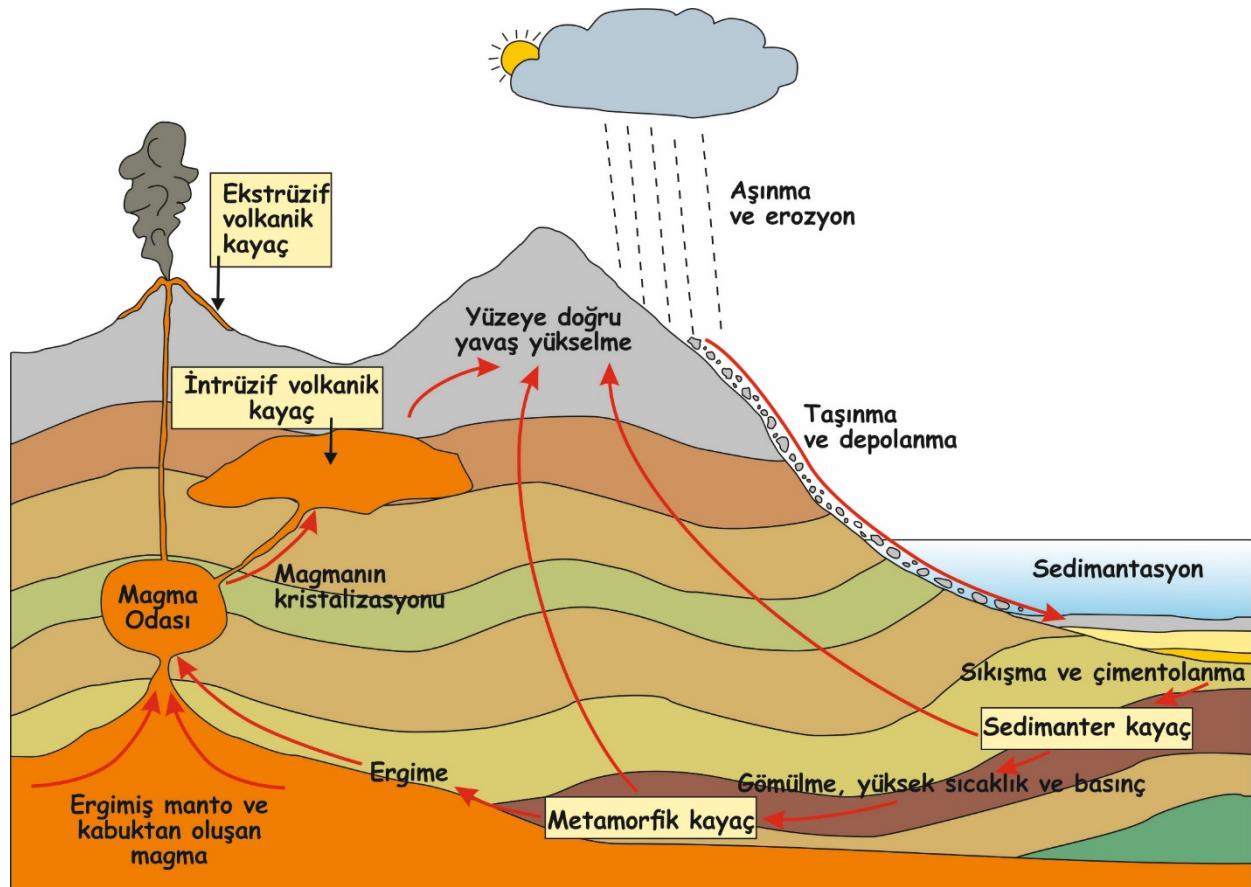
Sedimanter (çökel) kayaçlar Yeryuvarı'nın yüzeyinde ya da yüzeye çok yakın bir derinlikte oluştuğundan, bunların oluşum ortamları, bulundukları yere neyin taşıdığı ve hatta çökellerin geldiği kaynağın üzerine çıkarımlar yapılabilir. Bu nedenle çökel kayaçlar özellikle Yeryuvarı'nın geçmişinin açığa kavuşmasında oldukça yararlıdır.

Metamorfik Kayaçlar, çoğunlukla yeryüzeyinin altında ıslı, basınç ve akışkanların kimyasal etkinliği sonucu diğer kayaçların değişimi ile oluşur.

KAYAÇ SINIFLANDIRMASI



Şekil 1. Kayaç sınıflandırması diyagramı.



Şekil 2. Kayaç döngüsü diyagramı.

2. Levha Tektoniği

Tektonik bir bilim dalıdır. Levha Tektoniği ise bir teoridir. Tektonik, yeryüzündeki dağ kuşakları, deprem kuşakları ya da kıtalar gibi büyük doğal yapıları inceleyen bilim dalıdır. Levha Tektoniği ise bu büyük doğal yapıların nasıl oluştuğunu açıklayan teoridir.

Levha Tektoniği teorisinin ortaya konulması, teoriyi destekleyen kanıtların bulunması ve ileri sürülmesi, bu kanıtların kabul görmesi öyle bir defada gerçekleşmemiştir. Levha Tektonığının teoriye dönüşmesi pek çok bilimsel çalışmanın, ortaya sunulmuş bilimsel görüşlerin, hipotezlerin kabul edilmesini kapsayan yıllar içinde sürmüştür.

***Alfred Wegener, 1880-1930**

1880 yılında Berlin'de doğmuştur. Doktorasını astronomi dalında, 1905'te 24 yaşında iken tamamlıyor. Astronomide doktorasını yapmış olmasına rağmen, o yıllarda yeni bir bilim dalı olan meteorolojiye merak salıyor. 1905'te bir meteoroloji istasyonunda çalışmaya başlıyor. Uçurtma ve balonlarla deneyler yaparken, 1906'da erkek kardeşi ile uluslararası bir balon yarışmasına katılıyor. 52.5 saat havada kalma rekoru ile yarışmayı kazanıyor. Meteorolog olarak memur sıfatında iki yıl çalışıktan sonra Marburg Üniversitesi'nde meteoroloji dersleri vermek üzere öğretim üyesi olarak akademik hayatına başlıyor. Termodinamik gibi anlaşılması çok zor konuları, öğrencilerin anlayabileceği şekilde çok basite indirgeyerek anlattığı için çok popüler, öğrenciler arasında da çok sevilen bir hoca oluyor.

1910'da Wegener, önündeki dünya haritası üzerinde Atlantik Okyanusu'na kıyısı olan kıtaların kıyı şeritlerinin birbirine ne kadar uyduğunu fark ediyor. Bunu ilk farkeden Wegener olmamış o güne kadar. Ama Wgener'in farkı, bu konu üzerine kafa yormaya başlaması oluyor. Wegener arada Atlantik Okyanusu olmaksızın Güney Amerika ile Afrika kıtasının bir zamanlar bitişik olması gerektiğini düşünüyor.

1911'de atmosferin termodinamiği üzerine bir kitabını yaynlarken, aynı zamanda kıtalar üzerine olan fikirlerini destekleyecek kanıtlar üzerine de çalışmaya devam ediyor. 1912'de "continental displacement" yani kıtasal yer değiştirme üzerine çeşitli üniversitelerde konuşmalar yapmaya başlıyor. Daha sonraları continental displacement yerini "continental drift"e bırakır.

Dünya Savaşı'nda asker olarak hizmet veriyor, çalışmaları hız kesiyor. Ancak 1915'te ilk kez fikirlerini yayına dönüştürüyor: *The Origin of Continents and Oceans* adlı yayını ile kıtaların kayması ve levha tektoniği konusundaki ilk düşüncelerin ileri sürüyor. 1900'lü yılların başlarında yerbilimlerinde bilinen, genel kabul görmüş olan bilgilerin yanında, Wegener'in hipotezi çok

radikaldir. Çok az kişi destekliyor onun hipotezini. Bu hipotezi kabul edersek son 70 yıldır elde ettiğimiz bilgileri çöpe atmamız gereklidir, diyor karşı çıkan bilim insanları ve beraberinde çok ağır eleştiriler yapıyorlar. Üstelik de farklı bir disiplinden olan, jeoloji geçmişi olmayan birinin yerbilimi ile ilişkili bir hipotez ileri süremeyeceğini bile söylüyorlar.

Wegener'in hipotezi kabul görmüyor. 1919'da Arthur Holmes manto konveksiyonu hipotezini ileri sürüyor. Bu hipotez Wegener'in kıtaların kayması hipotezini destekler niteliktedir.

1920'de, 1922'de ve 1929'da Wegener teorisi için her defasında yeni bir kanıt ekleyerek *The Origin of Continents and Oceans* adlı yayını tekrar gözden geçirilmiş haliyle tekrar ve tekrar yayınlar.

Bu arada Wegener 1926'da meteoroloji dalında profesör olur. 1930'da hipotezinin doğrulandığını göremeden hayatı gözlerini yumar.

Güney Amerika, Afrika, Hindistan, Antartika ve Avustralya kıtalarını, Güney Kutbunda yer alacak şekilde bir araya getirince çiziklerin (kırmızı oklar) gösterdiği buzul hareketleri anlamlı hale gelir. Bu durumda, kutup ikliminde yer alan buzul (beyaz alan), kalın bir merkez alandan etrafına doğru işinsal olarak hareket etmiştir.

Tüm kıtaların 200-250 my önce birbirine bitişik olduğunu varsayıarak kıtaların hepsini birlikte bir süper kıta olarak tanımlamış ve Pangea adını vermiştir. **Pangea**, Yunan dilinde tüm anlamına gelen **Pan** ve dünya anlamına gelen **Gaia** kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur.

- Wegener, kıtaların hareketinin, dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi nedeniyle oluşan santrifüj kuvveti ve gel-git akıntılarına neden olan gravite kuvvetinin bileşkesi olduğunu ileri sürdürdü.
- Yapılan hassas hesaplamalar bu kuvvetlerin çok çok küçük olduğunu ve kıtaları sürükleyemeceğini gösterdi
- Bir diğer sorun, kıta kabuğunun okyanus kabuğunu yararak ilerlediği düşüncesi idi. Oysa okyanusal kabuk kıtasal kabuktan çok daha dirençliydi
- Tüm jeolojik veriler kıtaların yer değiştirdiğini gösteriyordu
- O halde kıtaları sürükleyen başka bir kuvvet olmalıydı

Bu arada 1919'da, başka bir deha bilim insanı İngiliz jeolog Arthur Holmes, Wegener'in "continental drift" yani "kıtaların kayması" teorisini destekleyecek çok önemli bir mekanizmayı ileri sürer: Manto konveksiyon akımları. Holmes'a göre, kıtalar alttaki mantonun içindeki konveksiyon akımları ile hareket ediyordu.

***Arthur Holmes, 1890-1965**

1890'da İngiltere'de doğmuştur. Olağanüstü bir bilim insanı. Fizik okumaya başlar. Ancak jeolojiye ilgi duyar ve jeolojiye geçiş yapar. Üniversitedeyken radyoaktif yaş tayini ile ilgili çalışmalar yapar. Mezun olduğunun ertesi yılı da ilk yayını, U-Pb yaş tayini tekniği üzerine yapar ve U-Pb izotoplari içeren minerallerin yaşını tayin ederek kayaçların yaşıının bulunabileceğini ortaya koyar. Bu müthiş analiz yöntemini kendisinden sonraki yüzlerce bilim insanının kullanımına, binlerce makalenin yazılmasına, fosil ihtiiva etmeyen kayaçların yaş tayinine dolayısıyla da çok önemli jeolojik problemlerin çözümüne hizmet eder. İlk kantitatif (nicel) jeolojik zaman tablosunu yapar. Jeokronolojinin babası olarak ün yapar. Yerbilimlerinin en temel kitaplarından birisini "*Principles of Physical Geology*" adlı eseri yayınlar. Edinburgh ve Durham Üniversiteleri'nde profesör olarak akademik hayatını sürdürür.

Üniversite yıllarda minerallerin radyoaktif özellikleri ile ilgili yaptığı çalışmalar onu manto konveksiyonu hipotezini kafasında oluşturmasına neden olur. Ona göre yer mantosundaki radyoaktif bozunma ile oluşan ısı manto içinde dairesel hareketler yaparak konveksiyon hücrelerini oluşturur ve yüzeye kabuğun hareketini sağlar.

***Harry Hess**

1906-1969, Amerikan jeolog. 1923'te Yale Üniversitesi'ne elektrik mühendisliği okumak niyetiyle giriyor. Ancak sonradan fikrini değiştirip jeoloji okumaya karar veriyor. İlk senesinde mineraloji dersinden kaldığında kendisine, jeoloji alanında bir geleceğinin olmadığı söylenir. Yine de 1927 de bu bölümde mezun olur. İki yıl kadar maden mühendisi olarak çalışıyor. 1932'de Princeton Üniversitesi'nde doktorasını tamamlar. Ama yıllar sonra, II. Dünya Savaşı'nın başladığı sıralarda Princeton Üniversitesi'nde jeoloji dersi vermeye başlar. Çok geçmeden savaşa asker olarak çağrılır ve donanmada yedek subay olarak görevye başlar. Görevi Kuzey Atlantik'teki düşman denizaltıların yerini tahmin etmek olur. Tahminlerini deniz radarı vasıtasyyla yapar. Hess bu deniz radarından okyanus tabanının morfolojisini incelemekte kullanmayı akıl eder ve Pasifik Okyanusu'nun büyük bir kısmının haritalamasını yapar. Haritalamayı yaparken okyanus suları altında tepe kısımları düzleştirmiş deniz adalarının varlığını keşfeder ve bu adalara Princeton Üniversitesi'nin ilk jeoloji profesörü olan Arnold Henry Guyot'un anısına Guyot ismini verir. Guyotlarla ilgili kafa karıştırıcı bir şey vardı. Eğer bu guyotların tepeleri bir zamanlar deniz seviyesinin üstündeydi ve aşınmaya uğradıysa. Nasıl oldu da şimdi okyanus suları seviyesinin 2 km altına kadar gömülmüşlerdi. Savaş sona erer ve Hess bu guyotlarla ilgili çalışmalarına devam eder. Hem guyotları hem de Pasifik ve Atlantik Okyanusları'nın ortalarında yer alan ve okyanusları boydan boyan kateden okyanus ortası sırtlarını çalışır. Böylelikle okyanus ortası sırtlarının

- Arthur Holmes, 1944 yılında mantodaki konveksiyon akımlarının kıtaları sürüklendiğini ileri sürdü.
- 1950'li yıllarda deniz ve okyanus tabanlarından jeofizik veriler toplanmaya başlandı
- Batimetri verileri, dünya üzerindeki en uzun dağ kuşaklarının okyanus tabanlarında olduğunu gösterdi
- Bu dağ kuşaklarının zirve kesiminde dar ve derin çukurların bulunduğu anlaşıldı ve bu çukurlara rift adı verildi

Marie Tharp

İlk dünya okyanus tabanlarının haritasını hazırlayan ve Atlas Okyanus ortası sırtı boyunca uzanan rift vadilerini keşfedenlerden öncü kadın deniz jeofizikçi. Yaptıkları hayatının son yıllarda anlaşıldı. Amerikan Kongre Kütüphanesi, Woodshole Oşinografi Enstitüsü'nün Mary Sears Öncü Kadınlar ödülü, Columbia Üniversitesi'nin modern oşinografi öncülerinden ve erkeklerin hakim olduğu bir alanda öncü kadın olarak Lamont-Doherty Hizmet Ödülüne layık görüldü. Bu yıl ölümünden sonra kendi adını taşıyan burs gelecek 2007-2008 döneminde verilmeye başlanacak.

Michigan'da doğan Marie Tharp'in babası tarım bakanlığında çalışan haritacı, annesi de yabancı dil dersleri veren öğretmendi. Üniversitede okurken seveceği konuyu bulmakta zorlanıyordu. Kadınlar için seçenekler kısıtlıydı, ya öğretmen, sekreter ya da hemşire olabilirdi. Marie daktilo yazamıyor, kan görmeye de dayanamıyordu; öğretmenlik de ona göre değildi. Bu sırada başlayan II. Dünya savaşı için cepheye giden erkeklerin yerini kızların doldurması kaçınılmaz olmuştu. Michigan Üniversitesi jeoloji bölümü ilk defa kapılarını kız öğrencilere de açtı. Eğer Pearl Harbor olmasaydı hiçbir zaman jeoloji okuma fırsatının olmayacağıydı. Petrol şirketlerinin jeoloji mezunu kızlara cazip iş teklifleri yapması ise inanılmazdı. Marie'nin aradığı böyle bir şeydi, jeolojide yüksek lisans derecesini aldıktan sonra bir petrol şirketinde çalışmaya başladı. Bir yandan çalışırken bir yandan da Tulsa Üniversitesi'nde matematik okudu. Bilimsel araştırmalarla ilgilenmeye başlamıştı. İş aramak için gittiği New York'ta Columbia Üniversitesi'nde efsanevi deniz jeofizikçisi Maurice Ewing tarafından yapılan mülakatta sadece "çizim yapabilir misin" sorusuyla jeoloji bölümüne kabul edildi. Ama onun ne matematik derecesi ile ne de jeoloji bilgisi ile hiç ilgilenmemişlerdi. Marie arazide çalışan jeologların haritalarını çizmekle işe başladı. II. Dünya savaşı sırasında, Ewing ve arkadaşları Amerikan donanması için su derinliğini sürekli ölçen bir alet geliştirmişlerdi. Bu teknolojik gelişmeye gemilerde alınan sonar kayıtları daha sonra doktora öğrencisi Bruce Heezen'le çalışmaya başlayan Marie detaylı, anlaşılır deniz tabanı morfolojisini tanımlayan profillere dönüştürmeye başladı. Çizdiği okyanus tabanı profillerini haritada yerleştiren Marie'nin dikkatini profillerde ortaya çıkan V-şeklinde derin vadiler çekmeye başlamıştı. Profilleri yanyana yerleştirdiğinde bu vadiler Atlas Okyanusu'nun ortasını takip

ediyordu. Marie bunların Yer'i oluşturan tektonik levhaların birbirinden uzaklaştığı rift vadisi olabileceğini söylediğinde Bruce inanmadı; Marie'nin yorumunu hatta "kadınsı" buldu. O sıralarda kıtaların uzaklaşmasına inanmak imkansızdı. Ama Marie için rift vadisi gerçekti; her yeni profilde bu daha da belirginleşiyordu. Heezen and Tharp yaklaşık 18 yıl birlikte çalışılar. Heezen Lamont'un araştırma gemisi Vema'da veri topluyor; Tharp'ta Lamond'ta bu kayıtlardan haritaları oluşturuyordu. Henüz kadınların gemilerde çalışmaları uygun değildi. Tharp 1965 yılından sonra MIT'nin Wooshoole Oşinografik Enstitüsü'ne ait Atlantis araştırma gemisinde veri toplamaya başlayabildi. Denizaltı depremlerinin de kaydedildiği ilk sistematik detaylı okyanus haritalama çalışmasında toplanan bu veriler Tharp'in yorumunu doğruladı. O sıralarda Yer'in kabuğunun levhalarдан olduğu ve levha tektoniği teorisi kıtaların uzaklaşması görüşleri yeni ortaya atılmıştı. Okyanus-ortası sırtları sistemi bir devrimdi ama daha önce kimse nasıl açıklayacağını bilemiyordu. Bruce Heezen 1957'de Princeton Üniversitesi'nde tek başına jeolojide devrim yaratacak konuşmasını verdi. Heezen ve Tharp'ın hazırladığı Kuzey Atlas Okyanusu'nun ilk fiziksel haritası 1957'de, ilk fiziksel okyanus haritası 1977'de basıldı. Heezen ve Tharp'ın levha tektoniği ve kıtaların uzaklaşması teorilerinin yaygınlaşmasına önemli katkıları olan Marie Tharp kariyeri boyunca arka planda kaldı; Ewing ve Heezen'in devrim yaratan meşhur makalesinde bile Tharp'ın ismi yoktu. O her zaman okyanuslar altında kilometrelere uzayan rift vadilerini ve okyanus ortası sırtlarının ortaya çıkarılmasında katkıda bulunan bu yetenekli bilim adamları ile aynı grupta bulunduğu için şanslı olduğunu düşünürdü: "O günler oldukça heyecanlı günlerdi, bizler de kaşıftik" demekle yetindi.

Jeofizik veriler

Bu faaliyet okyanuslarda devam ederken, ABD, soğuk savaşın bir sonucu olarak Sovyetler Birliğinin yaptığı zannedilen nükleer silah deneylerini izleyebilmek amacıyla dünyanın dört bir yanına uzanan sağlıklı bir sismograf ağı oluşturdu. WWSSN olarak bilinen bu ağ sayesinde magnitüdü 4 ve yukarıındaki depremler büyük bir hassasiyetle kaydedilmeye başlandı. Episandr tayinindeki hataların genellikle bir km nin içine alınması özellikle okyanusal alanlarda depremlerin son derece dar 15 kuşaklarda olması ve bu kuşakların çevrelediği devasa alanların hemen hemen asismik kuşaklar olduğunu gösterdi.

2.1. LEVHA TEKTONİĞİ KURAMINA GÖRE MAGMATİK KAYAÇLARIN YERLEŞİMLERİ

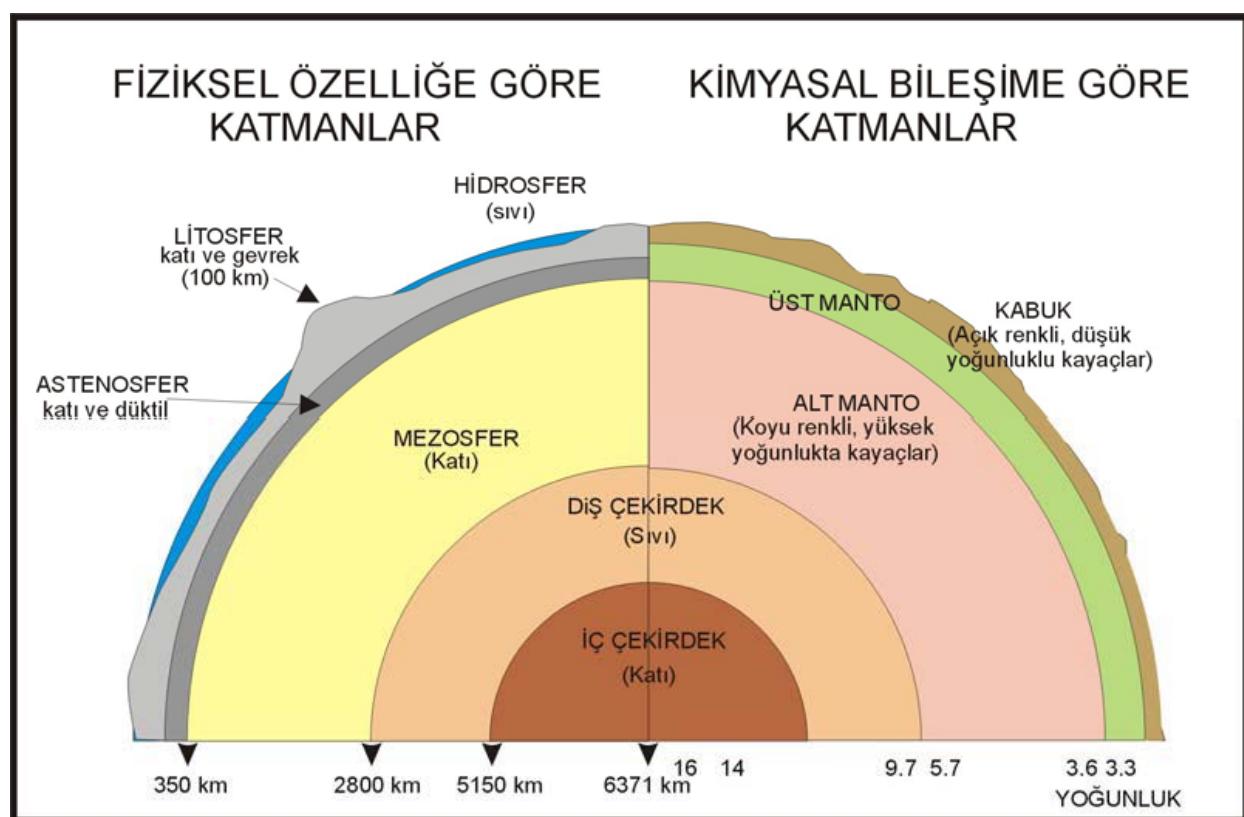
2.1.1. Levha Tektoniğinin Ana Hatları

Özellikle 1915'te Alfred Wegener tarafından geliştirilen, ancak o dönemde kabul görmeyen levha tektoniği kuramına göre kıtalar yerküre üzerinde birbirlerine göre hareket etmekte; uzaklaşmakta ya da yakınlaşmaktadır. Son yüzyılda, gelişen teknoloji yardımı ile (GPS

yöntemleri, Sismik tomografi çalışmaları ve okyanuslar altında gerçekleştirilen derin sondajlar sayesinde) katı ve gevrek (brittle) bir davranış sunan “litosferin” (ortalama 100 km kalınlığında) yine katı ancak sünek (ductile) bir davranış sunan “astenosfer” üzerinde sürüklendiği bilinmektedir. Ancak yeryüzü alanının sabit kalması gerektiği düşünüldüğünde levha sınırlarında farklı türde olayların geliştiği akla gelmektedir.

2.1.2. Yerkürenin İç Yapısı

Jeofizik ve jeolojinin çeşitli dallarının yaptığı çalışmalar, yeryuvarının tekdüze (homojen) bir iç yapı sunmadığı, aksine çeşitli bileşim ve kalınlıklarda farklı katmanlardan oluştuğunu göstermiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Dünyanın fiziksel ve kimyasal bileşimine göre katmanlı iç yapısı.

Yerküresini oluşturan katmanlar fiziksel ve kimyasal bileşimlerine göre farklı şekillerde incelenebilir. Fiziksel özelliklerine göre saptanabilen katmanlar:

1. Litosfer
2. Astenosfer
3. Mezosfer
4. Çekirdek

Kimyasal bileşimlerine göre ise:

1. Kabuk
2. Manto
3. Çekirdek'tir.

Buna göre üst manto litosferin bir kısmı, astenosfer ve mezosferin bir kısmını içerir (Şek. 3).

2

2.1.2.1. Kabuk

Kitasal Kabuk:

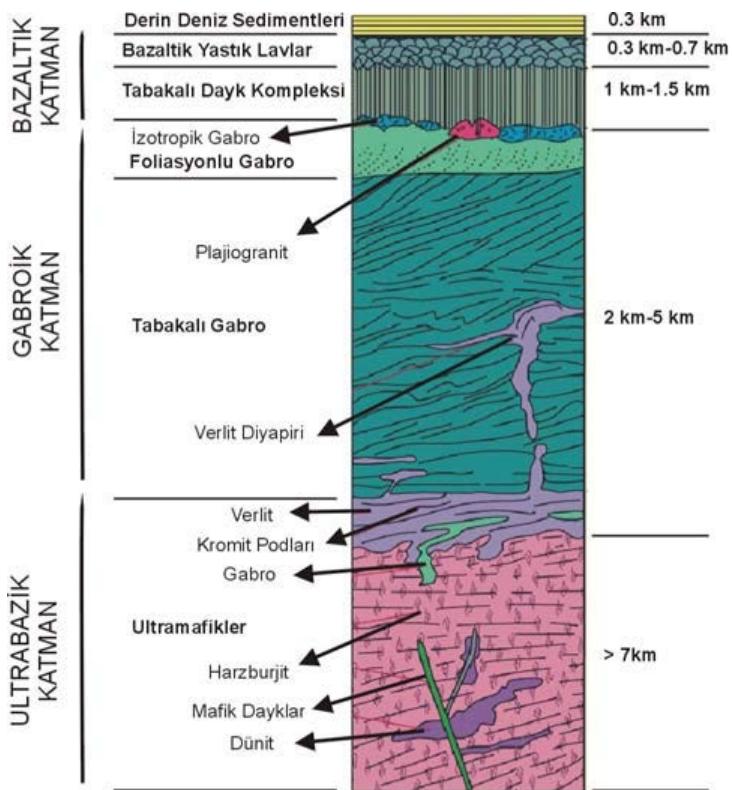
Tüm kıtaları altlayan kıtasal kabuk değişik kalınlıklardadır (10-70 km). Kendi içinde homojen olmayıp üst kesimlerinde (*üst kıtasal kabuk*) asidik (granodiyoritik-tonalitik) bileşimlere sahip iken alt kesimleinde (*alt kıtasal kabuk*) daha bazik bileşimlerdedir.

Kimyasal açıdan başlıca SiO_2 ve Al_2O_3 den oluşur. Mineralojik açıdan ise en çok feldispatlar yaygındır. Bolluk derecelerine göre % 12 kuvars, % 39 plajiolaslar, % 12 alkali feldispatlar, % 5 mikalar, % 5 amfiboller, % 11 piroksenler ve % 3 olivinden oluşur.

Alt kabuğun bileşimi için başlıca üç farklı görüş bulunmaktadır: bazaltik (gabroik bileşim); eklojistik bileşim ve granülitik bileşim. Petrografik, petrolojik ve jeokimyasal çalışmalar alt kabuğun granülitik bileşime daha uygun olduğunu göstermektedir.

Okyanusal Kabuk:

Yaklaşık 6-7 km kalınlıktaki okyanusal kabuk başlıca bazaltik bileşimlidir. Gerek bileşim gerek kalınlık bakımından kıtasal kabuğa göre çok daha homojen bir iç yapıya sahiptir. Okyanusal kabuğun genelleştirilmiş kolon kesiti şekil 1.2'de verilmektedir. Kesitten de görüleceği gibi yapısında bazaltik-gabroik bileşimler ağırlıkta olsa da yer yer granitik kayaçlarda bulunmaktadır. Okyanusal kabuk 6 ayrı katmandan oluşur ve bu istife ofiyolit serisi adı verilir (Şekil 4).



Şekil 4. Okyanusal kabuğun ayrıntılı kesiti (eksiksiz ofiyolit serisi).

Okyanusal kabukta su kütlesinin hemen altında yeralan ilk katman çört, kil gibi derin deniz sedimentlerinden oluşur ve ince bir örtü şeklinde okyanusal kabuğu örter. Daha altta bazaltik yastık lavlar (*pillow lavas*) bulunur. Yastık lav katmanları okyanus ortası sırttan uzaklaşıkça incelir. Yastık lavların hemen altında tabakalı dayk kümesi (*sheeted dykes*) bulunur ve yine bazaltik bileşimlidir. Daha alt kesimde izotrop yapıdaki gabrolara ve daha sonra mafik bileşimli kümülatatlara geçilir. Ancak okyanusal kabuğun izotropik gabrolardan daha derin kesimleri sismik verilerle anlaşılması zor. Okyanusal kabuğun bu derin kesimleri ancak orogenik hareketlerle kıtalar üzerine ilerlemiş olan ofiyolit serileri üzerinde yapılan çalışmalarla belirlenebilmektedir. Yaklaşık 6 km derinlikte katmanlı yapıdaki mafik kümülatların hemen altında sismik süreksızlık zonu (*sismik moho*) bulunur ve ultramafik bileşimdeki kümülatlar ile mafik bileşimli kümülatları birbirinden ayırrı. Yaklaşık 8 km derinlikten sonra petrolojik bir fark belirir (*petrolojik moho sınırı*) ve peridotit türü ultramafik kayaçlara geçilir.

2.1.2.2. Manto

Yerkabuğunun kabuktan itibaren çekirdeğe kadar devam eden bölümündür. Üst ve alt manto olarak iki kısma ayrılır. Üst manto, Moho süreksızlığından başlayarak 670 km derine kadar devam eder (Şekil 1.1). Mantonun bu kısmı, litosferin alt kısmını (litosferik manto) ve astenosferi kapsar.

Mantonun mineralojik ve kimyasal bileşimi, henüz örnek alınmanın mümkün olmaması nedeniyle dolaylı verilerle spatanmaya çalışılmaktadır. Bu veriler:

- jeofiziksel veriler;
- üst mantonun kısmi ergimesi sonucu olduğu düşünülen bazaltik magmanın incelenmesi;
- meteoritlerin incelenmesi;
- yüksek basınç deneyleri;
- şok-dalga deneyleri;
- yapay pirolit modeldir.

Üst mantonun büyük bir kısmını oluşturan ultramafik kayaçlar piroksen, olivin ve granat gibi %70' den daha fazla Fe- ve Mg- zengin minerallerden yapılidir. Mafik kayaçlar bazaltik bileşimdedir ve plajiolas, piroksen, olivin, amfibol ve granat gibi minerallerden yapılidir.

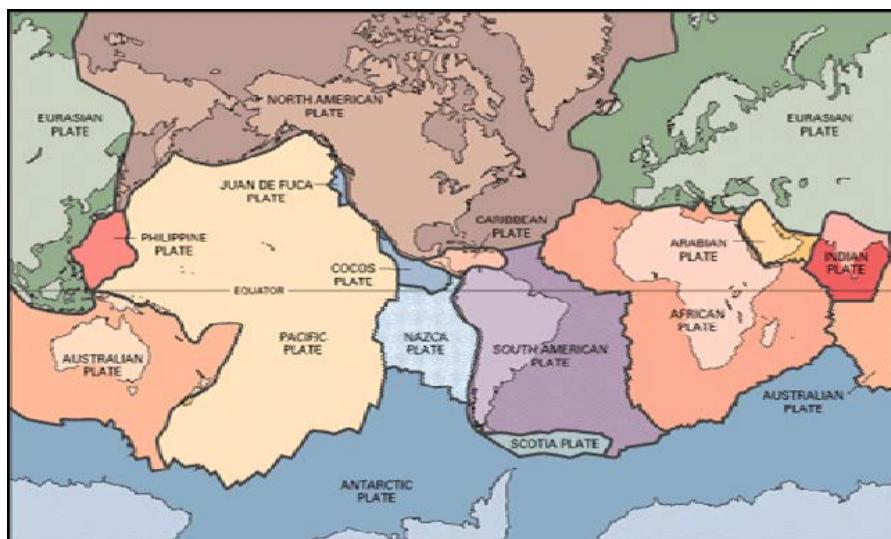
Manto kökenli ultramafik kayaçlar, ya ofiyolitik kompekslerde olduğu gibi, bulundukları yere tektonik olarak itilmişlerdir, ya da hem kıta içi hem de okyanus içi ortamlarda gelişen silise doygun olmayan (aşırı fakir) derin manto kökenli alkalin bazaltlar veya kimberlitler içinde ksenolitler halinde yeryüzüne ulaşmışlardır. Kimyasal ve yapısal olarak en az değişikliğe uğramış olan en az altere ultramafik kayaç örnekleri ksenolitlerden elde edilmiştir. İki tür ultramafik kayaç örneği (manto parçası) bilinmektedir: (1) kimberlitler içinde yüzeye ulaşan granatlı lerzolit ksenolitleri; ve (2) alkalin bazalt veya nefelinitler içinde yüzeye ulaşan spinel-lerzolit ksenolitleri.

2.1.2.3. Çekirdek:

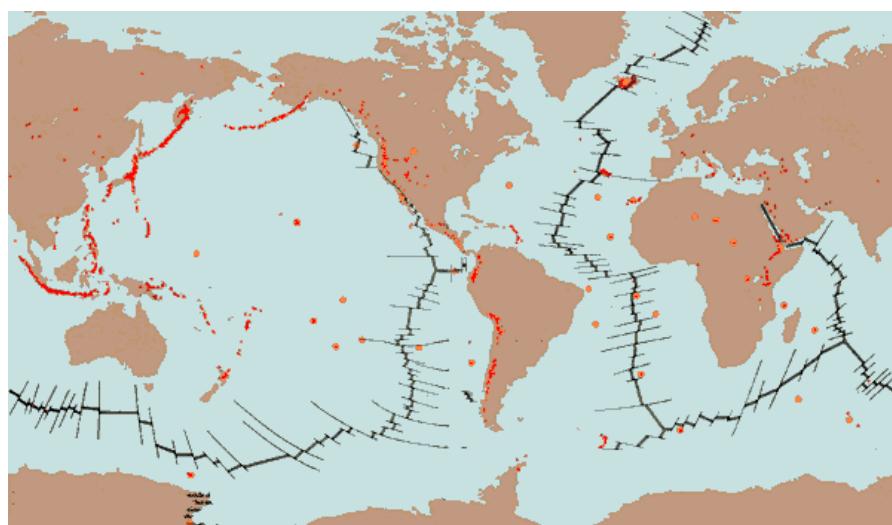
Çekirdeğin iç yapısının belirlenmesinde yine dolaylı kayanaklar ve meteoritler kullanılmaktadır. Demirli ve nikelli meteoritlerin varlığından yola çıkılarak yapılan bütün çalışmaların ortak görüşü, çekirdeğin genel olarak bir demir ve nikel karışımından oluştuğudur. Zira silikatlar ve daha değişik bileşikler üzerinde laboratuarda deneysel olarak oluşturulan manto koşullarında (1000 km derinlige denk 2100 kb basınç altında) yapılan deneyler sonucunda silikatlar da dahil bütün bileşiklerin kimyasal yapılarının bozularak yoğun metallere ayrıldıkları belirlenmiştir.

2.1.3. Levha Hareketleri ve Magmatik Aktivite

Yerkabığında, aynı zamanda litosferin sınırlarına karşılık gelen (Şek.5.a) levhaların birbirlerine göre hareketleri sonucunda üç tipte *levha hareketi* gelişir. Levhalar birbirlerine göre (a) uzaklaşırlar, (b) yaklaşırlar veya (c) sınırları boyunca hareket ederler.



(a)



(b)

Şekil 5. (a) Yeryüzündeki başlıca levhaların sınırları ve (b) okyanus ortası yayılma merkezleri.

Daha önce de dephinildiği gibi yeryuvarında litosfer, manto ve iç çekirdek katı; yalnızca dış çekirdek sıvı fazdadır. Peki, yeryüzünde meydana gelen volkanik aktivitenin kaynağı dış çekirdeğe kadar inebilir mi?

Dış çekirdeğin yeryüzüne olan mesafesi göz önünde tutulduğunda bu yorum anlamını yitirmektedir. Ayrıca, dış çekirdeğin kimyasal bileşimi ile yeryüzünde görülen lavların bileşimi arasında hiçbir benzerlik yoktur. Bir başka değişle, lavların kimyaları laboratuvar deneylerine göre, dış çekirdek koşullarında (P, T) duraklı kalamamaktadır. Yapılan çalışmalar magmatik

aktivitelerin kaynağının en fazla üst mantoya kadar indiğini göstermektedir. Öyleyse magmatik aktiviteyi başlatacak (başka bir deyişle katı olan kabuk veya üst mantonun ergimesine neden olacak) bazı işlevlere gereksinim vardır. Bu işlemler doğrudan tektonizma ile yani levhaların hareketleri ile ilişkilidir.

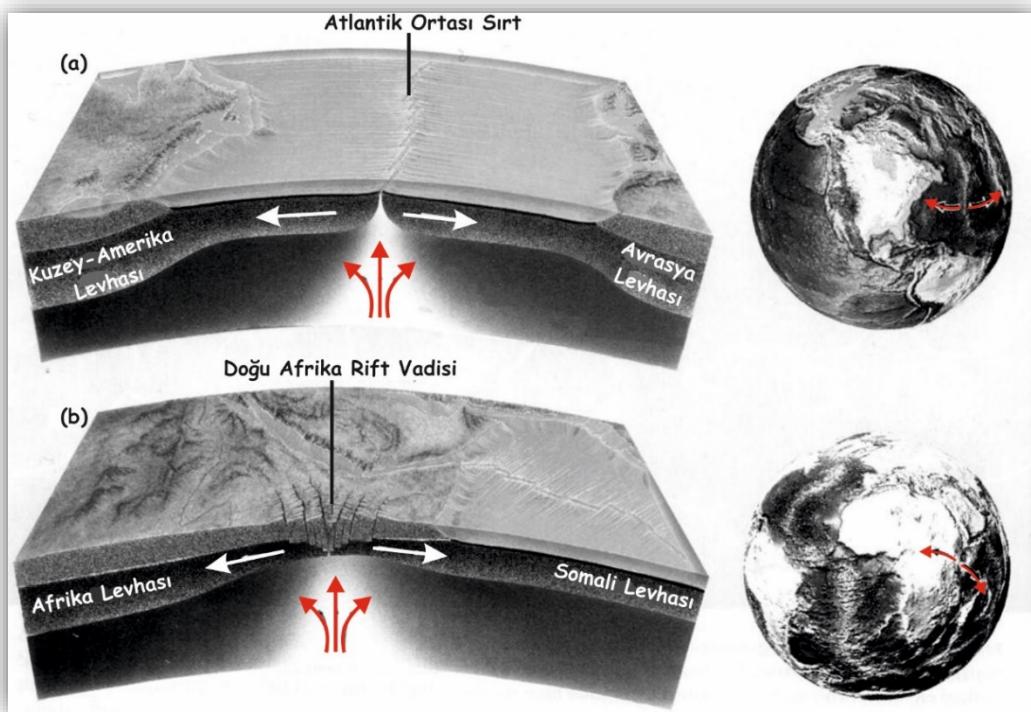
2.1.3.1. Uzaklaşan Levha Sınırları ve Magmatik Aktivite

Uzaklaşan levha sınırları levhaların birbirlerinden ters yönde ayrılarak hareket ettikleri sınırlardır. Bu tür sınırlar okyanus ortası sırtları (okyanusal yayılma merkezleri) ve kıtasal riftleri içerir. Okyanus ortası sırtlar mantonun konveksiyon akımlarına bağlı olarak yükseldiği alanlardır. Basınç azalmasına bağlı olarak gelişen ergime (decompression melting) magma meydana getirmekte ve oluşan magma okyanus sırtlarda yeni okyanusal kabuğu meydana getirecek şekilde püskürmekte ve sırtın her iki yanına simetrik olarak eklenmektedir.

Okyanus ortası sırtlar okyanus tabanından yaklaşık 3000 m kadar yükseklikte olabilmektedir. Okyanus tabanlarının haritalanması, bu çok büyük deniz altı dağlarının, 2000 m den daha derin alanları sınırlayan sırtlara sahip olduğunu göstermiştir. 1960'lı yılların başlarında okyanus tabanındaki sıcak akıntıların araştırılması bu akıntıların sırtın doruğunda merkezlendiğini ortaya koymuştur. Sismik çalışmalar okyanus ortası sırtların çok sayıda depreme maruz kaldığını göstermektedir. Tüm bu saptamalar okyanus ortası sırtlarda şiddetli bir jeolojik aktivitenin hâkim olduğunu göstermektedir.

Okyanus ortası sırtlarda (yayılma merkezleri) gelişen magmatik aktivite sonucu büyük oranda bazaltik magma üretilir. Bunun nedeni direkt üst mantonun yükselerek ergimesi ve sonuçta başka bir malzeme ile karışmamasıdır. Ayrıca magmatik evrim açısından ileri derecede değişime uğramazlar. Bu nedenle bileşimleri üst mantoya yakınlık sunar. Aynı magmatik işlevler sonucunda oluşturulan okyanusal kabuk kesiti (ofyolit serisi) daha önce gösterilmiştir.

Kıtasal Rift Vadileri yada Açılmış zonları (Extensional Zones), kıtasal kabukta açılma deformasyonunun geliştiği alanlardır. Bu bölgeler yeni bir yayılma merkezi olabilir ve daha sonra Kızıl Deniz örneğinde olduğu gibi okyanus ortası sırtlara dönüşebilir. Genellikle mantonun, açılma zonu altından yükselmesi ile oluşmaktadır. Mantonun yükselmesi basınç azalması ile ergimeye ve kabuksal anateksiye neden olabilir. Kıtasal riftlere en iyi örnek Doğu Afrika Rift Kuşağıdır.



Şekil 6. (a) Okyanus ortası sırtlarda magma oluşumuna ile okyanusal kabuk üretimini gösteren blok diyagram, Atlantik Ortası Sırt örneği. (b) Kıtaların içi riftlerde magma oluşumu, Doğu Afrika Rift Vadisi örneği.

Kıtaların içi riftlerde gelişen magmatik aktivite sonucunda kimberlit, komatit gibi ultrabazik lavlar, bunun yanında olivin-bazalt, trakit gibi potasik (K içeriği yüksek) lavlar ortaya çıkar. Ayrıca nadir olarak karbonatitler de gözlenebilir.

Görüldüğü bazalt türü kayaçlar hem okyanusal ortamlarda hem de kıtalarda direkt olarak açılma tektoniğine bağlı olarak gelişmektedir. Ancak bazalt türü kayaçların diğer tektonik ortamlarda da meydana geldiği ve yeryüzündeki volkanik kayaçların çok büyük bir kısmını oluşturduğu unutulmamalıdır.

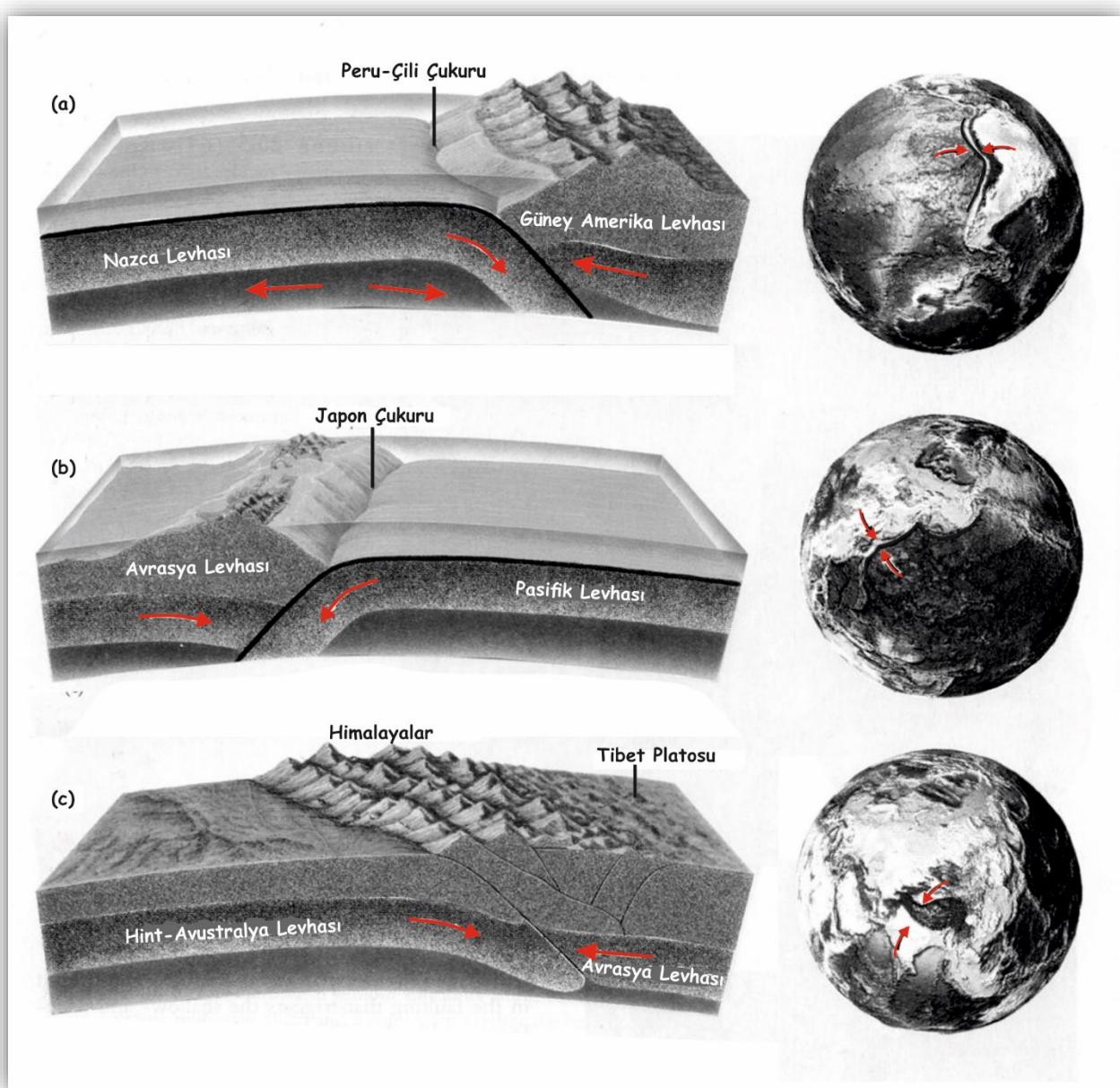
1.3.2. Yaklaşan Levha Sınırları ve Magmatik Aktivite

Yaklaşan levha sınırlarında yaklaşan levhaların tiplerine göre çeşitli mekanizmalar meydana gelebilmektedir.

İki okyanusal litosferin birbirine yaklaşığı tektonik ortamlarda bir levha diğerinin altına dalar ve ergimeye uğrar. Ergimeye uğrayan malzemenin yükselmesi sonucunda diğer levha kenarında “ada-yayı” olarak isimlendirilen magmatik bir yay gelişir (Şekil 1.5 a). Bu tür ortamlara Japon adaları örnek verilebilir. Tektonik açıdan oldukça aktif olan bu ortamlarda

çok yaygın bir volkanik aktivite gelişir. Ada-yaylarında ilk volkanik aktiviteler sırasında (ada-yayı henüz genç iken) bazaltik andezit olarak isimlendirilen volkanik kayaçlar baskındır. Andezitler ikincil miktarlardadır ve daha ileri evrelerde baskın hale gelir.

Okyanusal levha ile kıtasal levanın yaklaştığı sistemlerde ise “kıtasal yay” olarak isimlendirilen volvank yayları gelişir (Şekil 1.5 b). Bunlara örnek olarak And Dağ’ları verilebilir. Volkanizma ve magmatizma yine kıtasal levha altına dalan okyanusal levhanın



Şekil 7. (a) Kıt kabuğu altına yiten okyanus kabuğu yitim hattı boyunca derin bir çukur, kıt kabuğu üzerinde volkanik bir kuşak sığ ve derin odaklı depremlerin meydana gelmesine neden olur. (b) Okyanus kabuğu altına diğer bir okyanus kabuğunun yitimi ile yitim zonunun üzerindeki okyanus kabuğunda volkanik ada yayının gelişimine neden olur. (c) Kıt-kıt çarpışma zonlarında bindirmeler ve kıvrımlar etkisinde kıtasal kabuk kalınlığı iki katına çıkar ve yüksek dağlar meydana gelir.

(çünkü daha yüksek yoğunluğa sahiptir) ergimesi ve ergiyen malzemenin yükselmesi sonucu gelişir. Bileşim bakımından daha çok andezitler hakimdir. Bazaltlar ise ikinci plandadır.

Volkanik yayların her iki türünde de volkanizmanın ileri evrelerinde dasit ve riyolit gibi asidik volkanik kayaçlar meydana gelebilmektedir. Ancak bu kayaçların magmatik evrimin işlevlerinden (örneğin magmatik ayrılmaşma) oldukça etkilenmiş oldukları unutulmamalıdır.

Andezitik ve bazaltik ürünler genellikle lav akmalar şeklinde gelişir. Bunlara eşlik eden ve daha felsik bileşimdeki kayaçlar püskürmeler şeklinde gelişir ve piroklastik çökeller oluşturur. Yay volkaniklerinin değişik oranlarda lav ve kırıntılı malzemeler içeren stratovulkanlar oldukları görülür. Volkanizma oldukça şiddetli gelişir ve dışarı büyük oranda su çıkarılır. Sismik çalışmalar güncel yitim zonlarında magma haznelerinin 50-100 km derinlerde olduğunu göstermektedir. Püskürmeden önce bir kaç aylık periyotlarda 200 km' den derin deprem odaklarının göçü magmaların günde 1-2 km yükseldiğini göstermektedir.

Yay sistemlerinin çekirdeklerini granitik batolitler oluşturmaktadır. Plütonların bileşimleri diyorit-granit aralığında olmasına karşın granodiyoritler baskındır. Granodiyoritlerin baskın plütonik, bazaltik andezit ve andezitlerin ise baskın volkanik ürünler olmasını sağlayan iki önemli faktör görülmektedir. Bunlardan ilki magma viskozitesi, diğer ise bu magmaların katı fazları arasındaki farklılıklıdır. Bu nedenlerden dolayı andezitik magmalar yüeye rahat ulaşırken felsik bileşimli magmalar derinlerde soğuma eğilimindedirler.

Yaklaşan levha sınırlarına son örnek iki kıtasal levhanın yaklaşmasıdır. Alttaki mantoya göre daha düşük yoğunlukta olmaları nedeniyle kıtasal levhalar birbiri altına dalamaz ve yaklaşma sonucunda tam bir kıtasal çarpışma meydana gelir. Bu tür ortamlarda kabuğun ergimesi (anateksi) sonucu kabuk kökenli ortaç-felsik bileşimlerde volkanizma ile S-tipi olarak adlandırılan granitoidler gelişir. Dünyadaki en iyi örneği Himalaya dağ kuşağı oluşturmaktadır.