

Şekil 2: LİTOSFERİN OLUŞUMU ve YİTİLMESİ, kabuk ve mantonun bu kesitinde gösterilmiştir. Yeni litosfer okyanus ortası sırtta varlığı. Kalın litosfer parçasının manto içine daldığı yerde bir hendek oluşur. Depremler (küçük kareler) dalan parçanın üst bölümünde meydana gelir. Yumuşak astenosferdeki oklar, olası konveksiyon hareketlerinin doğrultularını göstermektedir. Astenosferdeki ikinci konveksiyon akımları, kıyasal havzalar altında küçük yayılma merkezleri oluşturabilmektedir.

Litosfer, veya dış kabuk, birbirlerine göre hareket eden bir düzine kadar berk levhadan oluşmaktadır. Yer'in içinden gelen magmanın yükselmesi ve soğumasıyla okyanus ortası sırtlarda yeni litosfer meydana gelmektedir. Yeni litosferin oluşumu sürekli olmakta; oysa Yer önemli ölçüde bir genişleme göstermemektedir. Bu durumda eski litosfere ne olmaktadır?

Bu sorunun yanıtı, 1960'ların sonuna doğru, deniz tabanı yayılması ile levha tektoniği kuramı arasındaki son önemli bağ olarak ortaya çıkmıştır. "Eski litosfer yitmiş; mantonun içine aşağıya itilmiştir". Eski berk levha dalarken yavaşça ısınır ve milyonlarca sene süren bir sürenin sonunda manto içinde yok olur.

Litosferin yitimi küresel tektoniğin belki de en önemli olayıdır. Yitim yalnız eski litosfere ne olduğunu açıklamakla kalmaz; aynı zamanda Yer'in yüzeyini biçimlendiren jeolojik olayların bir çoğunu da açıklar. Dünyadaki volkanların ve depremlerin çoğu, derin ve orta odaklı depremlerin hemen hemen tümü dalan litosfer levhalarıyla ilgilidir. Ale-

AD	ADI GEÇEN LEVHALAR	TUR	ZONUN UZUNLUĞU (KM)	YITME HIZI DEĞERİ CM/SENE	EN DERİN DEPREM DERİNLİĞİ (KM)	YİTEN LİTOSFER TÜRÜ
KURIL'LER-KAMCATKA HONŞU	AVRAZYA ALTINDA PASİFİK	A	2,800	7,5	610	OKYANUSAL
TONGA-KERMADEK YENİ ZELANDA	HİNT ALTINDA PASİFİK	A	3,000	8,2	660	OKYANUSAL
ORTA-AMERİKA	KUZEY AMERİKA ALTINDA KOKOS	B	1,900	9,5	270	OKYANUSAL
MEKSİKA	KUZEY AMERİKA ALTINDA PASİFİK	B	2,200	6,2	300	OKYANUSAL
ALEUTIANLAR	KUZEY AMERİKA ALTINDA PASİFİK	B	3,800	3,5	260	OKYANUSAL
SINDRA-JAVA-SUMATRA-BURMA	AVRAZYA ALTINDA HİNT	B	5,700	6,7	730	OKYANUSAL
GÜNEY SANDWICH	BROTIA ALTINDAKİ GÜNEY AMERİKA YİTİMİ	C	650	1,9	200	OKYANUSAL
KARAYIB	KARAYIB ALTINDA GÜNEY AMERİKA	C	1,350	0,5	200	OKYANUSAL
EGE	AVRAZYA ALTINDA AFRIKA	C	1,300	2,7	300	OKYANUSAL
SOLOMON-YENİ HEBRIDLER	PASİFİK ALTINDA HİNT	D	2,750	8,7	640	OKYANUSAL
MARIYANALAR	FİLİPİN ALTINDA PASİFİK	D	4,450	1,2	680	OKYANUSAL
İRAN	AVRAZYA ALTINDA ARAP	E	2,250	4,7	250	KITASAL
HİMALAYA	AVRAZYA ALTINDA HİNT	E	2,400	5,5	300	KITASAL
FİLİPİNLER-RYUKYU	AVRAZYA ALTINDA FİLİPİN	E	4,750	6,7	280	OKYANUSAL
PERU-SİLİ	GÜNEY AMERİKA ALTINDA NAZCA	E	6,700	9,3	700	OKYANUSAL

Çizelge 1: BAŞLICA YİTME ZONLARI ve onların bazı asal niteliklerinin listesi. En küçük levhalardan biri olan Nazka levhası, hemen hemen Güney Amerika'nın tüm batı kıyısını saran en uzun tek yitme zonu ile bağlantılıdır. Bu levha ikinci en yüksek yitme değerine de sahiptir; bu değer yer yüzeyindeki yaya dik olarak yılda 9,3 cm dir. Genellikle, bir levha ne kadar hızlı dalarsa levhaya bağlı en derin depremlerin derinlikleri de o ölçüde büyük olur (Filipin'ler altındaki yitme zonu önemli bir istisnadır). Yitme zonlarının 5 asal türü (A-E) şekil 4'de gösterilmiştir.

utian'lar, Kuril'ler, Mariana'lar, ve Japon adaları gibi ada dizilerini taşıyan çok belirgin ada yayları da yitme olayının yüzeyel işaretleridir. İçinde Tonga ve Java hendeklerinin de bulunduğu dünya okyanuslarının en derin hendekleri, ve ada yaylarıyla ilişkili tüm diğer hendekler, yitme zonlarının deniz tarafındaki sınırını belirlerler. And'lar ve Himalaya'lar gibi büyük dağ kuşakları, litosfer levhalarının yakınsaması ve yitimi sonucunda oluşmuşlardır.

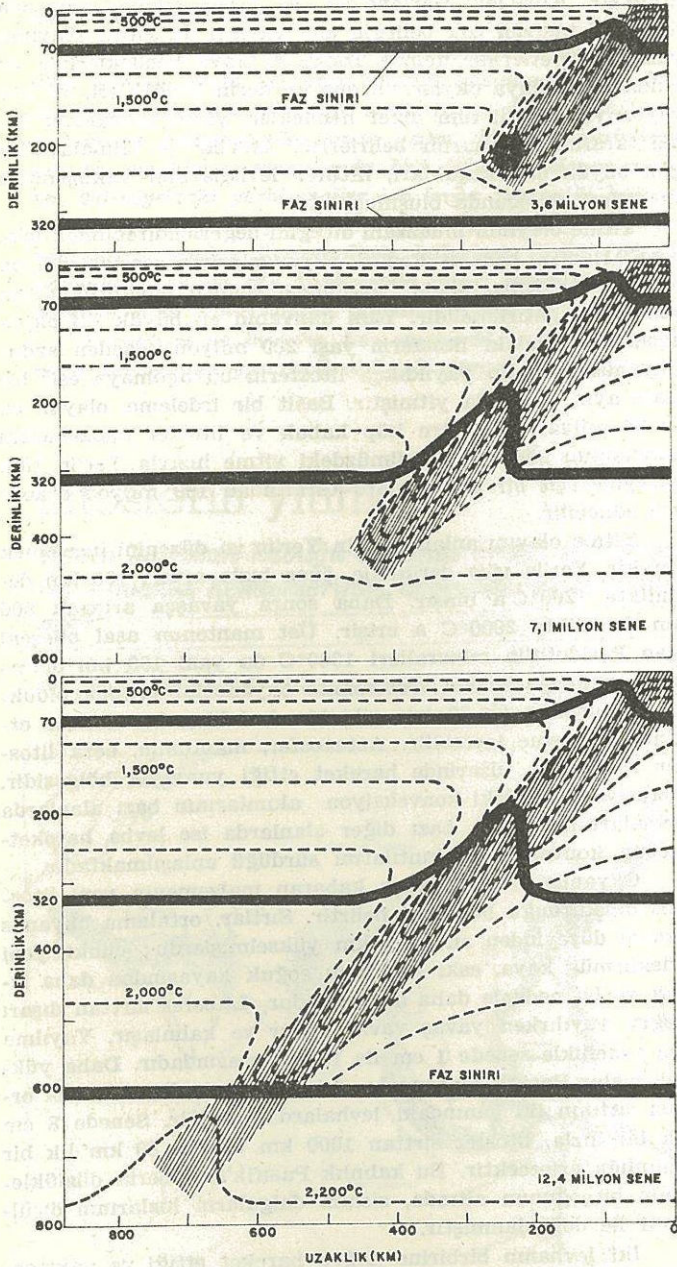
Yitme olayının muazzam ölçeğini değerlendirebilmek için, hem Atlantik, hem de Pasifik okyanuslarının son 200 milyon sene içinde deniz tabanı yayılması sonucu oluşturuldukları göz önüne getirilmelidir. Yani dünyanın en büyük iki okyanusunun altındaki litosferin yaşı 200 milyon seneden azdır. Okyanuslar açılıp yayıldıkça litosferin bu açılmaya eşit bir alanı aynı zamanda yitmiştir. Basit bir irdeleme, olayın, en az 20 milyar kilometre küp kabuk ve litosfer malzemesini harcadığını gösterir. Günümüzdeki yitme hızıyla Yer'in tüm yüzeyine eşit bir alan manto tarafından 160 milyon senede yok edilebilir.

Yitme olayını anlamak için Yer'in ısı düzenini incelemek gerekir. Yer'in ısı derinlikle, önce hızla artar; 100 km derinlikte 1200°C'a ulaşır. Daha sonra yavaşça artarak 500 km derinlikte 2000°C'a erişir. Üst mantonun asal bileşeni olan Peridotit'in mineralleri 1200°C'da yani 100 km derinlikte ergimeğe başlar. Üst manto okyanuslar altında oldukça yumuşaktır ve 80 km gibi bir derinlikte bir miktar erimemiş malzeme içerebilir. Astenosfer, mantonun, berk litosfer levhasının üzerinde hareket ettiği yumuşak bölgesidir. Astenosfer içindeki konveksiyon akımlarının bazı alanlarda levhaları ilerlettiği, bazı diğer alanlarda ise levha hareketlerinin konveksiyon akıntılarını sürdürdüğü anlaşılmaktadır.

Okyanus ortası sırtları kabaran malzemenin yeni litosferi oluşturduğu bölgeleri belirtir. Sırtlar, ortalama okyanus tabanı düzeyinden en az 3 km yükselmişlerdir; çünkü, yeni püskürmüş kaya, eski litosferin soğuk kayasından daha sıcak ve bu nedenle daha az yoğundur. Litosfer sırttan dışarı doğru yayılırken yavaş yavaş soğur ve kalınlaşır. Yayılma hızı genellikle senede 1 cm ile 10 cm arasındadır. Daha yüksek hızlar Pasifik levhasında, daha düşük hızlar Atlantik ortası sırtının iki yanındaki levhalarda görülür. Senede 8 cm lik bir hızla, litosfer sırttan 1000 km uzakta 80 km lik bir kalınlığa erişecektir. Bu kalınlık Pasifik'teki derin düzlüklerinin birçoğunun altında, sismik dalgaların hızlarının ölçülmesi ile doğrulanmıştır.

İki levhanın birbirine doğru hareket ettiği ve yakınsadığı yerde okyanusal levhalar genellikle bükülür ve daha duraylı ve daha kalın olan kıtasal levhanın altına itilir. Başlayan yitilmenin izi bir okyanus hendeği ile belirlenir. İlk önceleri eğim yani iniş açısı düşüktür; fakat giderek dikleşir. Sismik yansıma ile saptanmış hendek kesitleri, dalan okyanus levhalarının üst ucundaki aşağı doğru olan eğilmeyi açıkça gösterir.

Litosferin manto içinde alçaldıkça ısınmasına birçok etkenin katkısı olur. Birincisi çevredeki ilk mantodan soğuk litosfere ısı akısidir. Kayanın geçirgenliği ısı ile arttığından mantodan litosfere ısı iletimi artan derinlikle daha etkin duruma gelir. İkinci etken litosfer parçasının dalarken, artan basıncın yarattığı sıkıştırma ısısidir. Üçüncüsü, litosfer parçasının, yer kabuğunun tümünde bulunan uranyum, toryum, ve potasyumun radyoaktif çürümesinden doğan ısınımıdır. Bu yolla, dalan malzemeye belli bir hızla ısı eklenir. Dördüncüsü, daldıkça daha yüksek basınç altına giren litos-



Sekil 3: DALAN PARÇANIN EVRİMİ yazarın Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki laboratuvarlarında geliştirilmiş, bilgisayar modelleri ile tanımlanmaktadır. Bu çizimler 45° açı ile yılda 8 cm hızla yitmekte olan bir parçanın başına gelenleri şekillendirmektedir. Artan basınca bağlı olarak faz değişimleri genellikle, 70, 320, 600 km derinlikte meydana gelir. Dalan parçadaki ilk iki faz değişimi, parçanın düşük ısıdan dolayı sıkı yerlerde oluşur. Daha yoğun mineral şekillerine doğru faz dönüşümleri dalan parçanın ısınmasına ve dolayısı ile özümlemesinin hızlanmasına yardım eder. Parça 700 km derinlikte, çevresindeki mantonun ısısına eriştiğinde, kendine özgü özelliklerini yitirir.

ferdeki minerallerin daha yoğun fazlara veya daha sıkı kristal yapılarına değişmeleriyle açığa çıkan enerjinin ısı sağlamasıdır. Son etken sürtünme, kesme gerilimi ve hareket eden litosfer levhası ile onu saran manto arasındaki sınırdaki viskoz hareketlerin yayılma ile ısı oluşumudur. Bu etkenlerden birincisinin ve dördüncüsünün dalan litosferin ısınmasındaki payları çok büyüktür.

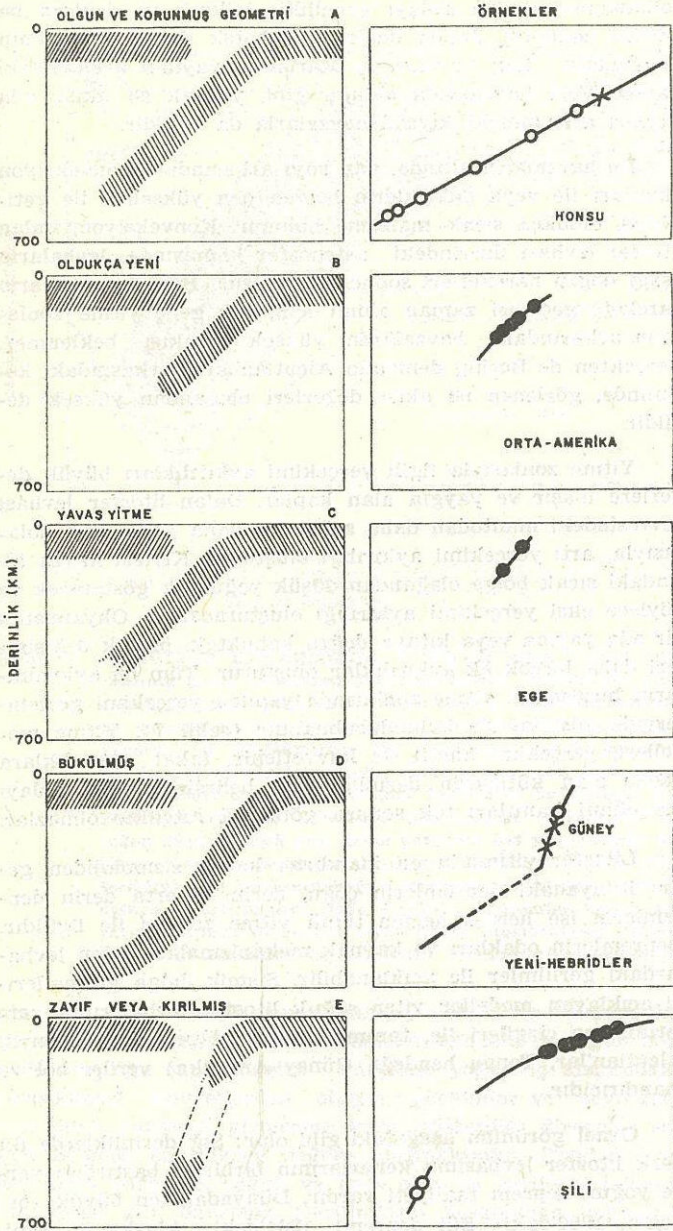
Dalan litosfer levhasının içindeki sıcaklık, geçen son beş senede İngiltere, Japonya ve Amerika Birleşik Devletlerindeki jeofizikçiler tarafından teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda değişik yaklaşımlar kabul edildiği halde sonuçlar uyumlu olmuştur. Örneğin, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde, yazarın da dahil olduğu grup birkaç yüz bin seneden 10 milyon seneye kadar değişen devrelerde çeşitli hızlarla mantoya giren levhaların ısınmalarını hesap etmiştir. Isınma olayının bu modele dayanan bir hesaplaması sonunda senede 8 cm lik bir hızla (Pasifik yitme zonlarının hız değeri) dalan levhaya zaman içinde 3 noktada (yitme başlangıcından 3,6, 7,1 ve 12,4 milyon sene sonra) ne olduğu şekil 3'de gösterilmektedir.

Bu modelde levha 600 km kadar bir derinliğe erişinceye değin, dalan levhanın içi çevresindeki mantodan belirgin olarak daha soğuktur. Levha daha derine daldıkça, radyasyon ile ısı iletimi daha etkili olacaktır, içi daha hızlı olarak ısınmaya başlayacaktır. Levha 700 km gibi bir derinlikten daha derine inerse ısıl bakımından yapısal bir birim olarak ayırdedilemez; mantonun bir parçası durumuna gelmiştir. 700 km lik derinliğin ötesinde hiç bir depremin saptanamamış olması bu bakımdan önemlidir. Derin depremlerin dalan levhalar dışında bir yerde oluşmadığı bellidir. Bu nedenle derin depremler batmış levha malzemesinin varlığına işarettir.

Dalan levha her zaman özümlemeden (assimilation) 700 km derinliğe varamaz. Yavaş hareketli bir levha bu derinliğe gelmeden ısıl dengeye erişecektir. Örneğin, yitmekte olan levha, senede bir cm'lik bir hızla 400 km derinlikte özümlenecektir. Yitme tümüyle durursa, litosferin yitik parçası niteliklerini giderek kaybedecek ve kabaca 60 milyon sene sonunda mantonun bir parçası durumuna gelecektir. Durağan bir levha bu zamanın yarısında bile, deprem oluşturamayacak kadar çok ısınmış olacaktır. Bu hesaplamalar, niye, bizim yalnız en son deniz tabanı yayılmasıyla ilgili yitik levhaları tanıyabildiğimizi açıklar. Eski yitme zonlarının, yüzeysel jeolojik belirtileri olduğu halde, bu bölgeler altında mantodan ayırt edilebilecek yitik levhalar bulunamaz. Eski litosfer parçaları yalnız özümleme olayı yüzünden değil, aynı zamanda yüzeyin mantoya göre hareketiyle de kaybolurlar.

Buraya kadar, önemli karmaşıklığı bulunmayan ideal yitme zonları tanımlandı. Böyle zonlar, örneğin bir Japon adası olan Honşu'nun altında, ve Tonga-Kermadec bölgesi (Yeni Zelanda'nın kuzeyinde) altında bulunur. Diğer birçok yerde, litosfer daha karışık bir biçimde dalmaktadır.

Yeni yitme alanlarında dalan parça, Aleutian'lar, Orta Amerika'nın batı kıyısı, ve Sumatra'da olduğu gibi 700 km den çok daha az derinliğe kadar girmiş olabilir. Yitme hızının düşük olduğu diğer bölgelerde parça 700 km derinliğe erişmeden çok önce özümlebilir ki, buna bir örnek, Ege denizi altında Akdeniz levhasının yitmesidir. Diğer bazı alanlarda yitme düşük açı ile başlar, orta derinlikte dikleşir, ve 500 km kadar derinlikte bu kez yataya doğru bükülür. Böyle bir "S" şekli görünüşü Güney Pasifik'teki Yeni Hebrid'ler altında açık olarak gözlenebilmektedir. Çift büküm, üst astenosferde düşük, buna karşılık, 600 km derinlikte yüksek dirence yorumlanabilir ki bu, mantonun yoğunluğunun veya gücünün, olasılıkla ikisinin de artışı sonucu olabilir. Diğer bir olağan dışı durum Peru ve Şili'nin altın-



Şekil 4: BAŞLICA BEŞ TÜRE okyanusal parça yitimi ayırt edilebilmektedir. Her türün örneği taslak çizimlerin sağında gösterilmiştir. Örneklerdeki kesiksiz çizgiler bir kesit üzerine izdüşürülmüş tüm depremlerin yerlerini belirtir. Çizgi üzerindeki simgeler özellikle, gerilim doğrultuları ölçülmüş büyük depremleri göstermektedir. Boş daireler parçanın uzunluğu boyunca sıkıştırma gerilimini; dolu daireler parçanın uzunluğu boyunca çekme-gerilimini; çarpılar ise kesit düzlemi içine rastlamayan gerilimleri gösterir. Pek çok yitme zonu 300 ile 500 km arasında, depremlerin meydana gelmediği, bir sismik aralık göstermektedir. Bu aralığın nedeninin dalan parçanın kırılmış (E türü) olması mı; yoksa, o derinlikte gerilimlerin bulunmaması mı olduğu bilinmemektedir. Verilen örnekler, Cornell Üniversitesinden Bryan L. Isacks ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Peter Molnar tarafından yapılan araştırmalara dayanmaktadır.

da, gerilimsiz bir zona, veya olasılıkla, kopmuş bir parçaya işaret olarak kabul edilen deprem yokluğu ile saptanmıştır.

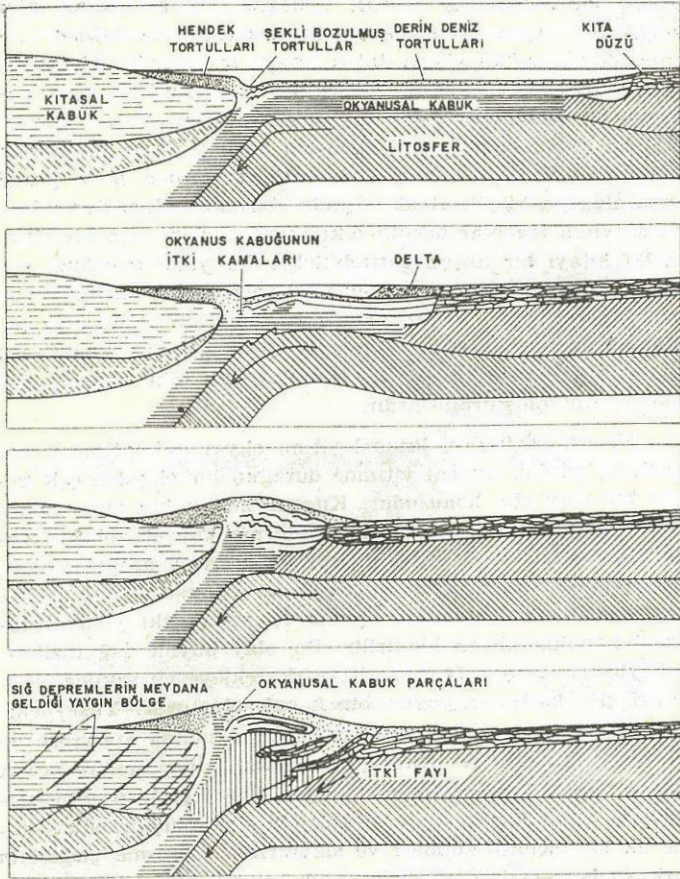
Genellikle, Batı Pasifik'te olduğu gibi, okyanusal litosfer ada yayları altında yiter. Yine bu durumda da, başka

birçok karmaşıklıklar vardır. Örneğin, Filipin levhası gibi küçük bir okyanusal levha iki hendek arasında kalmış olabilir. Veya And'lar altına dalan Nazka levhasında olduğu gibi okyanus levhası kıta altında yitebilir. And'lar aşırı gelişmiş bir ada yayına eşit kabul edilebilirler. Başka yerlerde, San Andreas fayı gibi dönüşüm fayları yitme sınırlarını kesintiye uğratabilir. Başka durumlarda birden fazla yitme zonu oldukça küçük alanlar içinde oluşabilir. Bazı durumlarda da yiten levhalar önemli tektonik sonuçları olan bir olayla iki kıtayı bir araya getirebilirler. Bu yolla meydana gelen kıtasal çarpışmalar levhaların hareketlerine önemli sınırlamalar getirirler; çünkü mantodan daha az yoğun olan kıtasal kabuğun yüzdürme kuvveti yitmeye karşı koyar. Bu tür çarpışmalar, Alp'ler ve Himalaya'lar gibi başlıca dağ kuşaklarını oluşturmuşlardır.

Nitelik yönünden, kıtasal yitim, okyanusal yitimden değişiktir; çünkü, kıtasal yitimde durağan bir olaydan çok geçici bir olay söz konusudur. Kıtasal kabuk bir yitme zonu içine hareket ettiğinde, kendi yüzdürme kuvveti, olağan derinliğinden, belki de 40 km den daha fazla aşağıya götü-rülmesini engeller. Levha yakınsaması sürerse, kabuk levhanın geri kalan kısmından ayrılır ve alttan-ıtki yoluyla kıtasal kabukla alttan bindirilir. Bu olay büyük dağ dizilerinin yüksek topografyasını alttan destekleyecek şekilde yükselen çift katlı, az yoğun bir kabuk oluşturur. Yüzeylekinin altındaki uzun okyanusal parçanın, sonunda ayrılması ve batması olanaklıdır. Ancak, bu durumda depremlere neden olamayacaktır. Bu aşamadan sonra, Tibet platosu gibi, yüzeyinde volkanlar taşıyan yüksek platoları oluşturacak şekilde ek bir biçim-bozulması ve sıkıştırma, çarpışma çizgisinin arkasında yer alabilir. En sonunda, engelleyici güçler çoğaldıkça, levha yakınsaması duracaktır. Bu nedenle kıtasal çarpışmaların, levhaların bağlı hareketlerindeki dönemsel yön değiştirmelerde önemli bir etmen olduğu sanılmaktadır.

Litosfer yitiminin jeolojik, jeokimyasal ve jeofiziksel sonuçlarının anlaşılması ile Yer yüzeyinin birçok temel özelliklerinin açıklanabileceği belli olmuştur. Gözlenebilen bu özellikler, aynı zamanda kuramsal yitme modellerinin geçerliliğini denememize olanak sağlamaktadır. Çok çeşitli özellikler bu amaçla ele alınıp, burada incelenebilir. Ancak kıtasal sağlamak amacıyla yalnız, hendek tortulları ve yiten kabuğun jeolojik özelliklerinden, ada yayı volkanlarıyla ilgili andezitik magma ve ısı akışı ve yerçekimi aykırılıklarından (gravity anomaly) bahsedilecektir. Bu özelliklere bağlı, ölçülebilen değerler, 100 km ye kadar olan derinlikteki yitme nitelikleri ile yakından ilgilidir. Yiten levhaların derin parçalarındaki en kesin gözlemler, sismik gözlemlerdir. Sismik dalgaların hızları ve sönümü, ve daha etkin olarak da sismik dalgalarla saptanan derin ve orta derin odaklı depremler dalan litosferin soğuk ve berk zonunun konumunu belirlemektedir.

Dalan levhalar tarafından oluşturulan derin okyanus hendekleri, zamanla öncelikle komşu kıtadan gelen tortulların büyük yığınları ile dolarlar. Tortullar, yiten okyanus kabuğu ve ada yayı veya kıtasal kabuk arasına sıkışıklarında, yeğin biçim-bozulmasına, kesme gerilimine, ısınmaya ve başkalaşıma uğrarlar. Sismik yansıma kesitleri bu biçim-bozulmasına uğramış birimlerin varlığını göstermektedirler. Tortulların bazıları, büyük derinliklere sürüklenebilir ve orada ergiyerek volkanizma oluşumuna yol açar. Bunlar, bu durumda, hızlı bir yoldan yeniden yüzeye ulaşacak ve böylece



Şekil 5: KITALARIN ÇARPIŞMASI, bir kıtanın (soldaki) kenarında yitilen okyanusal parçanın kendisinin de ikinci bir kıtayı (sağdaki) bulunduran tek bir litosfer levhasına bağlı olduğu zaman meydana gelir. Böyle bir çarpışma 200 milyon yıl boyunca genellikle kuzey hareket eden Hint litosfer levhasının Avrasya levhası altında yittiği zaman meydana gelmiştir. Bu tür yitim, yiten levhanın sıyrılarak ve biçim bozulmasına uğrayarak dağ sıralarını (Hint levhasının Himalayalar'ı oluşturmasında olduğu gibi) oluşturmasından sonra sona erer.

düşük yoğunluklu kabuk kayalarının toplam kütlesi korunmuş olacaktır.

Yitme zonlarının göze çarpan bir özelliği, ince taneli, kül renkli bir kaya olan andezit oluşumuna yol açan volkanizmadır. Bu volkanların magmasının nerede olduğu tam olarak bilinmemektedir. Jeokimyasal ve petrolojik kanıtların çoğunluğu magma kaynağının 100 km derinlikte olduğunu göstermektedir. 1969'da, Avusturalya Ulusal Üniversitesinden A. E. Ringwood'un ileri sürdüğü gibi, magma yiten okyanus kabuğunun kısmi ergimesinden oluşabilir. Dalan levhanın yukarı kısmında yer alan kesme gerilimi, kısmi ergime için gerekli ısıyı sağlayabilir. Dalan levha üstündeki astenosfer kamasındaki konvektif hareketler, astenosfer malzemesini düşük basınç altında hafifçe ergiyebileceği derinliklere yükselterek magma kaynaklarına katkıda bulunabilir.

Yeryüzeyinden ısı akısı, bize sığ katmanların ısısal özellikleri hakkında bazı şeyler söylemektedir (Yalnız dolaylı olarak daha derin olaydan etkilenmiştir). Hendeçler düşük ısı akısına (bir mikrokcalori/cm²/sn den az), ada yayları ise

volkanizmalarından dolayı genellikle yüksek ve değişen ısı akısına sahiptir. Japon denizi, Okhotsk denizi, Tonga'nın batısındaki Lau havzası ve Mariana yayının arkasındaki Parece Vela havzasında olduğu gibi, yüksek ısı akısı, ada yayları arkasındaki kıyasal havzalarla da ilgilidir.

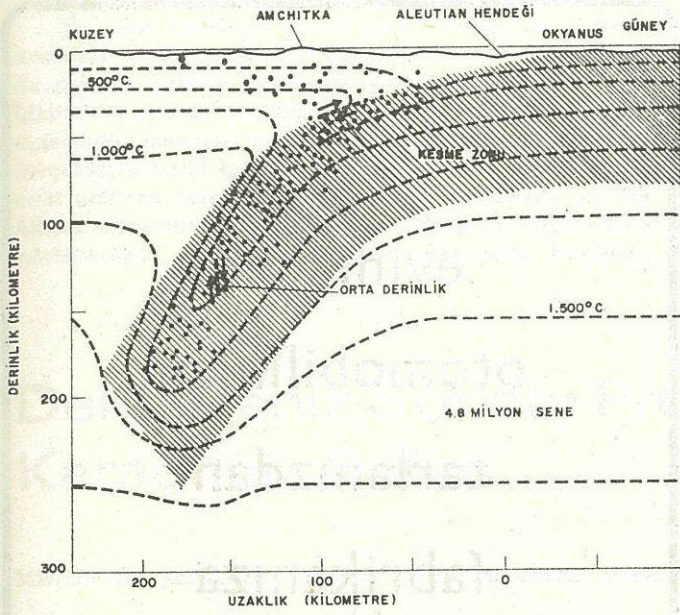
Bu havzaların altında, ada yayı arkasındaki konveksiyon akımları ile veya daha derin bölgelerden yükselme ile getirilmiş, oldukça sıcak malzeme bulunur. Konveksiyon, dalan litosfer levhası üzerindeki astenosfer kamasında, levhaların aşağı doğru hareketleri sonucunda oluşur. Bu gibi akımların harekete geçmesi zaman aldığı için, çok genç yitme zonlarının arkasındaki havzalarda, yüksek ısı akısı beklenmez. Gerçekten de Bering denizinin Aleutian'ların arkasındaki kesiminde, gözlenen ısı akısı değerleri olağandan yüksek değildir.

Yitme zonlarıyla ilgili yerçekimi aykırılıkları büyük değerlere ulaşır ve yaygın alan kaplar. Dalan litosfer levhası çevresindeki mantodan daha soğuk ve daha yoğundur; dolayısıyla, artı yerçekimi aykırılığı oluşturur. Kıyasal havza altındaki sıcak bölge olağandan düşük yoğunluk gösterecek ve böylece eksi yerçekimi aykırılığı oluşturacaktır. Okyanustan bir ada yayına veya kıtaya doğru kabuktaki özellik değişimleri daha birçok ek aykırılıklar oluşturur. Tüm bu aykırılıkların birleşmesi, yitme zonlarında yapılan yerçekimi gözlemlerinde göz önünde bulundurulmalıdır (şekil 7). Yitme modelleri, yerçekimi kanıtı ile kuvvetlenir, fakat aykırılıklara neden olan kütlelerin derinliğindeki belirsizliklerden dolayı yerçekimi kanıtları tek sonuca götürücü nitelikte olmazlar.

Litosfer yitiminin en inandırıcı kanıtı sismolojiden gelir. Dünyadaki depremlerin çoğu, derin ve orta derin depremlerin ise hemen hemen tümü yitme zonları ile ilgilidir. Depremlerin odakları ve kaynak mekanizmaları, yiten levhalardaki gerilimler ile açıklanabilir. Sismik dalga gözlemlerini açıklayan modeller yiten soğuk litosfer levhalarının yerlerini, ana çizgileri ile, tanımlar. Bazı bölgelerde (Japonya, Aleutian'lar, Tonga hendeği, Güney Amerika) veriler bol ve inandırıcıdır.

Genel görünüm aşağıdaki gibi olur: Sığ derinliklerde iki berk litosfer levhasının kenarlarının birbirine bastırıldığı yerde yoğun deprem faaliyeti vardır. Dünyadaki en büyük (örneğin, 1960'daki Şili depremi, 1964'deki Alaska depremi, 1952'deki Kamçatka depremi) depremlerin çoğu ve de küçük depremlerinin birçoğu, yiten okyanus litosferi ile kıtasal veya ada yayı litosferi arasındaki kesme düzlemi boyunca oluşur. Hendeğin okyanus tarafındaki bazı normal faylanmalı (çekme gerilimi kökenli) depremler, litosferin bükülmesi sonucunda oluşmaktadır. Diğer depremler ise, litosferin yırtılması ile ve bu yeğin biçim-bozulması zonundaki diğer dengelemeler sonucunda oluşmaktadır.

Derin ve orta derin odaklı depremler, genellikle, bir kıtaya doğru eğimli bir düzlem olan, Benioff zonu boyunca oluşur. İlk önceleri bu düzlem, dalan litosferik levhanın üst yüzeyi ile bitişik manto arasındaki kesme zonu olarak düşünülmüştü. Son on senede yürüttükleri ayrıntılı çalışmalarla, Cornell Üniversitesi'nden Bryan L. Isacks ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Peter Molnar ve diğerleri gözlenmiş depremler için gerekli kuvvetlerin kesme işlemi ile doğamayacağını göstermişlerdir. Bu çalışmaların ve ek olarak birçok ada yayı altındaki deprem odaklarının yerleri-



Şekil 6: ALEUTIAN DEPREMLERİ, o bölgede yiten Pasifik levhasının genel konumunu belirlemektedir. Depremlere göre soğuk parçanın konumu ayrıntılı olarak, Amchitka adasında yapılan nükleer denemelerde oluşan sismik dalgaların yardımı ile saptanmıştır. Bu dalgaların soğuk parçanın içinde, çevresindeki mantoda olduğundan daha hızlı hareket ettikleri izlenmiştir. Sismik kayıtların bu görüşle değerlendirilmesi ile orta-derin depremlerin (noktalar), önceden düşünüldüğü gibi dalan parçanın üst yüzeyindeki bir kesme gerilimi zonunda oluşmayıp, buradaki şekilde gösterildiği gibi parçanın soğuk merkezinde meydana geldiği ortaya çıkartılmıştır. Daha sığlarda, depremler kesme gerilimi zonunda ve üstteki levha içinde oluşmaktadır. Oklar, kayma düzlemlerini ve hareketin yönünü göstermektedir.

nin daha kesin olarak saptanması sonucu, derin ve orta derin odaklı depremlerin dalan levhaların içindeki en soğuk bölgede oluştuğu saptanmıştır. Parçanın yoğun iç kısmındaki yerçekimsel kuvvetlerden oluşan gerilimler ve çevredeki mantonun parçanın girmesine karşı gösterdiği dirençler soğuk bölgede en yüksek değere ulaşmaktadır. Bundan başka, kalın parçanın, soğuk ve berk olan içi gerilimleri ileten bir kanal gibi davranır. Gerilimlerin hesaplanan doğrultuları ile, depremlerin değerlendirilmesi sonunda varılan doğrultular uyum göstermektedir.

Bu görüşler ayrıntılı deprem çalışmalarının yapıldığı alanlarda sınanabilir. Bu nitelikte iki bölge, Aleutian'lar ve Japonya'dır. Orta Aleutian'daki Amchitka adasında, Longshot, Milrow ve Cannikin adlarındaki nükleer patlatmalar zaman ve yerleri belli enerji kaynakları sağlamıştır. Yiten litosfer içinde ilerleyen sismik dalgaların yol alma sürelerinden, içerdeki en soğuk bölgelerin yerleri duyarlı olarak saptanmıştır. Sık aralıklı sismik gözlem şebekesinin de kurulu olduğu bu alanda oluşan depremlerin yerleri de duyarlı olarak saptanabilmıştır. Sığ depremlerin bindirme düzlemi boyunca, derin depremlerin ise en soğuk bölge boyunca yoğunlaştığı görülmüştür (şekil 6).

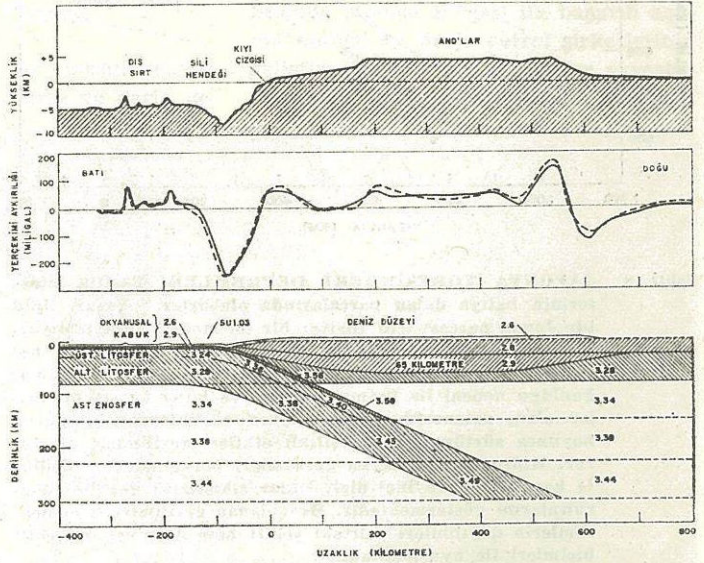
Japon adaları, olasılıkla, dünyada en yoğun biçimde incelenmiş sismik kuşaktır. Sismik dalgaların hızı, dalga sönüm özellikleri, deprem odaklarının duyarlı yerleri ve odak mekanizmalarının tümü, bu bölgedeki yitme modeline uyum göstermektedir. Dalan levha yüksek hız ve düşük sönüm gösterir

ki, bu yüksek frekanslı sismik dalgaların elastik olmayan yavaşlamasının bir göstergesidir. Levhaların yüzeye yakın karşılaştıkları yerin sınırında ve yakınında çok sayıda sığ deprem yer almaktadır. Derin ve orta derin odaklı depremler dalan parçanın en soğuk bölgesinde, gerilimlerin en yüksek olduğu yerdedir (şekil 8). Diğer yitme zonlarında depremlerin yerleri aynı duyarlılıkta bilinmemektedir. Bununla beraber, örneğin, Tonga hendeği, Peru ve Şili gibi yeterli verilerin bulunduğu alanlarda, derin ve orta derin odaklı depremlerin soğuk yiten levhanın içinde en soğuk bölge boyunca oluştuğu saptanmıştır.

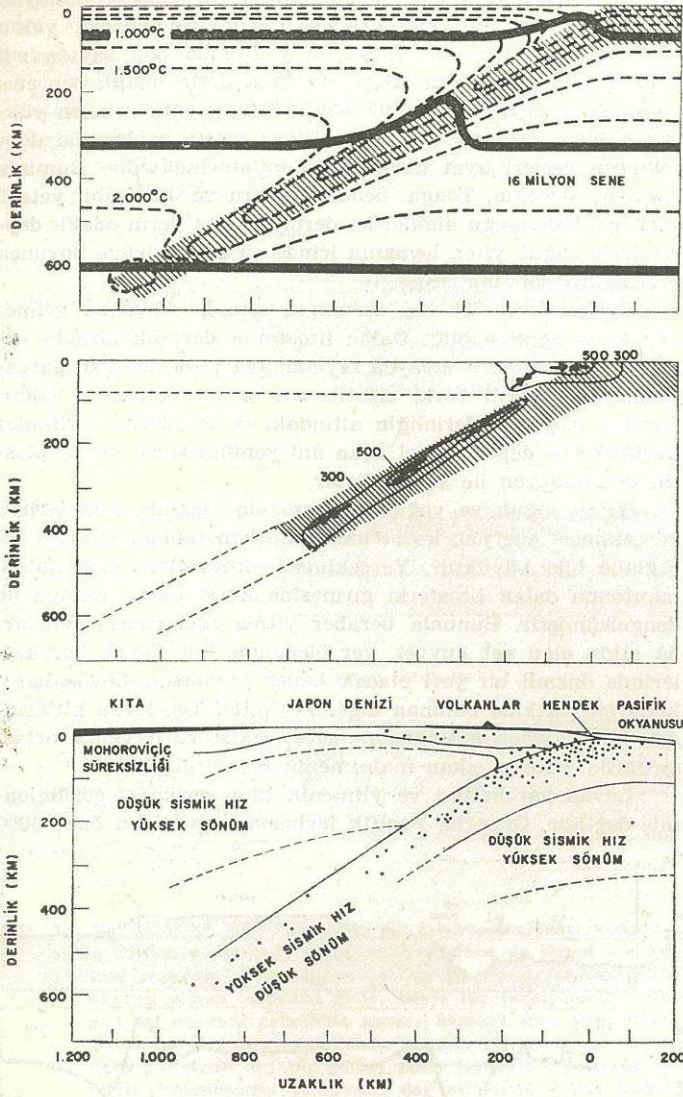
Depremlerin 700 km derinliğin altında meydana gelmesi artık açıklanabilir. Dalan litosfer o derinlik altında ısınır ve oradan ötede kolayca faylanmaya veya kırılabilir parçalanmaya elverişli berk, elastik bir ortam olmaktan çıkar. Bundan başka, o derinliğin altındaki derinliklerde gerilimler küçüktür ve depreme yol açan ani yenilmedense yavaş plastik deformasyon ile serbestlerler.

Yiten soğuk ve yoğun malzemenin büyük kütlelerinin yerçekimsel enerjisi, levha hareketlerinin toplam enerjisi ölçüğünde bile büyüktür. Yerçekimsel kuvvetler çoğunlukla, mantonun dalan litosferin girmesine karşı olan direnci ile dengelenmiştir. Bununla beraber yitme zonlarında levhalar da etkin olan net kuvvet, yer ölçüğünde bile, levha hareketlerinde önemli bir yeri olacak kadar büyüktür. Levha hareketlerine katkıda bulunan diğer kuvvetler ise, levha altlarından konveksiyon akımlarının yatay akışı ve okyanus ortası sirtlarda yüzeye çıkan malzemenin dışa itilişidir.

Levha hareketleri ve yitmenin tüm sorunları çözümlenmiş değildir. Örneğin, Pasifik levhasının, yitimden önce 6000



Şekil 7: YİTEN BİR LEVHANIN YERÇEKİMİNE ETKİSİ, Şili'nin ve And'ların batı kıyısında ölçülmüş olan yerçekimi aykırılığı ile açıkça belirtilmektedir. Üstteki şekil bölgenin topografya kesitidir. Ortadaki şekilde, gözlenmiş yerçekimi aykırılığı kesiksiz eğri ile miligal olarak gösterilmiştir. Kesikli eğri, alttaki şekilde gösterilen litosfer modeline göre hesaplanan aykırılığı göstermektedir (Galile'e ithafen adlandırılmış "gal" normal yerçekiminin 980'de biridir, böylece hendek üzerindeki -260 miligal'lık bir aykırılık yüzde 0,026 lık bir yerçekimi eksikliğine denktir). Model düşük yerçekimine yol açan hendeği ve buna karşılık etkisi olan, soğuk ve yoğun parçayı kapsamaktadır. Modeldeki yoğunluklar gram/cm³ türünden verilmiştir. Model Woods Hole Oseanografi Enstitüsü'nden J.A. Grow ve Carl O. Bowin tarafından geliştirilmiştir.



Sekil 8: JAPONYA YÖRESİNDEKİ DEPREMLER, Pasifik litosferinin batıya dalan parçalarında oluşurlar. Yazar, tipik bir Japon parçası için (üstte) bir ısı modeli hesaplamıştır. Bundan da parçanın üst bölümü içindeki gerilimleri hesaplamada yararlanılmıştır (ortada). Parçanın, yüksek yoğunluğu nedeni ile batmak eğilimi ve buna karşı kuvvetler olan, astenosfer içinde viskoz sürüklenme ve yüzey boyunca sürtünmenin karşılıklı etkileri gerilimleri oluşturur. Hidrostatik olmayan gerilimler, bar cinsinden ölçülür (1 bar, 14.7 libre/inç² dir). Oklar sıkıştırma gerilimi doğrultularını göstermektedir. Hesaplanan gerilimler hem depremlerin dağılımları (alttaki şekil) hem de meydana geliş biçimleri ile uyusmaktadır.

km yanal hareket edişi şaşırtıcıdır. Yitme zonlarının bazılarının, niçin buldukları yerlerde oldukları bilinmemektedir. Levha hareketlerinin niçin belirli zamanlarda değiştikleri açıklıkla bilinmemektedir. Yine de, kıtaların kayması, deprem, volkanizma ve dağ oluşumlarının açıklık kazandığı düşünülmürse, yukarıdaki sorunların oldukça önemsiz kaldığı görülür. Levha-tektoniği kuramı Yer'in yüzeyinin temel unsurları ve onların tarihçeleri arasındaki bağı yerbilimlerinin diğer herhangi bir kavramından çok daha iyi olarak kurabilmektedir.