

MIT Açık Ders Malzemeleri
<http://ocw.mit.edu>

12.113 Yapısal Jeoloji

4. Bölüm: Bindirme tektoniği

Güz 2005

Bu materyallerden alıntı yapmak veya Kullanım Şartları hakkında bilgi almak için <http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://tuba.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz."

İçindekiler

1 Okuma ödevi	1
2 Konu ile ilgili terimler	1
3 Geometrisi ve genel özellikleri	2
4 Dengelenmiş enine kesitlerin restorasyonu	3
5 Kum kutuları ve kritik incelleme teorisi	3
5.1	3
5.2 Kamanın açısını ne tayin eder?	4
5.3 Kamalar kendine benzer (self-similar) olarak büyürlerse sürekli olarak büyüyebilirler mi?	4
5.4 Genel olarak arka duvar "back stop" nedir?	5
6 Bindirmelerin mekanik paradoksu	5
7 Gözden geçirme soruları	8

1 Okuma ödevi

Twiss ve Moores'da yer alan 6. Bölüm, bu bölümle ilgilidir. Bölümdeki şekillere aşına olduğunuzdan ve konuyu anladığınızdan emin olunuz. Örneğin, şekil altyazılarını yazarak etiketleyebilirsiniz. **Şekil 6.11, 12, 15 ve 19 özellikle yanınızda bulundurmalsınız.**

Sonuç olarak, bindirme fayları ve ilişkili kıvrımların genel geometrisi ve bindirme kuşaklarının geometrisi ile bunların farklı tektonik ortamlardaki özellikleri konularına aşına olmalısınız.

2 Konu ile ilgili terimler

Aşağıdaki konular hakkında bilgi sahibi olunuz.

otokton - allokton - klip - pencere - dekolman - kalın ve ince derili bindirmeler - dupleks - bindirme yönü/vergence- yırtılma "tear" fayları - fault-propagation folds - fay tümseği kıvrımları - rampalar - düzlükler - önülke - iç bölge - nap - geriye bindirme - kabul edilebilir enine kesitler "**admissible cross-section**" - yığışım prizması - kabul edilebilir ve geriye döndürülebilir enine kesitler "admissible and retrodeformable cross-sections".

3 Geometrisi ve genel özellikleri

Bir bindirme fayı veya ters fay, tavan bloğu yukarıya doğru hareket eden eğimli faya denir. Genelde, eğimi 45°'den az olan faylar bindirme, 45°'den daha eğimli olanlar ise ters fay olarak adlandırılır. Ancak, bu kesin bir ayırım değildir.

Bindirmeler genelde düşük açılı faylardır. Faylanmanın mekanik modellerine göre (maksimum sıkışma geriliminin kırıklarla dar açı yaptığı durumda), bu faylar yataya yakın σ_1 ve düşeye yakın σ_3 ile ilişkilidir. Özellikle, bindirme fayları ve bindirme kuşakları yakınsayan levha kenarları (dalma batma ve çarpışma kuşakları) ve kabuğun tektonik kalınlaşması ile ilişkilidir.

Tavan bloğunun yukarı ve taban bloğu üzerindeki hareketi, yaşlı kayaçların genç kayaçlar üzerinde yer alması ve bu istiflerin tekrarlanması gibi bindirme fayına özgü stratigrafik bir belirti meydana getirir. Bindirme faylarındaki bu karakteristik belirti, sonradan kıvrımlanan veya normal fay olarak reaktif olan bir bindirme fayının tanınmasında kullanılabilecek bir araçtır.

Az eğimli segmentler ile bağlanan, yataya yakın segmentler gibi listirik geometriler yaygındır. Az eğimli ve yataya yakın segmentler, sırasıyla "düzlükler" ve "rampalar" olarak adlandırılırlar. Rampalar ve düzlüklerin üzerindeki malzemenin hareketi, bindirmenin tavan bloğundaki malzemenin deformasyonuna yol açar. Özellikle rampa-düzlük geometrileri, bindirmelerin tavan bloğunda gelişen ve fay tümseği kıvrımları "fault-bend folds" olarak adlandırılan karakteristik kıvrımlar ile ilişkilidir.

Kıvrımlar sıkça "kör" faylar ile ilişkilidir. Kör bir fay kaya kütesinin ortasında son bulunduğu için fay boyunca atım, gömülü fay ucunu geçen daha yaygın (sünümlü?) bir yamulmanın iletilmesi gerekmektedir. Yani kıvrım oluşturmalıdır. Kıvrımlar, kör fayların ucunda oluşurlar (karakteristik olarak bir antiklinal tavan bloğunda, senklinal ise taban bloğunda oluşur). Daha genel anlamda, bir fay boyunca atım miktarı fay ucunun ilerleme miktarını aştığında, fay kör olur ve fay ilerleme kıvrımları oluşur.

Bindirme fayları ve beraberindeki kıvrımlar tortullaşma sırasında oluşabilir. Bu durumda fayların büyümesi sırasında tabakalarda oluşan izler, büyüyen kıvrımların geometrisi ve kinematığı ile bindirme faylarındaki atımı yansıtmaktadır. Bu izler ayrıca, kıvrım ve bindirmelerin zaman içerisindeki gelişimlerinin belirlenmesine imkan verir. Bu ortamda oluşan büyüme tabakaları "growth strata" genişlemeli rejimde oluşmuş tabakalar ile tamamen benzer özelliklere sahiptir.

Kıvrım ve bindirme kuşakları (özellikle pasif kenarlar), genelde tabakalı tortulların deformasyonu ile ilişkilidir. Tortul tabakalar, fayların ilerlediği kesim boyunca ilksel mekanik anizotropiye ve rampa-düzlük geometrileri için ideal

koşullara neden olur. Birçok kıvrım ve bindirme kuşağında, bindirme fayları düşük açılı ana fayla aynı yönde eğime sahip olup derin kesimlerde birleşirler. Buna dekolman "decollement" denir. Tüm deformasyonun sığ dekolmanın (kabuğun üstten 5-10 km'si) tavan bloğunda meydana geldiği yerde oluşan kıvrım ve bindirme kuşakları ise ince derili "thin-skinned" bindirme kuşağı olarak bilinmektedir. Bundan farklı olarak, orta kabuk (veya daha derin kesimlere?) doğru ilerleyen bindirme fayları, kalın derili (thick-skinned) faylar olarak adlandırılır. İnce derili bindirme kuşakları genelde yatay tabakalanmış tortul kayaçların deformasyonu sırasında oluşurlar ve deformasyon bu kayaçların temeline kadar ilerlemez (örneğin yatay mekanik anizotropiye sahip olmayan kristalin kayaçlar). Kristalin temeli de etkileyen bindirmeler ise genelde kalın derili olarak isimlendirilir.

Dekolman, taban bloğundaki deforme olmamış malzemeyi, tavan bloğu malzemesini deforme eden ve kalınlaştıran kiremit benzeri (çatı malzemesi gibi sıralanmış anlamında) dizilime sahip bindirme fay sisteminden ayırır. Dekolman aynı zamanda kıvrım ve bindirme kuşağını deforme olmamış malzemeye doğru (önülke) taşıyan fay olarak da çalışır. Hareket yönü ve fay eğiminin genel gidişi (örneğin malzeme önülkeye doğru taşınmaktadır) bindirme yönü "vergence" kavramının gelişimine olanak vermektedir. Bindirme yönü "vergence", tektonik taşınmanın yönünü gösteren yapısal geometriye verilen bir isimdir. Eğimli bindirme faylarının önülkeye doğru hareket ettikleri kabul edilir ve devrik kıvrım napları da hareket yönüne sahiptirler (kıvrımların hareket yönünü "vergence", devrilme yönü veya kıvrımın asimetrisi belirler). Bindirme kuşağındaki tüm bindirmeler aynı yöne hareket (yani eğim) göstermezler. Kuşaktaki fayların tersine hareket yönüne sahip bindirme fayları, geriye bindirmeler olarak adlandırılır.

Dubleks yapısı, bindirme kuşaklarındaki yaygın bir yapısal topluluktur. En basit tanımıyla, bir dubleks alttan ve üstten yataya yakın faylarla sınırlanan eğimli iki veya daha fazla bindirmeden meydana gelir. Bunlar, taban ve çatı bindirmeleri olarak adlandırılırlar. Dublekslerin oluşabileceği asıl mekanizma değişken olmakla birlikte genelde, (1) ilksel rampa ve düzlük geometrisi ve (2) yeni rampa fayının oluşması ile ilgilidir. Yeni rampa fayı önde oluştuğunda (yani hareket yönüne doğru), eski rampa bindirmenin tavan bloğunda kalır ve tavan bloğu fayı tümseği antiklinal/senklinalleri olarak deformasyona uğrarlar. Yeni fay ilk rampanın gerisinde oluşursa, ilk rampa bindirmenin taban bloğunda kaldığı için malzeme deforme olmamaktadır.

4 Dengelenmiş enine kesitlerin restorasyonu

Enine kesitlerin çizgi ve alan ölçeğinde dengelenmesi, özellikle kıvrım ve bindirme kuşaklarına uygulanan tekniklerdir. Genelde, bir enine kesit kabul edilebilir (Yani enine kesitler, göze batan jeolojik tutarsızlıklar içermezler) ve ilk haline getirilebilir (kayaçların hareket ettirilerek ilksel, deformasyon öncesindeki haline getirilmesi mümkündür) olduğunda dengeli olarak adlandırılır. Kıvrım ve

bindirme kuşakları, retro deforme enine kesitlerin, malzemenin kesit düzlemi içinde ve dışında hareket etmediğini kabul etmesi nedeniyle dengeli enine kesitlerin hazırlanmasına özellikle uygunluk gösterir. Kıvrım ve bindirme kuşakları, genelde kayacın ön ülkeye taşınması nedeniyle, tektonik taşınma yönüne paralel bir enine kesitin çizilmesi mümkündür. Bundan başka, ince derili kıvrım ve bindirme kuşakları da, deformasyonun kabuğun üst 5-20 km'sinde gerçekleşmesi nedeniyle ilksel konumuna getirilmeye elverişlidir. Bu nedenle faylar tarafından meydana gelen deformasyonun büyük bir kısmının kırılğan ve ani olması beklenir. Kıvrımların ise konsantrik ve "kink-band" şeklinde olması ve kıvrımların kanatlarından tepe noktasına kadar olan kesimde malzemenin sünümlü akması olasıdır.

5 Kum kutuları ve kritik incelleme teorisi

5.1

Sınıfta gerçekleştirilen kum kutusu deneyi, ince derili kıvrım ve bindirme kuşaklarının ölçeklenebilir analog modelinin yapılmasını amaçlamaktadır. Kutu, sert ve saydam özelliğe sahip plastik camdan yapıldır. Bu kutuda kum ve kahve tabakaları, eğimli bir düzlem boyunca polyester bir film üzerine serilmiştir. Alttaki kumun kalınlığı yaklaşık 4 cm olup düzlemin eğimi 4°'dir. Bindirme kuşağındaki malzemenin önülkeye doğru taşınmasını simüle etmek için, polyester film tortulun altından önülkeyi kutunun arkasına doğru taşıyacak şekilde çekilmiştir. Çok çabuk bir şekilde duraylı kum kaması oluşmuştur. Bu kamanın önülkeye doğru, 6° açı oluşturan kamanın üst kesiminde iki kenarı vardır. Arka duvara doğru ilk oluşan geri bindirme ve geri kıvrımlar daha yüksek açıdadır (25°). Bu geometri temel olarak duraylıdır. Hatta, polyester filmin çekilmesi ile birlikte kamaya daha fazla malzeme katılması sonucu kama büyür. Ancak, açı nispeten sabit kalır.

Mükemmel bir kama şeklinden sapmalar, önülkeye doğru hareket eden kıvrımların üst yüzeyindeki deformasyondan kaynaklanmıştır. Üstten bakıldığında deformasyonun sonunda, beş veya altı ana yapı kıvrımın üst yüzeyinde yaygındır. Kısılma yapılarının büyük bir kısmı, iç kesimlerinde olasılıkla fayların yer aldığı kıvrımlardan oluşmaktadır. Bir denemede, orta tabakadaki malzeme yüzeye çıkmıştır.

Plastik camın duvarları, sürtünmenin etkisiyle duvar kesiminde daha az kısalmaya neden olmuştur. Kenarlarda gelişen bir diğer etki ise ilksel tortul paketinin aniden incelenmesi olmuştur. Tortul paketin yanal olarak incelendiği kesimlerde birçok yırtılma fayı oluşmuştur.

Deformasyonun büyük bir kısmı kamanın önünde yer almıştır. Kıvrımlar ve fayların kamanın arkasında oluşmasıyla birlikte deformasyon hiç olmamış veya çok az olmuştur. Böylece, yapıların büyük bir çoğunluğu, "bir sıra ile" en genç veya en yaşlı yapılar önülkeye yakın olacak şekilde gelişmişlerdir.



Şekil 1: Kum kutusunda oluşturulan kıvrım ve bindirme kuşağı. Kama, Canadian Rockies'de gözlenen klasik ince derili kıvrım ve bindirme deformasyon şeklini ortaya çıkaracak şekilde kesilmiştir.

Önemli miktarda erozyonun kamanın deformasyon dinamiğini etkileyebileceği düşüncesini kamanın üzerinden büyük miktarda malzeme kaldırarak denedik. Devam eden sıkışma sürecinde ilksel geriye bindirme ve geriye kıvrımlar, olasılıkla ilksel duraylı kama geometrisine dönebilmek için tekrardan aktif konuma geçti.

5.2 Kamanın açısını ne tayin eder?

Bir kamanın geometrisini, içindeki deforme olan malzemenin dayanımı ve kamanın oluştuğu dekolmanın sürtünmeye karşı olan direnci tayin eder. Özellikle zayıf dekolman ve düşük kama açısının olduğu durumda, kuvvetli kama malzemesi aynı etkiye sahiptir. Kum gibi malzemelerde bu parametreler plastik film ve gevşek kum arasındaki içsel sürtünme açısından etkilenebilir. İnce derili kıvrım ve bindirme kuşaklarında, kayaçlar olasılıkla Mohr-Coulomb kriterlerine göre deforme olduğu için kum, analog malzeme olarak kötü bir seçim değildir.

5.3 Kamalar kendine benzer (self-similar) olarak büyülse sürekli olarak büyüebilirler mi?

Bu kısım, kendine benzer kama büyümesi kavramını anlamanızı sağlamak içindir. Eğer kama açısı 5°'de kalırsa ve kamanın ucu deniz seviyesinde olursa, 180 km uzunluğundaki kamanın kendine benzer büyümesinin kamanın tepesinin 15.5 kilometrenin üzerinde bir yüksekliğe neden olabileceğini işaret etmektedir. Bu değer, bugün dünyadaki en yüksek bölgeden üç kat daha fazladır (Himalayalardaki tek yükselti 8 km'ye erişebilir. Ancak, kuşağın tepe bölgesinin ortalama yüksekliği 5 kilometrenin biraz üzerindedir).

Bu çözümlenme birçok önemli parametreyi ihmal etmektedir. Birincisi, izostatik denge ihmal edilmektedir. Her bir kilometre topoğrafyanın, okyanusun altındaki bir buzdağının hacmi gibi, kabuğun derinde 6 veya 7 kilometre kalınlığı olduğunu biliyoruz. Böylece, izostatik çökmenin 15 kilometre yüksekliğindeki kamanın büyük bir kısmını oluşturmasını bekleyebiliriz. İkincisi, kritik kama teorisi sabit dayanım olduğunu varsayar. Ancak, kayaçların dayanımının derinlikle birlikte önemli miktarda değiştiğini biliyoruz. Artan basınca bağlı olarak derinlikle birlikte dayanımdaki artış Mohr-Coulomb davranışı (reolojisi) ile açıklanabilirken, belli sıcaklığın üzerinde kayaçlar viskoz ve visko-plastik akma kanunlarına göre sınırlı olarak deforme olurlar. Son olarak, erozyonu ortalama yamaç eğimi ve yükseklikle birinci derecede ilişkilendirdiğimiz için, yüksek dağlar oluştuğu aşınma miktarının da artmasını bekleriz. Jeomorfoloji (kabuk direnci değil), yeryüzündeki dağların yüksekliği için gerçek sınır olabilir.

5.4 Genel olarak arka duvar "backstop" ne demektir?

Kum kutusu deneyindeki arka duvar, tüm düzeneğin belki de en yetersiz kısmıdır. Doğadaki hangi malzeme düşey ve kırılmaz bir duvara benzerlik gösterir? Kritik olarak incelen kamalar ile ilgili ilk makaleler önlerindeki kamayı iten iş makinelerini gösteren şekiller içermekteydi.

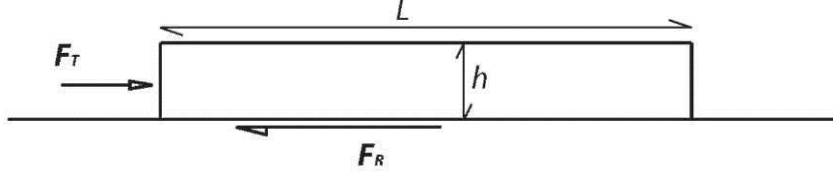
Anlaşılması gereken şey, kritik incelleme modelleri ve kum kutusu deneylerinde kıvrım ve bindirme kuşakları ile yığılma prizmalarının tanımlaması veya canlandırılması amaçlanmaktadır. Bu deneyler, büyük bir dağ kuşağının, özellikle dış kesimlerinin, anatomisinin küçük bir kısmına ait modellerini oluşturmaktadır. Arka duvar, burada dağ kuşağının iç kısmıdır ve tüm modellerde dağ kuşağının kalın kabuk ve yüksek rakımlı bölgelerden oluşması gerekmektedir. Dağ kuşağının hangi kısmının kalınlaştığı ve bu kalınlaşmaya kum kutusu deneyinin ışık tutup tutmadığı konunun dışındadır.

Alternatif olarak, daha küçük dağ kuşağı sırt sırta olan iki Coulomb kaması olarak tanımlanabilir. Deneyimiz bu hatlar boyunca arka duvarın neler yaptığına dair ipuçları sağlamıştır. Kamanın tepe noktasının arka duvarda olmadığını hatırlayınız. İlk oluşan yapılardan biri, geriye bindirme ve geriye kıvrımlar olmuştur. Deneyde oluşan kama, biri önülkeye doğru 5°'lik eğime sahip, diğeri iç bölge/arka duvarla 20°'lik açıya sahip iki kenara sahiptir. Temelde, birbirlerine dayanan iki kamadan oluşmaktadır. Her bir kama diğeri kamanın arka duvarını oluşturur. Bazı deneylerde araştırmacılar alttaki plastik filmi tortul istifin ortasındaki bir yarı boyunca çekmişlerdir. Oluşan yapılar bizim deneyimizde oluşan yapılara çok benzerdir. Biri diğeri arka duvar olacak şekilde iki kama oluşmuştur. İki kenarlı dağ kuşağına örnek olarak sıkça bahsedilen Tayvan Adalarında, dağ kuşağının her iki kanadında farklı yönlerde bindirme yönüne "vergence" sahip iki ince derili/kabuklu kama tanımlanmıştır.

6 Büyük bindirmelerin mekanik paradoksu

Referanslar: Price, R. (1988) The mechanical paradox of large overthrusts, GSA Bull., v. 100: 1898 - 1908.

Washington, P. and R. Price (1990) The mechanical paradox of large overthrusts; alternative interpretation and reply, GSA Bull., v. 102: 529-532.



$$\sigma_{xx} = \frac{F_T}{h} \Rightarrow F_T = \sigma_{xx}h$$

$$F_R = \sigma_{yx}L$$

$$\sigma_{yx} = \mu\sigma_{yy} = \mu\rho gh \quad (= \tan \phi \rho gh)$$

$$\text{Eğer } F_R = F_T$$

$$\sigma_{xx} = \frac{\sigma_{yx}L}{h} = \mu\rho gh$$

Yatay tektonik gerilme 100MPa kabul edildiğinde, $\mu = 0.038$. İçsel sürtünme açısı cinsinden, $\phi \sim 2^\circ$. Price (1988), kaya deformasyon deneylerinden elde edilen kaya dayanım değerlerini, μ of 0.577 and $\phi = 30^\circ$ olarak kabul eder. Twiss ve Moores (örneğin sayfa 171), $\phi = 28.7 \pm 7.4$ değeri veren kumtaşı örneklerinin deformasyonuna ait sonuçları açıklamıştır. Başka bir deyişle, analizimiz deneysel sonuçlardan beklenenden çok daha zayıf fayların oluşabileceğini öngörmektedir.

Doğrudan daha uzak $\mu = 0.6$ değeri kabul edildiğinde, rijit blok boyunca kaymayı başlatmak için $\sigma = 1.6$ GPa'ya gereksinim vardır. Twiss ve Moores (sayfa 207), bir kayacı kırmak için gereken gerilmeye dayanarak, gerilmenin maksimum değerinin 250 MPa olduğunu kabul eder. Ancak, 250 MPa çok iyimser bir değer olmakla birlikte, gerçek değer litostatik basınca (bundan dolayı bloğun yüksekliğine) bağlıdır. (Twiss ve Moores, bu problemi maksimum gerilmeyi 250 MPa olarak itilen bloğun maksimum uzunluğu cinsinden tartışmaktadır. Bloğun maksimum uzunluğunu 17 km bulmuşlardır.)

Hubbert ve Rubey, temelde etkin sürtünme dayanımını büyük ölçüde azaltan bir mekanizma önererek açık paradoksa farklı bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Özellikle, sürtünme dayanımı için, gözenek akışkanı basıncı göz önüne alınarak denklemin yeniden düzenlenmiş hali:

$$\sigma_{yx} = \mu\sigma_{yy}^* = \mu(1 - \lambda)\rho gh$$

burada λ gözenek akışkanı faktörü olup gözenek akışkanı basıncı p ve litostatik basınç ρgh arasındaki orana karşılık gelir. Hidrostatik gözenek suyu basıncı ($p = \rho_w gh$, burada ρ_w suyun yoğunluğudur) fayın tabanı boyunca sürtünme dayanımını ($\lambda \sim 0.4$) büyük ölçüde azaltmaktadır. Gözenek akışkanı basıncı litostatik basınca yaklaştığında $\lambda \sim 1$ olur ve sürtünme dayanımı sıfıra yaklaşır.

Doğada bu derecede yüksek akışkan basıncı varlığına ait kanıtların olup olmadığı sorusu ortaya çıkmaktadır. Bazı ortamlarda şüphesiz çok yüksek akışkan basıncı bulunmaktadır. Diğer taraftan, birçok fayda yapılan arazi gözlemleri bunun genel bir mekanizma olamayacağını göstermektedir. Özellikle, derste karasal ortamda yüzlek veren aşınma yüzeyi üzerine bindirme istifinin yerleştiğini açık olarak gösteren saha verilerinin bulunduğu Nevada'daki Keystone bindirmesine ait birkaç slayda bakmıştık. Keystone bindirme istifi, litostatik akışkan basıncı oluşturamayacak olan dere çakılları ve pekleşmemiş alüvyal çökeller üzerinde ilerlemiştir. Price (1988), "büyük bindirmelerin mekanik paradoksu" olarak adlandırdığı ana problemin, modelin tanımının hatalı yapılmasından kaynaklandığını düşünmektedir. Burada paradoks sadece, yerleşen bindirme istiflerinin büyüklüğü ile bağlantılı özgün bir mekanik tanım (bir model) kapsamında kalmaktadır. Price, gerçek bindirme faylarının eski (Canadian Rockies'deki faylar gibi) ve aktif (1964 Alaska depremi gibi) örneklerine bakıldığında bu mekanik tanımlamanın tümüyle uyumsuz olduğunu anlayabileceğimizi öne sürmektedir. Modeli bırakın ve paradokstan kurtulun. (Bindirme faylarında mekanik paradoksun varlığı, modelin büyük derecede kusurlu olma olasılığı konusunda bizi uyarmıştır.)

Mekanik model de, özellikle bindirme istiflerinin: (1) tümüyle rijit hareket ettiğini, (2) arkadan itildiğini ve (3) bindirme istiflerinin tabanı boyunca hareketin tüm fay yüzeyinde olduğunu kabul edilir. Price, doğadaki gerçek faylar üzerinde yapılan gözlemlerle bu üç kabulün olası olmadığına işaret etmiştir. Bindirme istifleri rijit değildir: deformasyon - kıvrımlanma ve kırılma - tüm bindirme istifinde olur ve fay boyunca atım miktarı doğrultu ve hareket yönü boyunca değişkendir. Ayrıca bindirme fayları boyunca kayma, bir seferde fayın küçük bir kısmını oluşturan birçok küçük kayma hareketinin birleşmesi sonucu olur. Tek bir kayma hareketinde bile kırılma aynı anda gerçekleşmeyip makaslama dalgası hızı "shear wave velocity" ölçeğinde ilerler. Price Oldow'dan bir alıntı yapar: "bindirmeler aynı anda tek bir kütle olarak hareket etmeyip kısmen biri diğerini izler ... hareket kızaktaki gibi olmamakta ve bütün halinde zeminde ilerlemekte olup daha çok bir tırtılın ilerleyişine benzer. Tırtılın aynı anda bir parçası ilerlerken ve tüm vücudu hareket eder ve taşınır".

Washington'un yanıtı gerçekten oldukça inceliklidir. O, hem Price'ın açıklamasını beğenmemekte hem de Hubbert ve Rubey'in modelini kurtarmak istememektedir. Özellikle, Price'ın açıklamasında fay hareketinin tüm yüzeyde aynı anda olmamasının paradoksu çözeceği düşüncesini reddetmektedir. Örneğin, Price'ın 1964 Alaska depremine ait gözlemlerine karşı çıkmamaktadır. Faydaki kaymanın aynı anda olmamasının paradoksta bir değişikliğe neden olmadığını öne sürmektedir. Washington, fay hareketinin ve depremlerin temelde fay boyunca ortaya çıkan elastik yamulmanın boşalması olduğu ve belli bir zaman aralığında meydana gelen elastik yamulmalar ile aktif bir fay boyunca kırılma öncesi makaslama gerilmelerinin genelde kırılma için gerekli gerilmeye veya bu değere yakın olduğunu iddia etmektedir. Dolayısıyla araştırmacı, tüm fay yüzeyinin bu kritik denge noktasına nasıl geldiğini açıklama ihtiyacının, Hubbert ve Rubey'in problemi olan bindirme istifinin arkasındaki tektonik gerilme ile taban direncinin nasıl dengelendiği konusu ile aynı şey olduğunu öne sürmektedir. Araştırmacının çözümü, modelin temel kısmının atılmasını da içermektedir. Ancak, atılan şey bindirme istiflerinin arkadan itilen düzlemsel kütleler şeklinde hareket ettiği kavramıdır.

Washington, bindirme kuşaklarındaki genel kama geometrisine başvurmuştur. Bindirme kuşakları, kamanın arkasına doğru artacak şekilde uygulanan ve hareketi sağlayan gerilmenin olduğu yüzey alanı nedeniyle taban dekolmanı boyunca taşınabilir. Her bir bindirme istifi, tüm kama ile birlikte hareket eder ve böylece bir bindirme istifindeki hareketin büyük bir kısmı bindirme istifinin üst yüzeyi boyunca sürüklenmesi ile gerçekleşir. Washington'un söylemeye çalıştığı şey aslında problemin bir kısmını bindirme istifinin yalıtılmış olmasının dikkate alınması oluşturmaktadır. Bindirme kuşakları, kiremit benzeri dizilmiş bir seri faydan meydana gelir. Bindirme istifleri tabandaki bir fay boyunca hareket ettikçe (ancak, tipik olarak istifin üst kesiminde bir başka bindirme bulunmakta), bu hareketin istifin tabanına yeterli gerilmenin iletilmesine önemli bir etkisi vardır. *(Not: bu makaleyi ilk okuduğumda Washington'un yanlış yolda olduğunu düşündüm. Ancak, birkaç kez okuduktan sonra ilk izlenimimden daha fazla kanıtın olduğunu ve bu kanıtların daha açık bir şekilde ifade edilebileceğini düşünüyorum.)*

Price'ın cevabı iki aşamalıdır. Birincisi, Washington'un aktif bindirme faylarının her yerde göçmeye yakın olması iddiasına karşı çıkmaktadır (Washington'un fazla veriye dayanmayan bir iddiası). Eğer bindirme fayları tüm yüzeyleri boyunca aynı anda kaymıyorsa, yüzey alanının büyük ölçüde bir fonksiyonu olan durdurma kuvvetinin dengelenmesine gerek yoktur. Bu husus halen durmaktadır. Ancak, bindirme istifi ile ilgili bu modelin çürütülmesi bakımından, Price'ın bindirme istifleri boyunca gerilmenin nasıl iletildiği ve bu gerilmelerin kökeninin ne olduğunu açıklayamadığı bir gerçektir. Price, modelin terk edilmesi ile paradoksu çözmekte, ancak alternatif bir model önermemektedir.

İkincisi, Price fay hareketini açıklayan bir model olarak kritik kama görüşünü

kanıtlamaya davet etmektedir. Kritik kama modelleri (kum kutusu modelleri) tabanı boyunca kayan malzeme kütlelerinin derinlerdeki deformasyonunu göstermek için idealdir. Taban dekolmanları dışında bu modellerde hiç fay olmadığı için Price haklıdır. Washington'un Şekil 1'inin biraz *özel amaçlı* olduğu görülmektedir ve arazide bindirme faylarını inceleyerek 30 yıl geçiren Price'in neden bu bindirme istifine ait gerçekçi olmayan modeli küçümsediğini anlamak kolaydır. Ancak, Washington'un gerçekte yapmaya çalıştığı deforme olan kütlelerin bulunduğu yerde (kritik incelen kama gibi bir şey) her bir bindirme istifini hareket ettiren başka bir gerilme kaynağı olduğunu göstermekti. En azından Washington modele (detayları biraz belirsiz olan model) farklı bir bakış açısı sağlamaktadır.

7 Gözden geçirme soruları

1. Nasıl ve neden, bindirme kuşakları kabuk kalınlaşması ve dağ oluşumu ile ilişkilidir?
2. Şekil 6.15 Canadian Rockies'deki bir dubleks yapısının kesitini göstermektedir. Bu kesit dengeli midir? Dengeli bir kesit, jeolojik yorumların sınanmasına imkan verir? (tabii ki enine kesitlerin büyük bir kısmı bunu sağlar).
3. Aynı tektonik koşullar altında (yani ön ülkenin bindirme kuşağına yaklaşma miktarı aynı) aynı kayaları (yani aynı mekanik özellikler) deforme eden iki bindirme kuşağı düşünün. Bunlardan birisi kuvvetli muson yağışı alırken diğeri büyük dağ kuşağının gölgesinde kalan kıta içi bir bölge olması nedeniyle çok az yağış almaktadır. Bindirme kuşağının genişliği ve bindirme sekansı başta olmak üzere iki bindirme kuşağının evriminde ne tür farklılıklar olabileceğini açıklayınız.