

Laboratuvar 5: kırılğan (gevrek) faylar

Güz 2005

1 Gevrek davranış/Mohr-Coulomb göçmesinin özeti

Bir malzemenin dayanma gücü, artan litostatik basınç ile doğrusal olarak artıyorsa bu malzemenin Coulomb davranışı gösterdiği söylenir. Coulomb kırık kriteri olarak adlandırılan malzemenin dayanımı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$|\sigma_\tau| = s_0 + \sigma_n \tan \phi$$

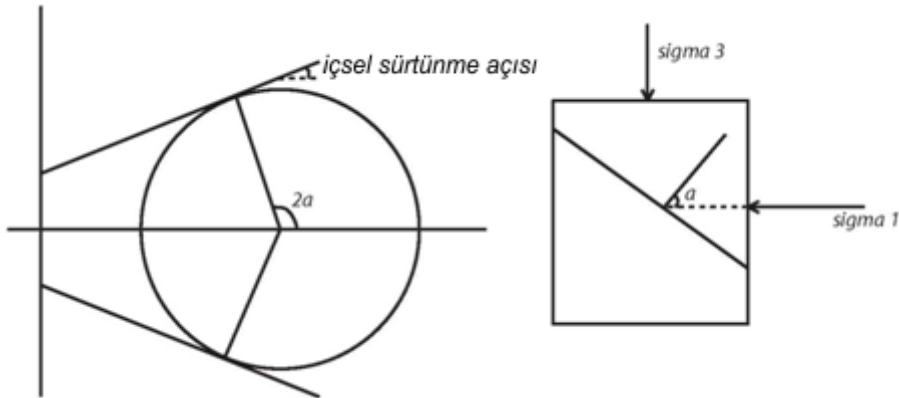
σ_τ makaslama gerilmesi

σ_n normal gerilme

s_0 kohezif makaslama dayanımı olarak adlandırılır.

ϕ içsel sürtünme açısı olarak adlandırılır.

$\sigma - \tau$ aralığında, Coulomb kırık kriteri, $\tan \phi$ ve τ kesişimi = S_0 olarak çizilir (aşağıya bakınız). Malzeme üzerindeki makaslama gerilmeleri, Coulomb kırık kriterine eşit veya aşarsa malzeme kırılır. Bir kütlenin gerilme durumu, Mohr dairesi ile temsil edildiğinde ($\sigma - \tau$ aralığında), kırık Mohr dairesi Coulomb kırık kriterine teğet olduğunda gerçekleşecektir. Bundan başka, teğet nokta Mohr diyagramından okunan 2α açısı boyunca gelişen kırığın oryantasyonu ile ilişkilidir.

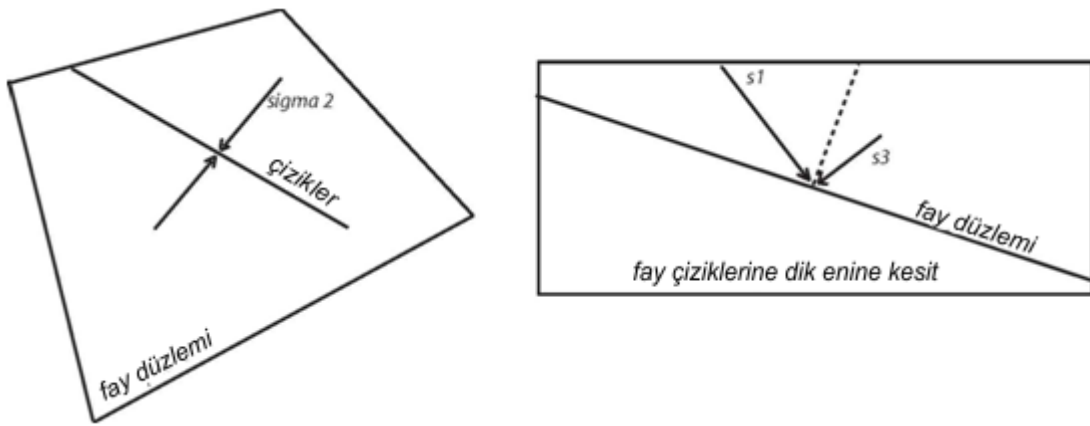


Şekil 1:

Birçok jeolojik problemde, gözlemlediğimiz yapıları oluşturan gerilmeleri tahmin edebilmeyi isteriz. Basitleştirilmiş varsayımlarda bulunarak, fayları ve eklemleri oluşturan gerilmelerin göreceli büyüklüğü ve oryantasyonların birinci derece kestirmelerinin elde edilmesinde gözlenen fay geometrisini (fay düzlemleri veya eklemlerin oryantasyonunu ve hareket yönünü) kullanabiliriz.

Coulomb göçmesi (kırığı), bir kayacın makaslama dayanımının makaslama gerilmesine eşit olduğu σ_1 ve σ_3 doğrultularında simetrik olarak uzanan iki düzlem boyunca olur. Üç asal gerilme birbirleri ile dik konumda olduğu için Coulomb kırık düzlem çiftlerinin kesişimi her zaman σ_2 'ye paralel olacaktır; σ_1 ve σ_3 doğrultuları düzlemler arasındaki açıyı iki parçaya ayıracaktır (σ_1 her zaman göçme düzlemlerinin arasındaki dik açıyı ikiye ayırır). Sığ kabuktaki fayların Coulomb kırılması ile oluştuğu varsayımını yaparsak, σ_1 , σ_2 ve σ_3 oryantasyonlarını tayin etmek için yukarıda belirtilen ilişkileri kullanabiliriz. Ayrıca, $\theta = 45^\circ + \phi/2$ ilişkisinden kayacın içsel sürtünme açısını tayin edebiliriz.

Sadece fay düzlemi ile atım doğrultusu bilindiğinde de asal gerilme doğrultularının oryantasyonunun tahmin edilmesi mümkündür. Verilen fay düzleminde ve hareket yönünden (örneğin fay düzlemlerinden bilinen), σ_1 , σ_2 ve σ_3 hesaplanabilir. Atım yönü bilindiğinde, σ_2 fay düzleminde yer alır ve fay düzleminde hareket yönüne dik doğrultudadır. σ_1 ve σ_3 bu durumda σ_2 eksenine dik bir düzlem üzerinde olmalıdır (aşağıya bakınız). Daha sonra, içsel sürtünme açısı ϕ (genelde 30° olarak alınır) ve σ_1 ve σ_3 bulunabilir (aşağıya bakınız). Bu tür problemleri çözebilmek için stereonet çok uygundur.



Şekil 2:

Fay düzlemine dik 60° eğimdeki σ_1 'in iki olası oryantasyonu vardır. Farklı verilerle kanıtlandığı üzere fayın hareket yönünün belirlenmesi önemlidir. Bu bilgiye göre, görünür atımı veren σ_1 ve σ_3 'ün doğru oryantasyonunu seçiniz.

2 Fay terminolojisi

Aşağıdaki tanımlardan birçoğunu daha önce görmüştünüz. Ancak hepsinin bir yerde olması iyidir. Fayları tanımlayan esaslar aşağıda verilmektedir.

Atım vektörü, İlk konumunda birlikte bulunan bitişik noktaların (*pearning point* adı verilen) fayın her iki tarafında yerdeğiştirmesidir.

Doğrultu atımlı fay Hareketin fay düzlemine paralel olduğu faydır. Doğrultu atımlı faylar aynı zamanda *burkulma fayları*, *yırtılma fayları* veya *yüksek eğimli doğrultu atımlı faylar* (transcurrent fault) olarak da bilinir. Sağ atımlı (dextral) fay diğer fay bloğundan bakıldığında, karşıdaki fay bloğunun sağa hareket etmiş olduğu faydır. Sol atımlı (sinistral) fay ise, ters yönde yer değiştirme gösterir.

Eğim atımlı fay Fay düzleminin eğimine paralel hareketin olduğu faydır.

Verev atımlı fay Fay düzleminin ne doğrultusuna ne de eğimine paralel hareketin olduğu faydır.

Tavan bloğu Düşey olmayan fayın üzerinde bulunan fay bloğudur.

Taban bloğu Düşey olmayan fayın altında bulunan fay bloğudur.

Normal fay Tavan bloğunun göreceli olarak taban bloğuna göre aşağı hareket ettiği eğim atımlı faydır.

Ters fay Taban bloğunun göreceli olarak tavan bloğuna göre aşağı hareket ettiği eğim atımlı faydır.

Bindirme fayı Düşük açılı ters faydır.

Sıyrılma fayı Düşük açılı normal faydır.

Listrik fay Üst kesimlerde yüksek eğimli, alta doğru daha düşük eğimli düzleme sahip, kar küreme bıçağına benzer şekildeki bir faydır.

Translasyonel fay Hareket sırasında rotasyonun olmadığı ve böylece ilksel olarak paralel düzlemlerin fayın her iki tarafında paralel kaldığı faylardır.

Rotasyonel fay Bir fay bloğunun diğerine göre rotasyona uğradığı bir faydır.

Makas (scissor) fayı yer değiştirmenin sıfır olduğu bir noktadan itibaren yerdeğiştirme miktarının o noktadan uzaklaştıkça arttığı faylara denir.

Fay aynası Bazı fay düzlemlerinde gelişen parlatılmış ve mineral içeren ince yüzeye sahip ince bir örtüdür. Son harekete paralel doğrultuda çizikler içerirler. Sadece fay aynasından iki hareket yönünün hangisinde hareket olduğunu söylemek mümkün değildir.

Fay izi Yer yüzeyinde gözlenen fay düzlemidir.

Ayrılım Fay düzlemi üzerinde ölçülen bir yüzeylerden veya marker tabakadan oluşan iki iz arasındaki düşey mesafeye denir. Ayrılım fay düzlemi boyunca iki farklı yönde ölçülebilir. *Doğrultu ayrılımı*, fayın doğrultusuna paralel olarak (yatay olarak) ölçülür. Eğim ayrılımında ise fay eğim yönüne paralel olarak ölçülür.

3 Bir fay üzerindeki net atımın tayini: rotasyonel olmayan faylanma

Aşağıdaki problem, düzlemsel ve rotasyonel olmayan bir faydaki atımın tayini için bir örnek olarak verilmiştir. Bu örnekte topografik engebe olmamakla birlikte her zaman böyle olmak zorunda değildir.

Problem: Fay düzlemi K90D/80G konumuna sahiptir. 1 ve 2 düzlemleri, daykları temsil etmekte olup sırasıyla, K25D/60KB ve K35B/40KD konumlarına sahiptir. Bu fayın rotasyonel olmadığı ve bu nedenle dayklardaki atımın fayın her iki tarafında aynı miktarda olmasına bağlı olarak yer değiştirmenin de her yerde aynı olduğu bilinmektedir. Fay boyunca yer değiştirmeyi bulabilmek için, fay tarafından kesilmiş çizgisel bir yapıya ihtiyacımız var. Fayın atım yönünü bilmediğiniz sürece tek bir düzlemin faydası olmayacaktır. Buna karşın, çizgisel bir yapı gerçek ayrılımı tayin edebilmek için tek başına yeterlidir. Bu nokta genellikle *delme noktası* "piercing point" olarak adlandırılır. Ne yazık ki delme noktaları jeolojide nadirdir ve bazı kullanılan delme noktaları kıvrım tepe çizgileri ve akarsu yatağı gibi jeomorfik öğedir. Biz bu problemde iki daykın kesişimi sonucu oluşan çizgiyi delme noktası olarak kullanacağız.

Yöntem:

1. Fay yüzeyinin bir enine kesitini oluşturun. Bu örnekte topografya olmaması nedeniyle enine kesit yatay bir çizgi olacaktır.
2. Fay boyunca dayk lokasyonlarını işaretleyin. Noktaların fayın hangi tarafında dağılım gösterdiğini belirtmek için kesit üzerinde gösterin.
3. Fayın her iki tarafında dayk kesişim çizgisinin fay düzleminin neresinde olduğunu bulmak için stereonet kullanınız.
 - (a) Fay düzlemini çiziniz.
 - (b) Dayk düzlemlerini çiziniz.
 - (c) Büyük çember boyunca fay düzleminin rake açısını ölçün.
4. Enine kesitte rake açısını çizin ve fayın iki tarafındaki daykların kesişim çizgilerini uzatın. Kesişme, fay düzlemindeki daykların kesiştiği çizgiyi temsil etmektedir. Bunları birbirine bağlayan çizgi ise fay düzleminde *net atımı* tanımlar. Eğim atım bileşeni, gerçek eğim boyunca fay düzlemi üzerinde ölçülür. Doğrultu atım bileşeni doğrultu boyunca fay düzlemi üzerinde ölçülür. Bu örnekte, kuzey kenarı güneye göre aşağı atılmış ve doğruya doğru yer değiştirmiştir.
5. Düzlemde düşey ölçümde yatay atımı bulmak için (eğim atım bileşeni)*cos(fay eğimi). Düşey atım için (eğim atım bileşeni)*sin(fay eğimi).

4 Rotasyonel faylanma

Rotasyonel hareket fay düzlemlerinde nadiren görülür. Fay boyunca aynı birim farklı doğrultu ve eğime sahip olacağından rotasyonel hareket tanınabilir. Aşağıdaki örnekte tavan bloğu, taban bloğuna göre saat yönünün tersine dönmüştür. Rotasyon miktarını belirlemek için iki yöntem vardır. Aşağıdaki şekillere bakınız.

Yöntem 1

1. Stereonet üzerine fayın kutup noktasını (F), taban (A) ve tavan (B) bloğundaki tabakanın kutup noktasını işaretleyin.
2. F noktasını dış çembere 30° F' noktasına hareket ettirerek fayı yönlendirin. A ve B noktalarını 30° A' ve B' noktalarına getirin.
3. Rotasyonel faylanma sırasında rotasyon eksenini fay düzlemine diktir. Haritaya bakarak 60° eğimine sahip fayın düşey konuma döndürülmesini düşününüz. Fayı temsil edecek şekilde sol elinizi ve taban bloğundaki tabakayı temsil edecek şekilde sağ elinizi kullanın. Tabaka kutup noktasını işaret etmek için sağ elinizin parmakları arasında kurşun kalem tutun. Şimdi, sol elinizi dik tutarken ellerinizi 180° döndürün ve düşey fay düzlemi ile tabaka kutup noktasının davranışını gözlemleyin. Bu ilişki, kuzey kutup noktasında fay kutup noktası (F)'yi koyacak şekilde stereonette aydınların çevrilmesi ile çizilebilir. Ekvator boyunca olan ayna görüntüsü ile birlikte A' nün uzandığı küçük çember, faya dik bir eksen boyunca taban bloğu döndürüldüğündeki tüm tabaka kutup noktalarının geometrik konumunu tanımlar. Bu nedenle, rotasyon miktarı A' ve B arasındaki 50° lik açıya eşittir.

Yöntem 2: Fay düzlemindeki görünür eğimin pitch açılarını tayin edin. Tavan ve taban bloğundaki pitch açısı rotasyon öncesinde birbirleri ile aynı olduğu için pitch açılarındaki farklılık rotasyon miktarına eşit olur. Bu problemde görünür eğimler farklı yönlerde olduğu için pitch açıları toplanmıştır. Fay düzlemi üzerinde tavan bloğundaki pitch açısı 42° ve taban bloğundaki pitch açısı 8° olup 50° rotasyonu belirtmektedir.

5 Laboratuvar 5 Alıştırmaları

5.1 Yerküredeki faylar

(i) sağ atımlı doğrultu atımlı fay, (ii) normal fay, (iii) bindirme fayı, (iv) klip ve (v) makas fayını jeoloji haritası ve enine kesit veya bir blok diyagramda gösteriniz. Gerçek bir jeoloji haritasını taramak veya tekrar çizmekte özgürsünüz. Enine kesit şematik olabilir. Ancak terimleri açıklayacak derecede net olmalıdır. Tavan ve taban bloğunu ve fayların gözleendiği aktif tektonik deformasyon alanlarının isimlerini işaretleyiniz ((i), (ii) ve (iii)).

5.2 Mohr-Coulomb göçmesi ve akışkan basıncının etkileri

Güneydoğu British Columbia'daki Downie heyelanı, Columbia River vadisindeki buzullar yaklaşık 7000 yıl önce eridiğinde gelişmiş devasa (1.6 milyar metreküp) bir ana kaya heyelanıdır. Ana kaya, yaygın olarak biyotit şistten meydana gelmekte olup, heyelanın tabanı ise bozulmamış ana kayaa dokusuna paralel parçalanmış ve mikalı kayaaçlardan yapılmış kalın bir kuşaktan oluşur. Bu kayma düzlemi akarsuya paralel devam etmektedir ve 22° eğime sahiptir. Jeoteknik çalışmalar aşağıdaki verileri sağlamıştır:

Yamaç eğimi	22°
ρ_{avg}	2850 kg-m ⁻³
Heyelanın kalınlığı	250 m
Ortalama su sütunu yüksekliği	10 m
1000 yıllık maksimum su sütunu	50 m
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	28°

1. Kayacın ağırlığının tabandaki tek gerilme kaynağı olduğu varsayıldığında, düşey gerilme değerı nedir?
2. (i) kuru ortamlarda, (ii) ortalama koşullarda ve (iii) maksimum (1000 yıl) koşullarda tabandaki normal ve makaslama gerilmesi nedir?
3. Heyelan tabanı boyunca kohezyonun sıfır olduğu varsayıldığında, Mohr-Coulomb göçme zarfını çiziniz.
4. Yukarıda belirtilen üç koşul için Mohr dairelerini çiziniz. Her bir durumda heyelanın stabilitesi ne olur?

5. Göçmeyi başlatabilmek için su sütunu yüksekliği cinsinden ne kadar akışkan basıncı gereklidir?

5.3 Eklemler

Jeologların bir çoğu zamanını daha iyi şeylerle değerlendirirken, arazi kampındaki bir grup jeolog çok fazla derecede eklemlerle ilgilendiler. Özellikle, arazilerinde yüzlerce ölçüm yaptıktan ve uzun konuşmalardan sonra eklemlerin çoğunlukla iki doğrultuda uzandığını fark etmişlerdir. Birincisi, 350/60 ve diğeri ise 210/70'dir. Arada abur cubur isteği ile bölünen derin sohbetler, bu sistemlerin makaslama kırıkları olduklarını tayin etmelerine imkan sağladı. Bunların eşlenik set (conjugate set) oldukları varsayıldığında (yani homojen gerilme alanı nedeniyle oluşmuş), asal gerilmelerin doğrultusunu, kayaçtaki içsel sürtünme açısını ve eklem yüzeylerindeki atım yönü ve doğrultusunu bulunuz. Sakin olun, stereonet kullanın.

5.4 Delme noktaları "Piercing points"

Şekil ??'de gösterilen fayların hangisi, faydaki net atımı tayin etmemize imkan veren delme noktasına sahiptir? Bunları belirleyin. Diğer faylardaki doğrultu atım olası hareket yönü ve eğim atım ayrılımını belirleyiniz.

5.5 Delme noktaları "Piercing points" II

Colorado nehri çevresindeki haritalama çalışmaları sırasında Alexis, altınca zengin bir damarın bulunduğu eski bir altın madeninin doğrultusunu kesen tanımlanmamış bir fay haritalamıştır. Fayın kuzeyindeki tüm saha kapatılmıştır. Ancak, bu damarın devamını bulabilmesi durumunda Alexis, öğrenci masraflarını karşılayabilecek, lisansüstü eğitime para bulabilecek ve yaşamının geri kalanında sosis köpeğini küçük aptal süveterler içerisinde yaşatabilecekti. Fay doğuya doğrultulu ve 60°K eğime sahiptir. İlişkili veriler aşağıda listelenmektedir:

Yapı	Konum	kuzey duvarı boyunca mesafe	güney duvarı boyunca mesafe
Kireçtaşı tabakası	010/45	0 m	160 m
Dayk	135/65	205 m	260 m
Altın damarı	145/70	360 m	???

Fay çiziminin rake'ini, doğrultusunu ve dalımını ve fayın net atım miktarını belirleyerek fayı sınıflandırınız. Fayın güney kenarındaki damarın yerini belirleyiniz.

5.6 Beavertail'deki faylanmış dayk

Beavertail noktasında gördüğümüz mafik daykını kesen fayın net atım doğrultusunu (doğrultu ve dalım) ve atım miktarını hesaplayınız. Aşağıdaki ortalama oryantasyonları kullanın.

Dayk: 155/28 Fay: 244/61

Fay çiziyi: 60->346

doğrultu atımı: 4m

Harita görüntüsü çizimi ve veya blok diyagram ile başlayın. Atımın yönü nedir?