

## Laboratuvar 3: Stereonetler

Güz 2005

### 1 Giriş

Yapısal jeolojide düzlemlerin, çizgilerin ve bunların kesişiminin oryantasyonunun tayin edilmesi önemlidir. Bu ilişkiler Kartezyen x-y-z koordinatlarında çalışıldığında kullanışsız ve sıkıcı bir iştir. Düzlemlerin ve çizgilerin oryantasyon problemlerinin çözülebilmemesinin en kolay yolu stereografik projeksiyon kullanımımıdır. Stereografik projeksiyonların -veya stereonetlerin- kullanımı temel yapısal analizdir. Karmaşık üç boyutlu ilişkilerin çalışılmasında kullanılmakta ve arazide topladığımız her tür geometrik veri ve bu verilerin çizim olarak analizinde kullanılırlar. Şu andan itibaren dönem sonuna kadar laboratuvarlar bu yöntemin kullanımı ile geçecektir. Bu laboratuvarın amacı, stereografik projeksiyonların tüm yöntemlerini öğretmektedir. Bu çalışmada kurşun kalem, kağıt ve stereonet kullanacağız. Ancak stereografik olarak verilerin çizilebileceği yazılımları da tanıtacağız.

Stereografik projeksiyonda, düzlemler ve çizgiler yukarıdan bakıldığında şeffaf bir kürenin altını kestiklerinde görüldükleri gibi çizilir<sup>1</sup>. Düz bir kağıtta bunu yapmak için stereonet denilen kürenin iki boyutlu projeksiyonunu kullanıyoruz. Stereonetler, birbirlerine dik büyük ve küçük çember topluluklarının izdüşümünü gösterir (küredeki boylam ve enlem çizgileri gibi). Bunlar farklı doğrultudaki düzlem ve çizgilerin konumunun belirlenmesi için kullanabileceğimiz ağı oluşturur.

**Büyük çember:** Kürenin merkezinden geçen düzlemin, kürenin yüzeyiyle yaptığı arakesit çemberidir. Küredeki boylam çizgileri büyük çemberdir.

**Küçük çember:** Kürenin merkezinden geçmeyen düzlemin, kürenin yüzeyiyle yaptığı arakesit çemberidir. Küredeki enlem çizgileri küçük çemberdir. Küredeki enlem ve boylam çizgilerinin birbirlerine dik olduğuna dikkat ediniz.

Stereonet kürenin alt yarısı olarak düşünülmelidir. Düzlemler küreyi büyük çember, çizgiler ise nokta olarak keserler. Stereonetler ile çalışıldığında düzlemin veya çizginin üç boyutlu bir kaseyi veya topu kestiğini (destekler faydalı olabilir) düşünmek faydalı olabilir.

---

<sup>1</sup> Bu kürenin, alt yarı küresinin tabanının kullanılması ortak bir karardır. Oldukça garip olmakla birlikte mineraloglar üst yarı küreyi kullanmaktadır.

## 1.1 Temel yöntemler

**Bir düzlemi çizmek:** Örneğin, 060/20 konumuna sahip düzlemi çiziniz. 1. Aydınlar üzerine ağın kuzey kutbu boyunca kuzey okunu işaretleyiniz. 2. Doğru çizgisi konumlandırmak için dış çemberde kuzeyden 60° doğuya sayın. Bu noktayı ağdaki çemberin dışına ve tersine (180° diğer tarafa) işaretleyin. 3. Aydınları doğru çizgisi ağın kuzey kutbunu kesinceye kadar döndürün. Bu işlem aydınları konumlandırır ve böylece eğim büyük çember ağı kullanılarak çizilebilir. 4. Eğimi çizmek için, ağın doğu-batı çemberi boyunca dış çemberin sağ el tarafından içeriye 20° sayın (eğer sağ el kuralını kullanıyorsanız daima sağ el tarafını kullanınız. Aksi takdirde eğim yönüne göre sayacağınız yöne karar veriniz). Bir kutuptan diğerine kadar bu noktayı kesen büyük çember yayının üzerinden çiziniz. 5. Asetatı başlangıçtaki konumuna döndürün ve çizdiğiniz düzlemin bir anlam ifade edip etmediğini kontrol ediniz. Gözünüzde canlandırınız!

**Çizgi çizmek:** Örneğin 40/025<sup>2</sup> konumundaki çizgiyi çiziniz. 1. Aydınlar üzerinde kuzey okunu işaretleyin. 2. Kuzey dış çemberden 25° batıya sayarak doğrultuyu konumlandırın. Bu noktayı işaretleyin. 3. Ağda en yakın büyük çember çapı (K, G, D veya B kutbu) ile çakışacak şekilde doğrultuyu döndürün ve dış çemberden içeriye doğru 40° sayın. 4. Çizmiş olduğunuz çizginin bir anlam ifade edip etmediğini kontrol etmek için ilk haline döndürün.

Şekil 1:

**Noktadan düzlem çizimine (pole to plane):** Düzlemler oldukça kullanışsız olup, her düzlem basitçe düzleme dik gelen bir çizgi şeklinde gösterilebilir. Örneğin: K74D/81K konumuna sahip düzlemi nokta olarak çiziniz. 1. Aydınlar üzerinde kuzey okunu işaretleyin. 2. K74D doğrultusunu stereonet üzerinde işaretleyiniz ve düzlemi çizmek için kuzeye doğru döndürünüz. 3. Düzlemin eğimini bulmak için kenardan 80 sayın. Şimdi 80'e ek olarak 90 daha sayın. Alternatif olarak, dış kenardan saymak yerine stereonetin merkezinden 80 sayabilirsiniz. Bu noktayı noktadan düzleme çizilmiş olarak işaretleyiniz. 4. İşaretlediğiniz noktanın veya kutbun bir anlamı olup olmadığına bakınız.

**İki düzlemin kesişim çizgisi:** 1. Her düzlem için büyük çemberi çiziniz. 2. Ağın K-G ve D-B çizgisinin kesiştiği noktadan aydınları döndürün. K-G veya D-B çizgilerinin uçlarından dış çemberi çizin. 3. Kağıdı çevirmeden kesişim noktasından dış kenara doğru K-G veya D-B hattı üzerindeki dereceleri sayın. Bu dalımdır. 4. Geriye döndürün. Çemberin dış kenarında yaptığınız işaretin derecesini okuyun. Bu da doğrultudur.

**Düzlem açıları:** Düzlem açıları, düzlemin büyük çemberi boyunca ölçülür. En çok ihtiyaç duyulan nokta düzlemde "rake" veya "pitch" olarak adlandırılan çizginin

---

<sup>2</sup> Kullandığımız ölçü düzenine dikkat ediniz: doğru ve dalım verileri, dalım ve doğru olarak çizilmektedir. Azimut ölçümü -doğru veya yön- her zaman üç haneli olarak yazılır ve eğim ölçümleri her zaman iki hanelidir. Bu düzen büyük bir karmaşadan büyük ölçüde korur.

çizilmesidir. Örneğin, N52B/20KD fay düzlemi doğuya  $43^\circ$  fay çizgisi doğrultusuna sahiptir (Şekil 1a). Şekil 1b stereonet üzerinde çizilmiş lineasyonu göstermektedir.

**Düzlemin gerçek eğimi ve görünür eğimi.** Düzlemin doğrultusunu temsil eden bir çizgi çiziniz. Bu çizgi stereonetin merkezinden geçen ve doğrultu açısında dış çemberi kesen bir düz çizgi olacaktır. 2. Görünür eğimi kutup olarak çiziniz. Şimdi dış çemberde iki (doğrultu çizgisinin iki ucu) ve çemberin içinde bir nokta (görünür eğim noktası) aynı düzlem üzerinde olmalıdır. Doğrultu hattını ağın K-G doğrultusuna çakıştırın ve bu noktaları geçen büyük çemberi çizin. 4. Ağın D-B hattı boyunca düzlemin gerçek eğimini ölçün.

**İki görünür eğimden doğrultu ve eğimin çıkarılması:** 1. Görünür eğim çizgilerini temsil eden iki noktayı işaretleyiniz. 2. Aydıneri iki nokta büyük çember üzerine gelinceye kadar döndürünüz. Bu düzlem tabakanın gerçek doğrultusu ve eğimidir.

**Düşey eksen rotasyonları:** 1. Düşey eksen rotasyonları eğim sabit kalırken düzlemin sadece doğrultusunu etkiler. Rotasyonlar dış çember boyunca ölçülürler. Örneğin: K60B/45KD konumuna sahip düzlem  $30^\circ$  saat yönünde yeni konumu ne olur? Cevap: K30B/45KD

**Doğrultuya paralel yatay eksen boyunca rotasyon:** Yatay eksen rotasyonları, doğrultu sabit kalırken düzlemin sadece eğimini etkiler. Bu durumda döndürüldüğünde, düzlemin doğrultusu K-G çizgisi ile çakışır ve rotasyon büyük çember boyunca ölçülür.

Örneğin: K20D/80GD konumuna sahip düzlem  $50^\circ$  saat yönünün tersine döndürülürse yeni konumu ne olur? Cevap: K20D/30GD

Döndürme sırasında ilksel büyük çember projeksiyonu üzerindeki düzleme ait tüm noktalar düzlemin döndürülmüş yay üzerindeki küçük çember boyunca hareket eder. Bu şekilde düzlemin ilk projeksiyonundaki yay uzunlukları döndürme sırasında korunur. Düzlemin üzerindeki doğrusal elemanın konumu, düzlemin oryantasyonundan bağımsızdır.

**Genel rotasyonlar:** Diğer eksenler boyunca rotasyon (jeolojide yaygın bir durumdur) daha karmaşıktır ve çoğunlukla düzlemden ziyade düzlemden noktaya çizilmesi şeklinde yapılır. Bu problemi öncelikle rotasyon eksenini yatay olarak alarak, daha sonra gereken rotasyonu gerçekleştirerek ve son olarak rotasyon eksenini ilksel doğrultusuna getirerek çözeriz.

Örnek: Konumu  $R = DB/30D$  olan rotasyon eksenini boyunca  $60^\circ$  saat yönü tersine döndürüldükten sonra K30D/30GD düzleminin yeni konumunu bulunuz. R'yi düzlem ve noktadan düzleme olarak çizin. (Şekil 4a) 2. R'yi yatay konuma (R') döndürün. P ve R arasındaki açıyı sabit tutabilmek için P küçük çember boyunca aynı miktarda döndürülmelidir. (Şekil 4b) 3. R'yi ağın KG eksenine paralel konuma getirin ve P'yi P''ye hareket ettirerek  $60^\circ$  saat yönü tersine döndürün (küçük çemberde ölçülmüş  $60^\circ$ ). (Şekil 4c) 4. R'yi ilksel konumuna döndürün. Aynı anda P''nin rotasyonu döndürülmüş levhanın kutup konumunu (P''') verir.

Düzlemin kendisi daha sonra kutuptan restore edilebilir. (Şekil 4d)

**Koniler:** Sondaj karotları çıkarılırken döndürüldüğü için tabaka düzleminin eğimi tayin edilemez. Ancak, olası oryantasyon aralığı tanımlanabilir. Koninin kenarlarına dik çizgiler kürenin ortasından geçer ve alt yarıküreyi iki yarım çember veya bir çember şeklinde keser. 1. Sondaj kuyusunu çiziniz. 2. Kuyu büyük çember üzerine gelecek şekilde aydingeri döndürün (Ben genellikle merkezden geçem düz bir çizgi ile başlarım ve 10'luk ayrıma sahip her bir büyük çember üzerinde çalışırım). Büyük çember hattı boyunca her iki yönde kuyunun açısı ile tabaka açısı arasındaki dereceyi ölçün ve işaret koyun. Kuyu noktasını çakıştırabileceğiniz her büyük çember için aynısını yapın. 3. Bu işaretler bir çember veya iki eğik çizgi tanımlamalıdır. Tüm koni alt yarıküreyi kestiğinde bir çember elde edersiniz (genellikle kuyu ve tabaka arasında dar açı olması durumunda veya yüksek eğimli bir kuyu olduğunda). Alt ve üst koni stereonetin alt yarıküresini kestiğinde iki hat oluşur (genellikle kuyu ve tabaka arasında geniş açı olması durumunda veya düşük eğimli bir kuyu olduğunda). Yatay bir kuyu her zaman iki simetrik çizgi meydana getirir.

**Rotasyonlarla ilgili daha fazla bilgi:** İlksel oryantasyonun bozulduğunu ve eğildiğini belirlediğimizde rotasyon eksenini kullanarak kullanılan doğrultusu kullanılarak eğilmiş bir düzlem yatay konumuna döndürülebilir. Rotasyon eksenine dik küçük çemberler boyunca aynı derecede çizim üzerindeki başka elemanları da döndürmek gerektiğini hatırlayınız.

- Dalımlı kıvrımın kanatlarını yatay konuma döndürmek için önce kıvrım eksenini yatay konuma döndürün (kıvrım ekseninin doğrultusuna dik olan yatay eksen boyunca döndürün.). Şimdi kıvrım eksenini rotasyon eksenini kullanarak kıvrım kanatlarını yatay konuma döndürün.

- Gerçek eğilme, bizim basit stereonet çizimlerimizde kabul ettiğimizden çok daha karmaşık olabileceğini aklınızda bulundurun.

- Aşağıdaki konuları stereonette bir cisim döndürürken dikkate alın. Düzlemler, çizgiler ve konilerin hepsi merkezden geçer ve bizim görmediğimiz bir üst kesimi vardır. Ancak, bazen döndürdüğümüzde ve konileri çizdiğimizde meydana çıkarlar. Örneğin, K doğrultulu ve  $45^\circ$  dalımlı bir çizgiyi düşünün. Bu çizgi, kuzey güney hattındaki çember merkezi ve kenarın ortasında yer alacaktır. Eğer çizgiyi yatay, kuzeye doğrultulu eksen etrafında çevirirsek, kutup noktası küçük çember hattı boyunca stereonetin kenarına doğru bir iz bırakır.  $90^\circ$  döndürüldüğünde kutup noktası stereonetin kenarında yer alır. Çizginin diğer tarafında stereonetin  $180^\circ$  kenarı boyunca kutup olarak çizilebilir. Bu iki nokta temelde aynı şeydir ve aynı çizgiyi tanımlar. Devam eden rotasyonda, stereonetin kuzey yarısındaki kutup noktası kaybolur (alt yarıküreden çok üst yarıküreyi deler) ve kutup noktası stereonetin güney yarısında küçük çember hattını izler.

## 2 Kaynaklar

Stereografik çizim yazılımı internette kolayca bulunabilir. Aşağıdaki adreste bulunan Rick Allmendinger'in Stereonet yazılımını inceleyiniz.

<http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/maintext.html>

Rod Holcombe'un GEORient yazılımı da gelecek vaat etmektedir.  
(Windows): <http://www.holcombe.net.au/software/index.html>

## 3 Alıştırmalar

Her bir problem için çizimde yaptığınız her şeyi işaretleyebileceğiniz bir aydınlatıcı kullanmanız gerekmektedir. Stereonetin dış çizgisini çizdiğinizden ve yönleri işaretlediğinizden emin olunuz. Cevabınızı açık bir şekilde verdiğinizden ve yaptığınızı başka birinin anlaması için gerekli noktaları da belirttiğinizden emin olunuz.

### 3.1 Temel işlemler

1. Aşağıdaki düzlemleri büyük çember ve kutup noktası şeklinde çizerek işaretleyiniz. Kadran veya eğim/eğim doğrultusunu, önce azimuta ve sağ el kuralına dönüştürün.

- (a) K20B/40B
- (b) 065/90
- (c) K5D/10D
- (d) 030'a doğru 70 eğimli
- (e) Yatay düzlem

2. Aşağıdaki çizgileri çizerek işaretleyiniz. (doğrultu ve dalım):

- (a) 20/G45D
- (b) 00/322
- (c) 60/G85B
- (d) Düşey çizgi

3. Aşağıdaki düzlemleri ve beraberindeki çizgileri çiziniz. Her çizginin doğrultusunu ve dalımını bulunuz.

- (a) K30D doğrultulu ve 45B eğimli düzlem; rake/pitch açısı 30K olan çizgi (düzlemin kuzey ucundan 30° aşağı)
- (b) Düzlem 075/20; çizgi rake veya pitch doğudan 18°.
- (c) Düzlemin doğrultusu K15B ve eğimi 50B; çizgi rake veya pitch 90B.

4. 15° dalım ve 334 doğrultulu kutup noktası etrafında aşağıdaki çizgileri 30° saat

yönü tersinde döndürünüz.

(a) 312'ye doğru 42 dalım

(b) Dalımı 23, doğrultusu K20D

(c) 42—210

5. Kurşun kalem ve kağıt veya indirilen stereonet programını kullanarak Beaver-tail noktasından alınan ölçümleri çiziniz. Önce herkesten alınan tüm ölçüleri birleştirmek zorundasınız. Tabaka, klivaj ve kıvrım eksenlerini birbirlerinden ayırınız. Farklı türdeki ölçümler arasında herhangi bir ilişki var mı? Var olduğunu ümit ediyorum.

### 3.2 Problem çözme

1. a. Bir tortul kayaçtaki tabakalanma K35B doğrultulu ve 60GB eğimine sahiptir. Bu yüzeyi düzlem ve kutup noktası olarak çiziniz. b. (a)'daki tabaka üzerinde 32KB pitch açısına sahip tane yönlenmesine ait doğrultuyu çiziniz. c. Küçük kıvrımın tepe çizgisinin dalımı  $46^\circ$  ve doğrultusu K68D'dur. Kıvrım tepe çizgisini çiziniz. d. Tane yönlenmesi doğrultusu ve kıvrım tepe çizgisi olan düzlemin konumunu (doğrultu ve eğim) bulunuz. Bu düzlem neden ilginçtir?

2. Doğrultusu K75B (F1) olan düşey yüzlekte tabakanın görünür eğimi (B) 23B'dir. İkinci düşey yüzlekte (F2) kuzeye doğrultuya sahiptir ve B tabakasının görünür eğimi 16G'dir. B'nin gerçek doğrultu ve eğimi nedir?

3. K18B doğrultulu ve 16GB eğimli bir damar (V), K70D doğrultulu ve 87G eğimli bir fayı (F) kesmektedir. F ve V'nin kesişimi sonucu oluşan çizginin doğrultusu ve dalımı nedir?

4. Sondaj kuyusunun konumu doğrultu G22D ve dalımı 40'tır. Karot örneğinde, karot eksenini ile tabakalanma arasındaki açı  $60^\circ$  dir. Tabakanın tüm olası konumunu stereonette gösteriniz.

5. İki damar (V1 ve V2), cevher yataklarının iki damar sisteminin kesiştiği bölgede bulunmaktadır. Geçmiş tecrübeler, verilerin büyük bir çoğunluğu yapılan sondajın iki damarı  $90^\circ$  açıyla kesmesi ve damarları keskin bir şekilde ayıran düzlem üzerinde olması durumunda elde edilmektedir. Eğer damar V1 doğrultusu K62B ve eğimi 64KD, V2 doğrultusu K34B ve eğimi 70GB olduğunda sondajın doğrultusu ve eğimi ne olmalıdır?

6. Tabakalanmanın genelde belirsiz olduğu düzenli eğime sahip bir grup tortulda, K15B doğrultulu ve 60GB eğime sahip bir fay kesmiş olduğu konglomera düzeyinde bir atım meydana getirmemiştir. Fayın hareket yönü K87B ve  $59^\circ$  dalımlı fay çizdiği (fay düzlemi üzerindeki uzamış mineraller) ile tanımlanmıştır. Hava fotoğrafından tabakanın genel doğrultusunun K45B olduğu belirlenmiştir. Tabakanın eğimi nedir?

7. Devrik bir kıvrımda düz kanadı oluşturan tabakanın doğrultusu K25D ve eğimi 50KB. Diğer kanadının doğrultusu K24B ve eğimi 70KD'dur. Kıvrım ekseninin dalımı ve doğrultusu nedir? Antiklinal veya senklinal mi? Nedenini açıklayınız.

8. Aşağıdaki veriler üç paralel olmayan sondaj kuyusundan alınmıştır.

Kuyu A: Doğrultu K42D, dalım 65, karot eksenini ve tabaka düzlemi arasındaki açı 45°.

Kuyu B: Doğrultu G60D, dalım 44, karot eksenini ve tabaka düzlemi arasındaki açı 70°.

Kuyu C: Doğrultu G5B, dalım 59, karot eksenini ve tabaka düzlemi arasındaki açı 40°. Tabakalanmanın uniform olduğu varsayıldığında tabaka konumunu bulunuz.

9. K37D doğrultulu ve 32KB eğimli uyumsuzluğun altındaki düz tabaka serisinin doğrultusu K18B ve eğimi 60B'dır. Uyumsuzluğun olduğu zamanda bu tabakaların doğrultusu ve eğimi neydi? Sonuca ulaşabilmek için ne tür bir varsayımda bulunmanız gerekir?

10. Fayın bir tarafındaki dik tabakaların doğrultusu K43D, eğimi 75KB. Fayın diğer tarafındaki dik tabakaların doğrultusu da K74D ve eğimi 54KB'dır. Hava fotoğrafından fayın doğrultusunun K20D olduğu görülür. Fayda rotasyonel hareket olduğu varsayıldığında, a. Fayın eğimi, b. Rotasyondan önce paralel olan, fayın iki tarafındaki çizgi arasındaki açı cinsinden faydaki rotasyonel hareket miktarını bulunuz. (bu çizgilerin rotasyon eksenine dik olmaları gerektiğine dikkat ediniz. )