

Göreceli Yaş Tayini

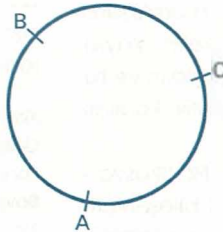


Göreceli yaş tayini, jeolojinin genel bilime yaptığı en önemli katkılardan biri olan derin zaman anlayışının kaynağıdır. Gündelik yaşamda da kullanılan bir kaç basit ilke ve daha da önemlisi derin bir sezgi ile fizikçilerin bile yapamadığını 18 ve 19. yüzyıl yerbilimcileri başarmışlardır.

Ayhan Sol
ODTÜ Felsefe Bölümü
asol@metu.edu.tr

Bir doğru parçasının üzerine işaretleyeceğimiz A, B, C gibi üç nokta arasında çeşitli asimetrik ilişkiler düşünebiliriz. Söz gelimi eğer A, B, C doğal sayılar ise A, B'den küçük ($A < B$), B, C'den küçük ($B < C$) ve dolayısıyla A C'den küçük ($A < C$) diyebiliriz; eğer A, B, C sadece üç harfse A, B'nin solunda B, C'nin solunda ve A, C'nin solunda diyebiliriz; ya da bu doğru parçasının zaman koordinatı olduğunu düşünür ve A, B, C'nin üç doğa olayı olduğunu varsayarsak A, B'den önce, B, C'den önce ve dolayısıyla A'nın da C'den önce olduğunu söyleyebiliriz. (Tüm bu ilişkileri, 'büyüktür,' 'sağındadır' ve 'sonradır' şeklinde de kurabileceğimizi unutmamalıyız.) Bu ilişkileri ilkökul matematiğinden ve günlük hayattan biliyoruz. Ancak bu ilişkilerin asimetrik olmasının ne demek olduğunu kavramamız için biraz daha fazla düşünmemiz gerekebilir.

Asimetrik ilişkilerin tek yönlü olduğunu düşünebiliriz: Şöyle ki, eğer solda olma ilişkisini bir çemberin üzerinde düşünürsek sonuçta A'nın da C'nin solunda olduğunu söylememiz kadar doğru olan sonuç A'nın aynı zamanda C'nin sağında olmasıdır. Öte yandan solda olma ilişkisinde bizim ne taraftan baktığımız da önemlidir. Bakış yönümüzü değiştirdiğimizde (yani doğru parçasına geçip diğer yandan baktığımızda) tüm ilişki tersine döner. Buna göre solda olma ilişkisinin içsel değil dışsal bir özellik olduğunu, yani dışardan bakan bir gözlemciye göre kurulduğunu görürüz. Bu yüzden çember



üzerindeki solda olma ilişkisinin simetrik, doğru parçası üzerindeki ise (dışsallığını unutmuyarak) asimetrik olduğunu söyleyebiliriz. Doğru parçamız üzerindeki üç noktamız arasında tamamen simetrik ilişkiler de düşünebiliriz: A, B'nin yanında, B de A'nın yanında gibi.

Yukarıdaki örneklerimizden küçük-tür ve gençtir ilişkisinin ise asimetrik olduklarını ve bu asimetrimin de içsel bir

özelliğ olduğunu söyleyebiliriz: Şöyle ki, bizim harflerin üzerinde olduğu doğru parçasına bakış açımızdan bağımsız olarak bu ilişkiler tek yönlüdür. Diğer bir deyişle, A, B'den küçükse nereden bakarsanız bakın yalnızca A, B'den küçüktür. Ancak genç olma ilişkisi solda olma ilişkisi gibi bir çember üzerinde düşünüldüğünde (çünkü zamanın döngüsel olduğunu düşünmek ne fizik yasalarına ne de mantık yasalarına aykırıdır) simetriktir. (Buna şöyle bir itiraz yapılabilir: Eğer bu döngüsel zamanın dışından bunu doğrusal bir zamanla ölçen bir saat olsaydı o zaman bu simetri ortadan kalkardı.) Ancak biz genç olma ilişkisini küçük olma ilişkisi gibi asimetrik bir ilişki olarak düşünmekteyiz, çünkü zamanı doğrusal olarak düşünmek (en azından günümüzde) daha yaygın bir yaklaşımdır.

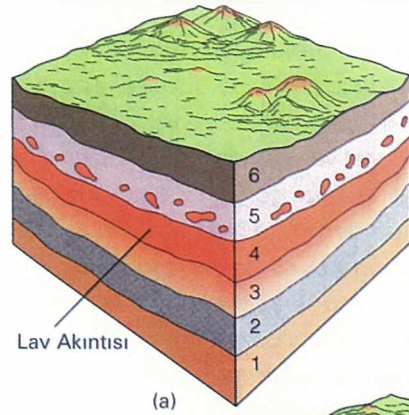
Hem 'küçüklük' hem de 'öncelik' ilişkisinde ancak ve ancak nesnelere arasında birbirlerine göre bir ilişkiden söz edebiliriz. Başka bir deyişle, eğer B'nin mutlak değerini (söz gelimi boyunu, kilosunu veya yaşını) bilmiyorsak, A'nın B'den küçük veya önce olmasından A'nın "mutlak" değerini (boyunu, kilosunu veya yaşını) belirleyemeyiz. Benzer şekilde eğer birinin diğerinden ne kadar kısa, küçük ya da genç olduğunu bilebilsek de ne birinin ne de diğerinin boyu, kilosu veya yaşı hakkında bir şey söyleyemeyiz. Bu son söylediğimiz gerçekten doğru mu acaba?

Jeoloji tarihi ilkece olanaksız olan bir durumdan bazı ek malumatların da yardımıyla yeryuvarının yaşı hakkında bazı zekice tahminler yapmış yerbilimcilerden söz etmektedir. Bunun öyküsünü jeolojik nesnelere göreli yaşlarının (yani öncelik sonralık ilişkisinin) en temel ilkelerini ele aldıktan sonra görelim.

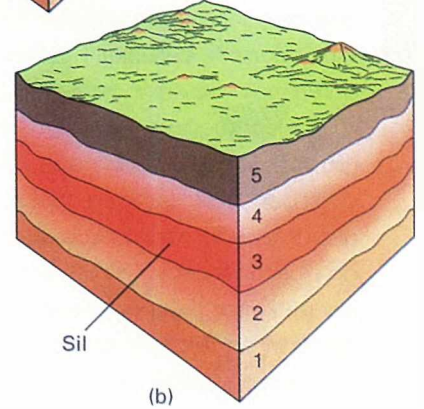
Göreceli Yaş Tayininin Temel İlkeleri

Tabakalı kayaçların göreceli yaşlarını ölçmeye yarayan bu son derece basit ilke ancak onyedinci yüzyılda Nicolas Steno (1638-1686) tarafından formüle edilebilmiştir. (Daha fazla bilgi için bu sayıdaki "Malta Beşiği" ve "Kati İçinde Kati" yazılarına bakınız.) Steno'nun meşhur Süperpozisyon İlkesi şöyle der: İki kayaç tabakasından altta olan üstte olandan daha yaşlıdır. Bu ilke ilk bakışta gündelik süperpozisyon ilkesinden bir farklılık göstermez ve bunun keşfedilmesi için neden onca yüzyıl beklendiğini de açıklamaz. Ancak jeolojik süperpozisyon ilkesi üzerinde dikkatlice düşününce gündelik ilke ile jeolojik ilke arasında önemli farklılıklar olduğunu görürüz.

Günlük yaşamda bu ilke çoğunlukla doğru olsa da ve biz bunu neredeyse düşünmeden kullansak da istisnalar çok yaygındır. Masamın üzerinde gelişigüzel üst üste yığıldığım kitaplarıma bu ilke uygulanabilir gibi görünmekte. Sanırım alttaki kitapları üsttekilerden daha önce



(a)



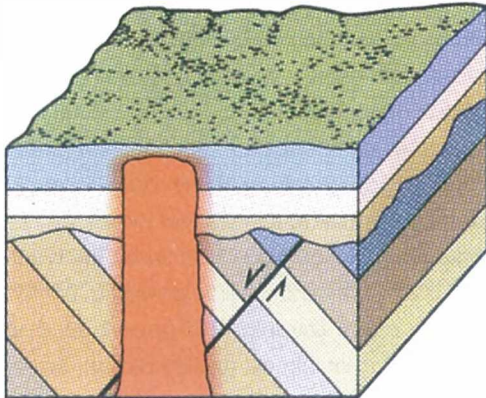
(b)

Lav akıntıları, siller ve ilişkili çökel kayaçların göreceli yaşlarını saptamak zor olabilir. (a) Tabaka 4 ile gösterilen gömülü lav akıntısı alttaki kayacı pişirdiği için ve tabaka 5 ise lav akıntısının parçalarını içerdiği için lav akıntısının tabaka 3'den genç ama 5 ve 6'dan yaşlı olduğunu söyleyebiliriz. (b) Tabaka 3'deki sil hem üstteki hem de alttaki tabakaları pişirdiği için 2 ve 4 numaralı tabakalardan gençtir.

koydum oraya. Bu iddiamın doğru olma olasılığı var, belki epeyce de yüksek, ancak hiç kimse kitaplarıma üst üste koyduktan sonra bir gün bunların hepsini alt üst etmediğimi söyleyemez. Diğer bir deyişle, benim böyle bir şey yapmış olduğuma engel bir "kanun" olduğunu söyleyemez. Peki Steno'nun yukarıda formüle ettiğimiz ilkesinin de benzer bir zaafı var mı? Üst üste yığılmış (çökelmiş) tabakaların alt üst edilmelerinin yeryuvarının geçmişinde pek de ender olaylardan olmadığını biliyoruz. O halde Steno'nun ilkesi açıkça yanlış. Bu yanlış ilkenin jeolojinin en temel ilkelerinden biri (hatta en temel ilkesi) olarak kabul edilmesi çok şaşırtıcı. O halde bu ilkeyi biraz sınırlandırmalıyız: Tektonik vb. olaylar nedeniyle düzeni bozulmamış tabakalardan altta olanlar üstte olanlardan daha yaşlıdır. Şimdi bu ilkenin doğru olduğunu yani her tür tabakalı kayaç için geçerli olduğunu düşünme hakkımız var gibi. Söz gelimi, alttaki bir lav akıntısı da üstündeki lav akıntısından yaşlıdır diyebiliriz. Böylece bu ilkenin sadece çökel kayaçlar için geçerli olmayıp bazı magmatik kayaçlar için de geçerli olması, ilkemizin genelliği açısından iyi bir gelişme. Ama durum pek de görüldüğü gibi olmayabilir. Söz gelimi magmatik sokulum kayaçla-

rından olan sillerin bu ilkeye aykırı bir durum oluşturduğunu anlamak için uzman olmak gerekmiyor çünkü sillerin oluşan kayaçların içine, tabaka yüzeyleri boyunca da, gelip yerleştiğini biliyoruz. Bu durumda bir sil hemen altındaki ve üstündeki tabakalardan daha gençtir. Oysa ki ilkemize göre üstündekinden genç olması söz konusu değildi. O halde ilkemizi biraz daha daraltmak zorundayız. Bu daralmadan çok memnun değiliz kuşkusuz ama yine de elimizde lav akıntıları ve çökel kayaçların düzeni bozulmamış olanlarının hepsi var. Ancak aklımıza mağara oluşuklarından sarkıtlar gelince canımız iyice sıkılabilir, çünkü sarkıtlar tektonik vb. nedenlerle düzenleri bozulmamış çökel kayaçlardan olmalarına karşın yine de ilkemize uymazlar çünkü sarkıtlar mağara tavanlarından damlayarak ince tabakalar oluşturduklarından alttaki tabakalar yaşlı değil gençtirler. Kuşkusuz günlük hayatta da herhangi bir kapalı bir mekanda buharlaşma yoluyla tavana oluşan tabakalar için bu ilke geçerli olmayacaktır. Her ne kadar daha söylenecek çok söz olsa da stratigrafinin en temel ilkesi olan Steno'nun meşhur Süperpozisyon İlkesinin sınırlarını belirledik.

Bir diğer ilke ise Kesişme İlişkisi İlkesidir. Bir intrüzyon veya kırık (çatlak, fay, vb.) kestiği kayaçtan daha gençtir. Bunun ilk kez James Hutton (1726-1797) tarafından formüle edildiği söylenebilir. Bu ilke de Süperpozisyon İlkesi gibi gündelik kesişme ilişkisi ilkesiyle büyük bir paralellik gösterir bir farkla: Bir duvara çaktığınız çivinin kendisi zorunlu olarak duvardan daha genç olması (daha sonra imal edilmiş olması) gerekmez, ancak çivi çakma olayı duvarın İnşa edilmesinden daha sonradır diyebiliriz. Oysa ki intrüzyonların "imalatı" ile "sokulumu" eş zamanlıdır. Kuşkusuz doğada da katı halde sokulumun olanaksız olmadığını belirtmeliyiz. Bu durumda sokulan kayaç daha yaşlı olabilirse de (gündelik ilkedeki gibi) olay daha genç olacaktır. Bu nedenle kesişme ilişkisi ilkesi yalnızca kırık-



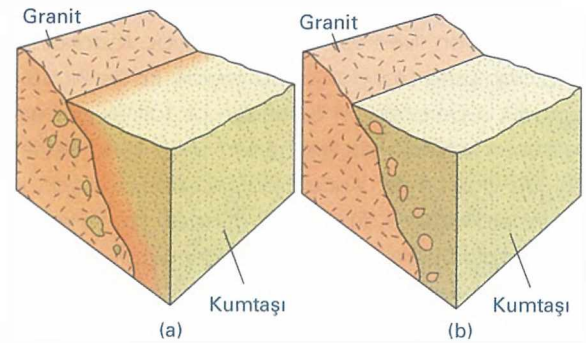
Fay ve sokulumla gösterilen kesişim ilişkisi.

ları ve magmatik sokulumları kapsamaktadır.

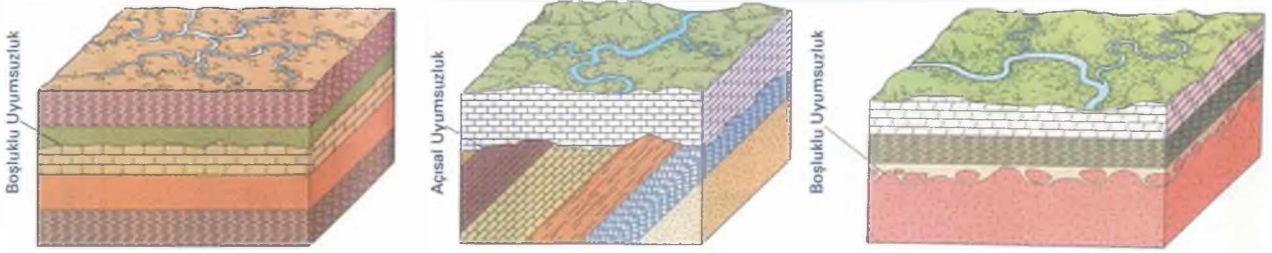
Üçüncü ilke ise İçerme/İçerilme İlkesidir. Bir başka kayacın parçacıklarını içeren kayaç içerdiği parçacıkların geldiği kaynak kayaçtan daha gençtir. Bu ilişki hem magmatik ve çökel kayaçların kendi aralarında hem de birbirleri arasında geçerli olabilir. Kuşkusuz burada içermeyi sokulumları kapsamayacak şekilde yorumlamamız gerekmektedir. Yani bu ilke bir kayacın içerdiği sokulumu içerme ilişkisi olarak görmemektedir.

Kayaç ilişkilerinin yanında kayaç-fosil ve fosil-fosil ilişkileri de göreceli yaşlandırmanın en önemli ilkelerini vermektedir. Eş zamanlılık ilkesi olarak formüle edebileceğimiz bir ilke aynı fosilleri içeren kayaçların aynı yaşta olduklarını söylerken fosil ardışımı ilkesi ise (süperpozisyon ilkesiyle birlikte) fosil gruplarının zaman içinde birbirlerini izlediklerini ve altta bulunan tabakalardaki fosillerin üstte bulunanlardan yaşlı olduğunu söyler. Bu ilkeden yararlanarak da fosiller ile bulunduğu kayaçlar arasındaki eş zamanlılık ilkesiyle süperpozisyon ilkesinin doğrudan kullanılmadığı durumlarda göreceli yaş ilişkileri fosiller aracılığıyla belirlenebilir ve farklı mekanlardaki tabakaların birbirleriyle korelasyonu sağlanır.

Son olarak söz edebileceğimiz diğer ilkeler ise ilk kez James Hutton tarafından tanımlanan uyumsuzluklara dayanır. Bir uyumsuzluğun altındaki kayaçların oluşumuyla bunların üstündeki tabakaların çökmesi arasında zaman boşluğu vardır. Bu boşluk esnasında eğer tabakalar kıvrılıp bükülüp daha sonra da erozyona maruz kaldılar ve üstteki tabakalarla arada bir açı oluştuysa "açısal uyumsuzluk"; eğer sadece erozyonun sürdüğü bir boşluk söz konusuysa "boşluklu uyumsuzluk" denir. Boşluklu uyumsuzlukta altta aşınan kayaçlar sedimanter (disconformite) ya da magmatik/metamorfik (nonconformity) olabilir.



(a) Batolit kumtaşından gençtir çünkü kumtaşı dokanakta pişirmiştir ve granitin içinde kumtaşı parçacıkları bulunmaktadır. (b) Kumtaşı içindeki granit parçacıkları kumtaşının daha genç olduğunu gösteriyor.



Oluşum şekillerine bağlı uyumsuzluk türleri.

Yerkürenin Yaşı

Radyoaktif elementlerden yararlanarak dünyanın mutlak yaşını tespit edene kadar yerbilimcilerin elinde sadece yukarıda kısaca değindiğimiz ilkeler vardı. Ancak ondokuzuncu yüzyılda yerkürenin yaşı ile ilgili çok yoğun bir tartışma yaşandığında ve fizikçilerin mutlak yaş ölçmek için radyoaktivite dışı başka yöntemleri olmasına rağmen yerbilimciler haklı çıktılar. Bu nasıl mümkün oldu?

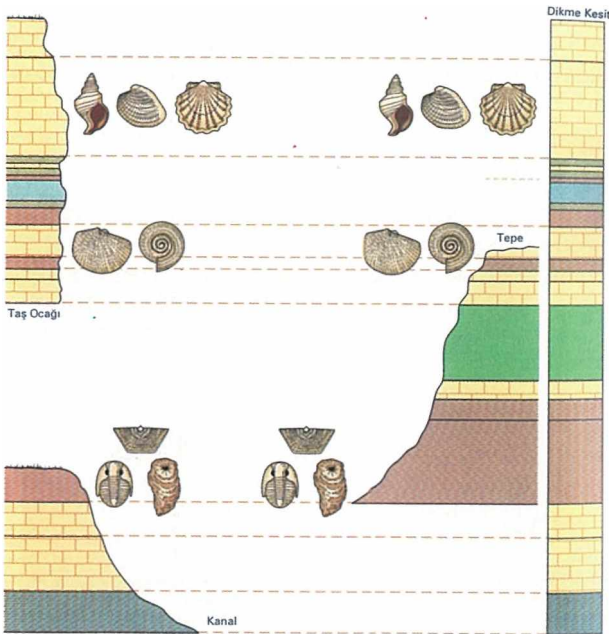
Lord Kelvin (1824-1907) ondokuzuncu yüzyılın en etkili bilimcilerindendi. Termodinamiğin ilkelerinin geliştirilmesinde çok önemli katkıları olmuştu. Bu ilkelerden yararlanarak ve yeryuvarının çok sıcak bir durumdan başlayarak düzenli bir şekilde soğuduğunu varsayarak yeryuvarının yaşını önce 20-400 milyon yıl ve sonra 20-40 milyon yıl olarak hesapladı. Bu hesap yerbilimcilerin tahminlerinin çok altındaydı ama Kelvin'in elinde kendini kanıtlamış fizik biliminin ilkeleri varken yerbilimcilerin elinde sadece yukarıda değindiğimiz ilkeler vardı. Kelvin'in hesapları

neredeyse yerbilimci olmayan herkesi inandırdı.

20 milyon yıllık bir süre yerbilimciler için yeterli değildi çünkü bu sürede ancak Werner'in (1749-1817) neptüncü kuramının öngördüğü bir yeryuvarı tarihi geçerli olabilirdi. (Werner ve neptüncülük hakkında daha fazla bilgi için Mavi Gezegen'in ikinci sayısındaki "Modern Jeolojinin Doğuşu" yazısına bakınız.) Öte yandan Charles Darwin'in (1809-1882) evrim kuramının geçerli olabilmesi için yüzlerce milyon yıl gerekiyordu. (Bu nedenle Darwin yerbilimcilerden yanaydı.) Ayrıca günümüzde izlenebilen jeolojik olayların ne kadar yavaş olduğunu bilen ve kilometrelerce kalınlıktaki kayaçların anlamını kavrayabilen yerbilimciler tüm bu kayaçların çok kısa bir sürede oluşabileceğine inanmıyorlardı. Çünkü bu, geçmişteki jeolojik süreçlerin bugünkünden defalarca daha hızlı olması anlamına geliyordu. Charles Lyell'in (1797-1875) üniformitarianizmi önemli ölçüde kabul görmüştü ve jeolojik süreçlerin hızlarındaki böyle bir farklılık jeolojik akla uymuyordu.

Her ne kadar James Hutton dünyanın yaşı ile ilgili bir tahminde bulunmıyorsa da bu sürenin aklın sınırlarını (o zamanki aklın kuşkusuz) zorlayacak kadar uzun olduğunu düşünen ilk kişiydi. Ancak bunun nedeni Hutton'un elindeki gözlemsel verilerden çok kendi yeryuvarı kuramıydı. Hutton'un "Newtoncu" jeolojisi sürekli işleyen bir yeryuvarı "makinesi" öngörüyordu ve bu makinenin yaşının ne olduğunu düşünmek, onun bir başlangıcı olduğunu düşünmek anlamına geliyordu. Spekülasyon anlamına gelecek böyle bir çaba Hutton'un mekanikçi ağız tadı için hiç de uygun değildi.

Yukarıda kısaca değindiğimiz kuramlar ve gözlemler yerbilimcilerin yüz milyonlarca yılı kavrayabilmelerini mümkün kılıyordu. Diğer bilimcilerde henüz gelişmemiş olan bir mesleki sezgi "derin zaman" kavrayışına uygun bir zemin oluşturmaktaydı. Derin zaman anlayışı jeolojinin genel bilime yaptığı en büyük katkı olarak da düşünülebilir. Göreceli yaş tayininin ilkeleri gibi bir kaç küçük araç ve iyi bir sezginin neler yapabileceğini gösterdiği için bu katkının jeoloji tarihinde benzersiz bir yeri vardır.



Fosil ardışımı ilkesinin uygulanması. Farklı yerlerde bulunan tabakaların fosiller yardımıyla tanınması ve bu istiflerden bir dikme kesitin elde edilmesi.