

BASINÇ-ÇEKME VE KESME KUVVETLERİ ALTINDAKİ DEFORMASYONLARIN KİL MODELLERDE İNCELENMESİ

Erkan TANYOLU

D.M.M. Akademisi, Zonguldak

ÖZ. — Bu çalışmada, tektonik yapı ile bu yapıya etkiyen faktörler arasındaki ilgiyi saptamak için, tabiattaki tektonik olaylar laboratuvarında kil modeller ile yapılmıştır. Kesme ve basmç-çekme kuvvetleri altında yapılan bu deneylerde akıcı ve kırıklı deformasyonlar, bunların birbirlerine etkileri kalitatif ve kantitatif olarak incelenmiştir. Tektonik yapıyı, deformasyon türünün değil, fakat anizotropinin etkilediği saptanmıştır. Bundan başka, şimdiye kadar sanıldığı gibi aksine, tek kırık sisteminin yalnız kesme kuvvetleri altında değil, aynı zamanda basmç-çekme kuvvetleri altında da oluşabileceği ispatlanmıştır. Çalışmanın amacı, her iki deformasyon türünde oluşan tektonik yapı özelliklerinden faydalanarak, tabiatta bu özelliklerle deformasyon türünün saptanma olanağının araştırılmasıdır.

1.1. GİRİŞ

Tabiatta uzun zamanlar önce ve boyunca meydana gelmiş tektonik hareketlerin yapı ve özelliklerini yalnız arazi etütleri ile tam olarak saptamak mümkün değildir. Biz, tabiatta bu hareketlerin ancak bir kısmını ve genellikle yalnız son safhalarının izlerini görürüz. Aslında bunlar fazla kıymet ifade etmezler, çünkü çeşitli deformasyonlar sonunda benzer, hatta aynı tektonik yapı oluşabilir. Örneğin, bir küreden üç eksenli bir elipsoit kesme veya basmç-çekme kuvvetleri altında oluşabilir (Şek. I).

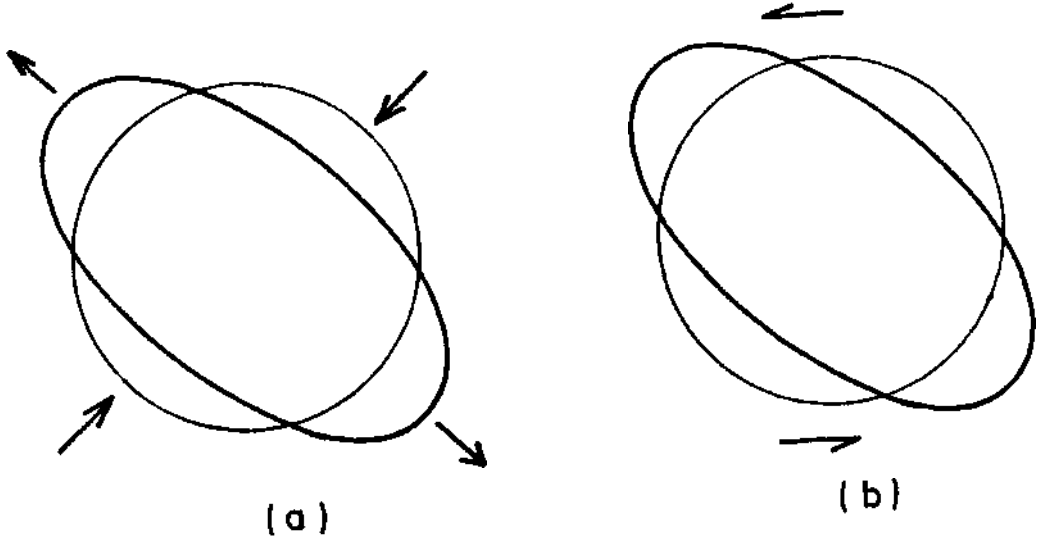
Şu halde tektonik olayları, onların oluşturduğu yapı şekillerini, özelliklerini, deformasyon koşullarını açıklayabilmek için görünen tek çözüm yolu, lâboratuvar deneyleridir. Bu konuda bugüne kadar çeşitli kalitatif çalışmalar yapılmışsa da, kantitatif çalışmalar yok denecek kadar azdır. Kalitatif deneylerde önce yapıya etkiyen faktörler saptanır ve sonra sırasıyla bunlardan biri değiştirilerek diğerleri sabit tutulup değişken faktörün etkisi incelenir, bir çözüm yolu aranır.

Tabiatta rastladığımız deformasyonların çoğu basmç-çekme (rombusal simetrlili) ve kesme kuvvetlerinin (monoklinal simetrlili) etkisi altında oluştuklarından, bu iki deformasyon türü çalışma konusu olarak seçilmiştir.

Deneylerin birinci safhalarında yalnız «akıcı deformasyon», ikinci safhalarında ise «akıcı ve kırıklı deformasyonlar ayrı ayrı incelenmiş, bunların birbirlerine etkileri araştırılmıştır.

Yerkabuğunun özelliklerine en uygun maddenin kil ve su karışımı olduğu, gerek kendi ve gerek diğer ilim adamlarının (örneğin, H. Cloos, 1928) deneyleri sonunda saptandığından, çalışmalarımızda modeller kaolin ve su karışımından hazırlanmıştır.

K. Hubbert'in (1937) «boyut analizi» teorisine göre, deformasyona etkiyen faktörlerde (boyut, zaman, direnç vb.) IO^5 ölçeğiyle yapılan küçültme hesapları sonuçları, kaolin-su karışımından yaptığımız modellerle yerkabuğu arasındaki benzerliğin yakınlığını doğrulamıştır. Deneyler, R. Hoepfener (1969) tarafından geliştirilen Bochum deformasyon masasında yapılmıştır.



Şek. 1 - Homojen ve izotrop bir küreden (a) basınç-çekme kuvvetleri, (b) kesme kuvvetleri altında aynı elipsoitin oluşumu.

1.2. ELASTİK, DAİMİ, AKICI VE KIRIKLI DEFORMASYONLAR

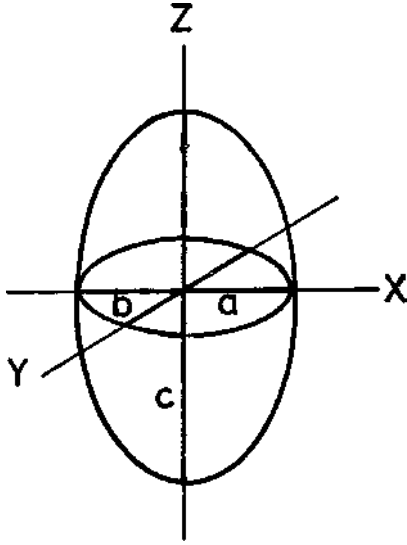
Homojen ve izotrop cisimleri oluşturan yapı elemanları normal durumlarda bir denge halinde bulunurlar. Dış bir kuvvetin etkisi, yapı elemanları ve denge durumlarını bozmaya zorlar. Yapı elemanlarının düzenini korumak için cismin içinde gerilmeler meydana gelir. Cismin boyutlarındaki herhangi bir uzama veya kısalmaya karşı koyan gerilmelere «çekme» veya «basınç gerilmeleri» denir ve σ ile gösterilirler. Yanal bir şekil değişimine karşı koyanlara da «teğetsel gerilmeler» denir ve T ile gösterilirler. Dışarıdan etkiyen kuvvet uzaklaştıktan sonra, cisim eski haline dönerse, buna «elastik deformasyon» denir. Fakat hiç bir madde sınırsız olarak elastik özellik gösteremez. Cisme dışarıdan etkiyen kuvvetler belli bir maksimum değeri aşınca, kuvvetin uzaklaşmasından sonra da cisim eski haline dönemez. Bu bir «kalıcı deformasyon»dur. Elastik deformasyonla kalıcı deformasyonun sınırına, o cismin «akma noktası» veya «akma sınırı» denir. Akma sınırı aşıldıktan sonra, cisim bir müddet akıcı deformasyonla şekil değişimine uğrar, fakat bu esnada herhangi bir çatlak ve kırık görülmez. Deformasyonun devamı halinde, belli bir noktada etken kuvvet cismin direncine ulaşır ve bu andan itibaren cisimde çatlak ve kırıklar oluşurlar. Kırıkların oluşumuyla akıcı deformasyonun hızı azalır ve bir zaman sonra tamamen durur. Bu anda kırıklı deformasyonun değeri, toplam deformasyonun değerine ulaşmıştır.

1.3. BASINÇ-ÇEKME KUVVETLERİ ALTINDA (ROMBUSAL) DEFORMASYONLAR

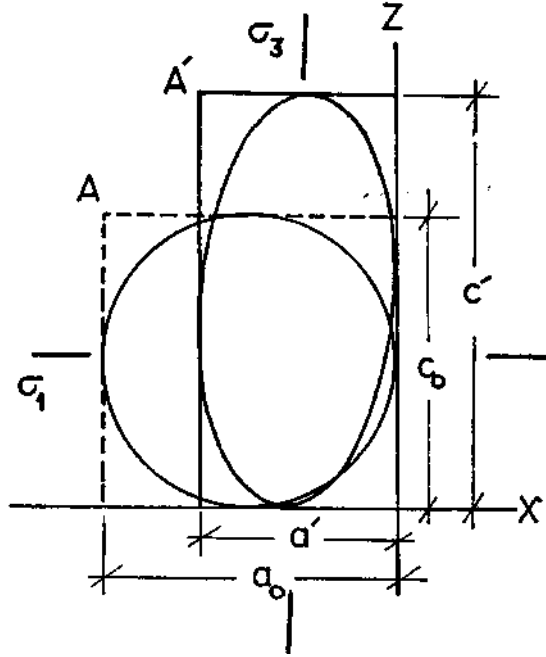
Bu tür deformasyonlarda, rombusal simetrlili basınç-çekme kuvvetleri altında, homojen ve izotrop bir küreden üç eksenli bir elipsoit oluşur, a , b , c elipsoitin eksenleri, x , y , z dik eksenli koordinat sistemi olduğuna göre:

$c > b > a$ ve $c//z$, $b//y$, $a//x$ dir (Şek. 2).

Deformasyon esnasında elipsoitin eksenlerinin yönleri x , y , z eksenlerine göre sabit kalır, yalnız boylarda değişimler olur. Deformasyonu bir düzlem üzerinde inceleyebilmek için, elipsoitin b eksenini sabit tutmamız gerekir. Bu durumda deformasyonun her anında $a.c =$ sabittir.



Şek. 2 - Rombusal deformasyonda eksenlerin durumu.



Şek. 3 - Rombusal deformasyonun oluş şeması.

Deformasyon safhalarını, elipsoitin eksenlerindeki değişim miktarının, başlangıç uzunluklarına oranı/le ifade edersek:

$$e_1 = \frac{a' - a_0}{a_0} = \frac{\Delta a}{a_0} \text{ ve}$$

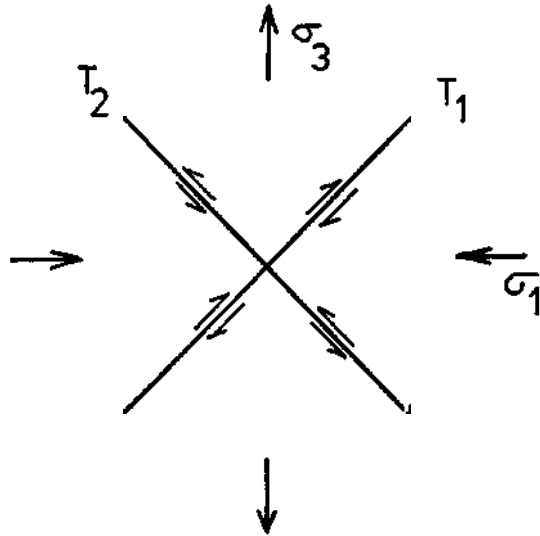
$$e_3 = \frac{c' - c_0}{c_0} = \frac{\Delta c}{c_0} \text{ olur.}$$

Burada a_0 , c_0 elipsoitin en küçük ve en büyük eksenlerinin başlangıç uzunlukları, a' , c' ise aynı eksenlerin deformasyondan sonraki uzunluklarıdır (Şek. 3).

Akıcı deformasyonun hızını, başlangıçta daire olarak tarif edilen deformasyon σ_3 daire olarak tarif edilen deformasyon σ_1 elipslerinin küçük eksenlerinin, büyüğüne oranı ile ($q = a/c$) inceleyeceğiz. Bu deformasyon esnasında bir «iç rotasyon» olduğundan, xz düzlemindeki herhangi bir doğrunun iç rotasyonu:

$$\tan \alpha' = (a/c). \text{ Tan } \alpha \text{ olur.}$$

Burada α iç rotasyonu hesaplanacak doğrunun x eksenine ile deformasyondan önce yaptığı açı, α' ise aynı açının deformasyondan sonraki değeridir. Biz iç rotasyonu, başlangıçta x eksenine



Şek. 4 - Rombusal deformasyonda gerilmelerin durumu.

ile 90° yapan daire σ_1 çapının yön değişimi ile inceleyeceğiz. Rombusal deformasyonda iki adet maksimum kesme düzlemi (Şek. 4 te T_1 ve T_2) mevcut olup, bu düzlemler teorik olarak en büyük basınç gerilmesi (σ_1) ile 45° yaparlar.

1.4. KESME KUVVETLERİ ALTINDA (MONOKLİNAL) DEFORMASYONLAR

Bu deformasyon türünde monoklinal simetrik kesme kuvvetleri altında, homojen ve izotrop bir küreden, rombusal deformasyonda olduğu gibi üç eksenli bir elipsoit meydana gelir.

Deformasyonu ancak xz düzleminde inceleyebildiğimizden, b eksenini ve dolayısıyla a.c değeri deformasyonun her safhasında sabittir.

Bu deformasyon türünde fark olarak yalnız bir maksimum kesme düzlemi (Şek. 5 te T) vardır ve bu düzlem xy düzlemine paralel, z eksenine diktir. İkinci bir fark, elipsoitin a ve c eksenleri xz düzleminde x eksenine başlangıçta 45° ve 135° yapmakta olup, deformasyonla saatın ters yönünde, yani negatif yönde bir iç rotasyona uğrarlar. Deformasyonun büyüklüğü, başlangıçta yz düzlemine paralel bir düzlemin iç rotasyonunun tanjantı ile ifade edilecektir (Şek. 6), Şöyleki: $\tan \theta = \gamma$.

Monoklinal deformasyonda xz düzlemindeki doğruların iç rotasyonlarını aşağıdaki formül (A. Nadai, 1959) ile hesaplayabiliriz:

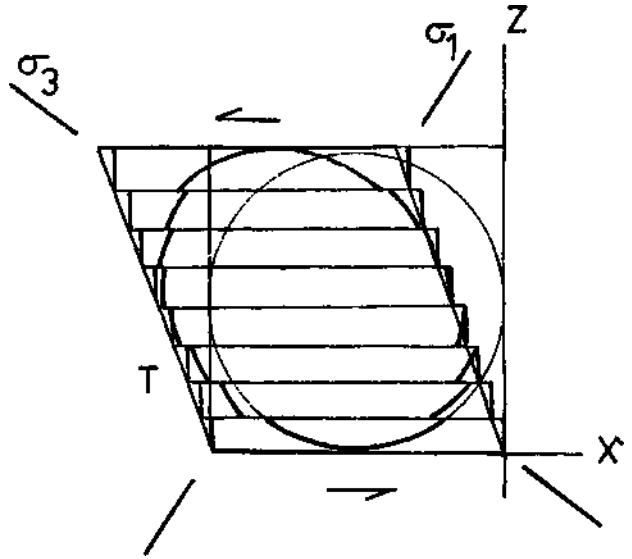
$$\cot \alpha' = \cot \alpha - \gamma$$

Burada α doğrunun deformasyondan önce ve α' deformasyondan sonra x eksenine yaptığı açıyı ifade etmektedir.

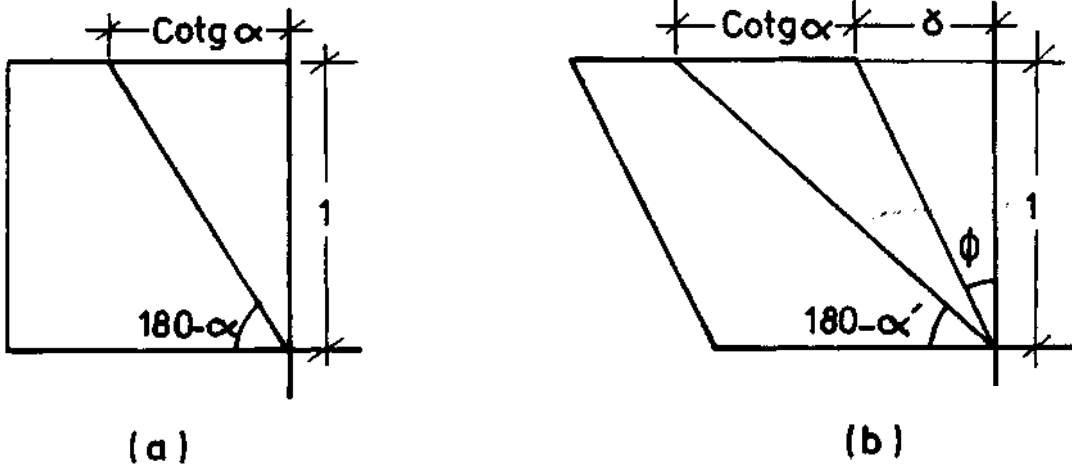
Her iki deformasyon türünü (rombusal ve monoklinal) birbirleriyle karşılaştırmak için, monoklinal deformasyonlarda da akıcı deformasyonun hızını $Q = c/a$ oranıyla iç rotasyonun değişimini, başlangıçta x eksenine ile 135° yapan daire çapının yön değişimleri ile inceleyeceğiz.

Bu karşılaştırmaların deformasyonun aynı safhalarında yapılmaları gerektiğinden, bu safhaların hesabında J. Ramsay'ın (1967) aşağıdaki formülü kullanılacaktır:

$$1 + e_{1,3} = \frac{\gamma \pm \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2}$$



Şek. 5 - Monoklinal deformasyondaki gerilmelerin durumu.



Şek. 6 - Monoklinal deformasyon ve bu esnada meydana gelen iç rotasyonu gösteren şema.

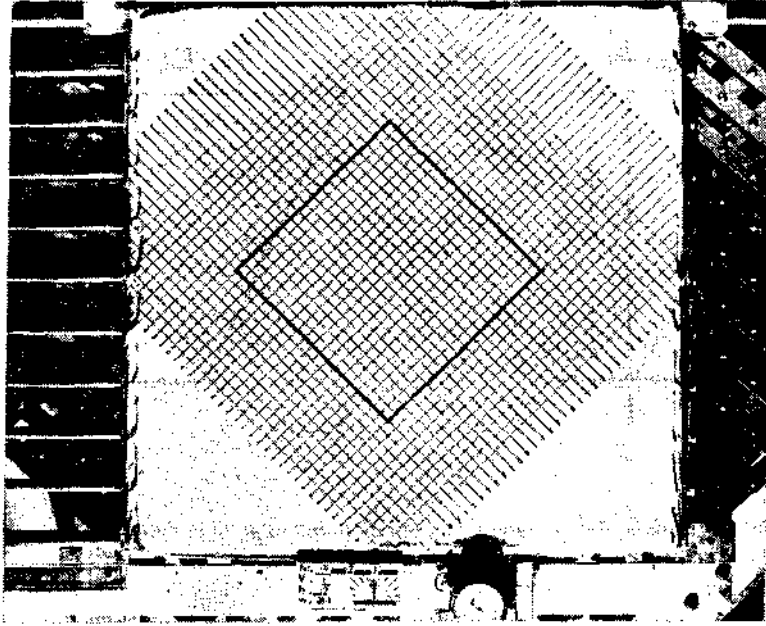
1.5. MODELLERİN HAZIRLANMASI VE DEĞERLENDİRME METOTLARI

% 36 oranında su ve % 64 kaolin, kapalı kaplarda 6-8 saat bırakılır. Kapilarite ile ıslak hale gelen kil önce mikser ve daha sonra e! ile içinde hava kabarcığı kalmayan, homojen bir duruma gelinceye kadar karıştırılır. Deformasyon masasındaki 50x50 cm boyutlu, 2 cm yükseklikteki lastikten hazırlanmış boş kısma taşınan kil çamurunun üst yüzü bir cetvel ile düz ve pürüzsüz bir duruma getirilir. Bu yüzeye ince ve siyah silikat tozuyla özel bir alet vasıtası ve 1 cm aralıklı bir ağ serpmek suretiyle hazırlanır (Şek. 7). 1 cm boyutlu kareler deformasyona paralelkenara, bu karelerin tarif ettikleri içlerine çizilen en büyük daireler de elipse dönüşeceklerdir. «Deformasyon elipsleri» dediğimiz bu elipslerin $q=c/a$ eksenlerinin oranıyla akıcı deformasyonun hızı, en büyük basınç, gerilmesine dik olan c ekseninin yönündeki (α , başlangıçta rombusal deformasyonda x eksenini ile 90° , monoklinal deformasyonda 135° yapar) değişmelerle de iç rotasyon incelenmiştir.

Deformasyonun ileri safhalarında oluşan çatlak ve kırıklar, paralelkenarları keserek takriben 300 paralelkenarın bozulmayan üç kenarının köşelerinin koordinatları elektronik bir aletle 0.01 mm hata sınırı içinde tespit edilerek kompütüre iletilir. Hata dengeleme hesapları kompütürde yapıldıktan sonra, q değeri ordinatta, elipslerin büyük eksenlerinin (c) yönleri (α_r) apsiste ve birbirinin aynı olan elipslerin miktarları apsis ile ordinatın kesim noktalarında belirlenen grafikler elde edilir. Deformasyonun çeşitli safhalarına ait grafikler, akıcı deformasyonu inceleme olanağını verirler.

Toplam deformasyonu (akıcı ve kırıklı deformasyonların toplamı) incelemek için, model yüzeyinin ortasında 20x20 cm boyutlu bir kareden faydalanılır (Şek. 7). Bu karenin tarif ettiği içine çizilen daireden deformasyonla oluşan elipsin $Q=c/a$ eksenlerinin oranıyla toplam deformasyon, c ekseninin yön değişimiyle de rotasyon miktarı incelenmektedir.

Kırıklı deformasyonun etüdü, yukarıda belirtilen toplam deformasyonun incelendiği, başlangıçta 20x20 cm boyutlu homojen alanda yapılmaktadır.



Şek. 7 - Kil modelin üstten görünüşü. Modelin boyutları 50 X 50 X 2 cm dir.

Üst yüzeydeki ağ, silikat tozundan serpilme suretiyle yapılmış olup, çizgilerin arası 1 cm dir. Bu 1 cm kenarlı karelerin tarif ettiği daireler ile akıcı deformasyonu, kenar uzunluğu 20 cm olan karenin tarif ettiği daire ile de toplam deformasyonu inceleyeceğiz.

Değerlendirmeler 20 cm kenarlı karenin sınırladığı alanda (değerlendirme bölgesi) yapıldığından, model kenarlarında oluşan kuvvetlerin deformasyona etkileri önlenmiştir.

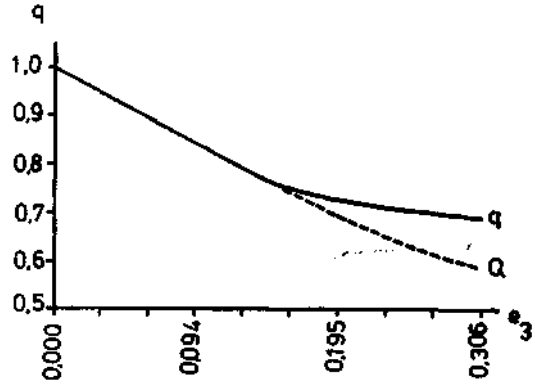
Deformasyonun her safhasında büyüklüğü değişmeyen bu alanda oluşan çatlakların yön ve uzunlukları kompüterle hesaplanarak, çatlak ve kırıkların yönleri apsiste, uzunlukları da ordinatta gösterilen grafikler elde edilmektedir. Deformasyonun birbirini eşit aralarla izleyen çeşitli safhalarındaki grafikler, kırıkların oluşumları, rotasyonları hakkında kalitatif ve kantitatif incelenmeleri olanağını verirler.

II.I. MODELLERİN ROMBUSAL (BASINÇ-ÇEKME KUVVETLERİ ALTINDA) DEFORMASYONLARI

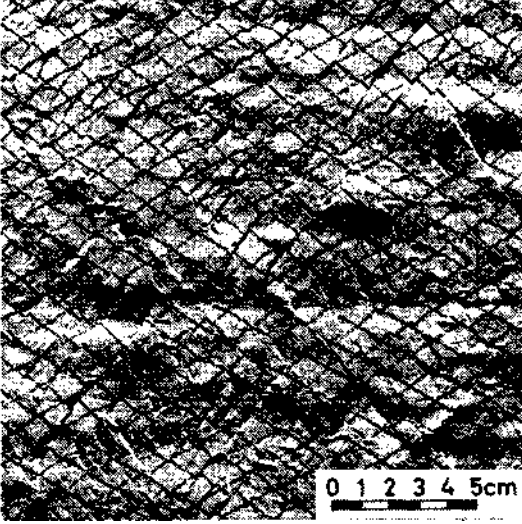
Bölüm 1.5 teki tarife uygun hazırlanan ve üst yüzü σ_1 veya σ_3 (en büyük basınç ve çekme gerilmeleri) yönünde düzeltilen model, Şekil 3 teki gibi rombusal simetriyle deforme edildiğinde, önce yalnız akıcı bir deformasyon görülür. Deformasyonun $e_3=0.161$ safhasına kadar q nün değeri 1.0 den 0.75 e takriben lineer olarak düşer (Şek. 8). Deformasyon $e_3=0.116$ ya ulaştığında ilk çatlaklar gözle görülmesine rağmen, ilk değerlendirmeler ancak $e_3=0.161$ safhasında mümkün olmaktadır. Deformasyonun bu safhasında 32° ve 148° altmda iki çatlak sistemi oluşur. Bu çatlak sistemleri, aralarında 64° lik bir açı yapmakta, maksimum genişleme ve kısalma yönlerine göre simetrik bulunmaktadırlar. 400 cm^2 lik değerlendirme bölgesinde her sistemin toplam uzunluğu 14 cm kadardır. Deformasyonun bu safhasından deney sonuna kadar ($e_3=0.306$) akıcı deformasyon yavaşlar ve $q=0.75$ ten 0.69 a düşer. İç rotasyondan dolayı çatlak ve kırıklar deney sonunda 39° ve 142° altında uzanırlar (Şek. 9), toplam uzunlukları ise 150 cm ye yükselmiştir.

Bu sonuçları teorik hesaplara tamamen uyan toplam deformasyon ile karşılaştırsak, iç rotasyonda önemli bir fark yoktur. Çatlakların bariz oluşumuna kadar akıcı deformasyon ile toplam deformasyon aynı şekilde devam ederler. Daha sonra akıcı deformasyonun hızı azalarak, yerini kırıklı deformasyona bırakır. Q değeri teorik hesaplara uygun olarak deney sonunda 0.59 değerine ulaşırken, q bu değer 0.10 gerisinde, ancak 0.69 a ulaşır (Şek. 8).

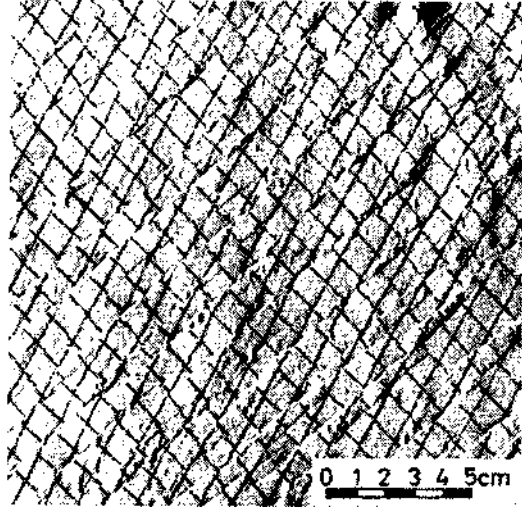
Q ile q arasındaki bu fark, 400 cm² lik değerlendirme alanında oluşan takriben 300 cm uzunluğundaki çatlak ve kırıklar nedeniyledir.



Şek. 8 - Her iki kırık sisteminin takriben eşit olduğu rombusal deformasyonda akıcı ve toplam deformasyonun değişimi.



Şek. 9 - Rombusal deformasyonda iki kırık sisteminin beraberce oluşumu ($e_3 = 0.306$).

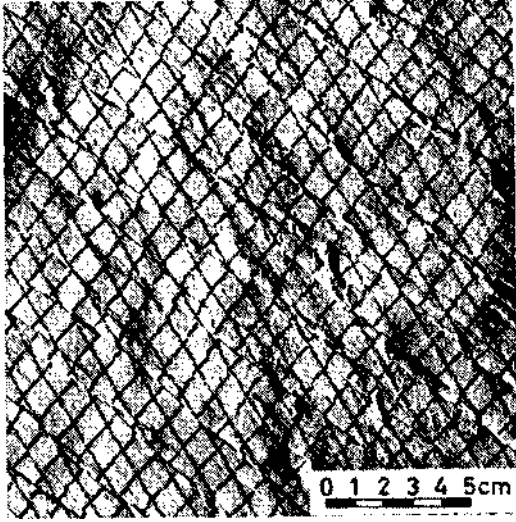


Şek. 10 - Rombusal deformasyonda oluşan birinci kırık sistemi ($e_3 = 0.306$).

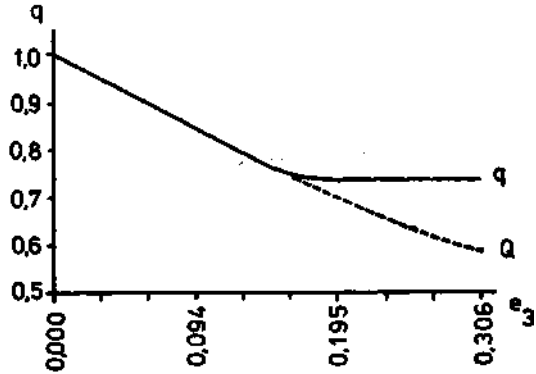
11.2. MODELLERİN ROMBUSAL DEFORMASYONLARINDA ANİZOTROPİNİN TEKTONİK YAPIYA ETKİSİ

Homojen ve izotrop bir maddenin rombusal deformasyonunda II.1 de açıklandığı gibi, birbirine eşit ve simetrik iki kırık sisteminin oluşumu gerekir.

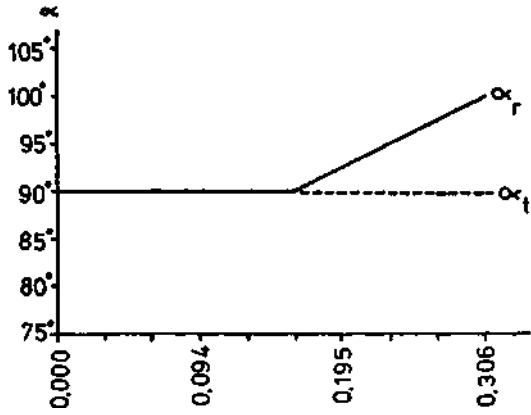
Kil modelin yüzü 45° altmda, takriben oluşumu beklenen çatlak ve kırıkların birinci grubu doğrultusunda düzeltilir ve rombusal deformasyona tabi tutulursa, deformasyonun akışı $e_3=0.161$ e, yani ilk çatlakların bariz bir şekilde oluşmasına kadar, bir önceki deneyde olduğu gibi devam eder (Şek. 12). Bu defa yalnız 32° altmda olan birinci kırık sistemi oluşur ve ikinci sistem görülmez (Şek. 10). q nün değeri $e_3=0.161$ den 0.195 e kadar 0.75 ten 0.74 e düşer ve daha sonra bu değeri deney sonuna kadar korur. Kırıkların oluşumundan sonra deformasyon elipslerinin yönlerinde, teorik hesaplara göre devamlı artan bir fark görülür ve bu, deney sonunda 10° ye ulaşır (Şek. 13). Deformasyon elipslerinin büyük eksenleri teorik hesaplara göre 90° olmaları gerekirken, 100° altındadırlar.



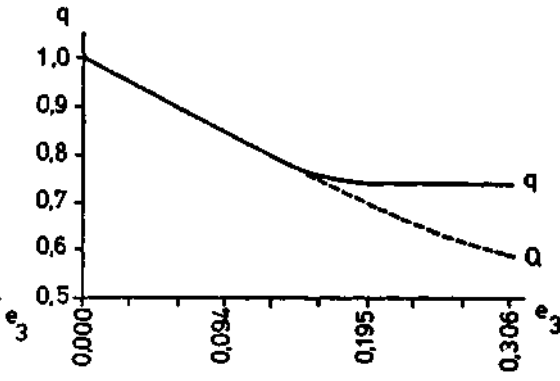
Şek. 11 - Rombusal deformasyonda oluşan ikinci kırık sistemi ($e_3 = 0.306$).



Şek. 12 - Rombusal deformasyonda yalnız birinci kırık sisteminin oluştuğu deneylerde akıcı deformasyonun değişimi.

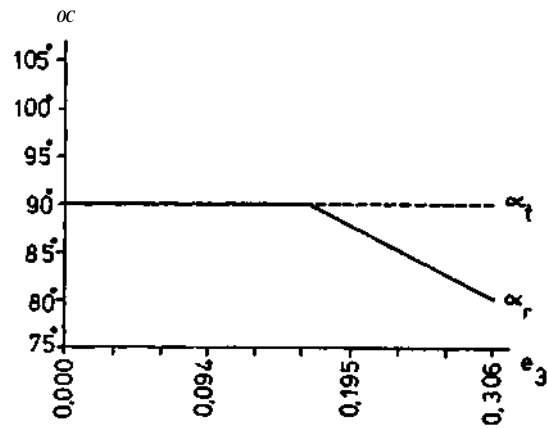


Şek. 13 - Rombusal deformasyonda yalnız birinci kırık sisteminin oluştuğu deneylerde iç rotasyonun değişimi.



Şek. 14 - Rombusal deformasyonda yalnız ikinci kırık sisteminin oluştuğu hallerde deformasyonun akışı.

Kil modellerin üst yüzü takriben ikinci kırık sistemi doğrultusunda, yani 135° altında düzeltilip, rombusal olarak deforme edildiğinde benzer bir deformasyon akışı görülür (Şek. 14). Şu farkla ki, birinci kırık sistemi yerine, 148° altmda uzanan ikinci sisteme ait çatlak ve kırıklar oluşurlar (Şek. 11). Deformasyon elipslerinin teorik ve hakikî yönleri arasındaki fark deney sonunda yine 10° ye ulaşır, ancak bu defa 80° altındadırlar (Şek. 15). Kırık sistemlerinin toplam uzunlukları her iki halde de 350 cm ka-



Şek. 15 . Rombusal deformasyonda yalnız ikinci kırık sisteminin oluştuğu hallerde iç rotasyonun değişimi.

Bu deneylerde iki kırık sistemi yerine yalnız bir sistemin oluşması, kil modelin üst yüzünün düzeltilmesi esnasında, düzeltme yönüne dik bir anizotropi¹ oluşumundandır. Tabiiat-taki kayaçların izotrop olmadıklarını hatırlarsak, kil modellerde elde edilen bu anizotropi, etütlerin daha detaylı yapılması olanağını sağlamaktadır.

11.3. ROMBUSAL DEFORMASYONLARIN SONUÇLARI

Her üç halde, yani yalnız birinci, yalnız ikinci ve her iki kırık sistemi beraberce oluştuğunda, akıcı deformasyon ilk çatlakların bariz oluşumuna kadar ($e_3=0.161$) toplam deformasyona veya teorik hesaplara uygun olarak devam eder. Deformasyonun bu safhasında q her üç halde de 1.0 den 0.75 e takriben doğrusal olarak azalır. Deformasyon elipslerinin büyük eksenleri (c), durumlarını x eksenine dik olarak muhafaza ederler.

Bu safhadan sonra, yalnız bir kırık sistemi oluşan deneylerde akıcı deformasyon hemen hemen durur ve deney sonuna kadar yalnız çatlak ve kırıklar oluşur, gelişirler. Q ile q (teorik ve hakikî değerler) arasındaki fark. deney sonunda 0.15 kadardır.

Her iki kırık sisteminin beraberce oluştuğu hallerde, çatlak ve kırıkların oluşumundan sonra deney sonuna kadar devam eden yavaş bir akıcı deformasyon görülür. Bu deneylerde Q ve q arasındaki fark 0.10 kadardır.

Bu durumu şöyle açıklayabiliriz: Şayet yalnız bir kırık sistemi oluşursa, bunların parçalandığı modelde meydana gelen bloklar yan yana rahatça kayabileceklerinden, bloklarda akıcı deformasyona gerek kalmamaktadır. İki kırık sisteminin oluşumu, iki ayrı yönde blokların parke şeklinde meydana gelmelerini sağlar. Böyle girift bir yapıda blokların yan yana kaymaları tamamen mümkün olamayacağından, bloklarda bir miktar akıcı deformasyonun devamı zorunludur.

Farklı tektonik yapıların oluşumunda, elipslerin iç rotasyonlarının farklı olmalarını da benzer şekilde açıklamak mümkündür. Tek kırık sisteminin oluştuğu modellerde bloklar üzerindeki elipsler, blokları sınırlayan çatlaklarla beraber deney sonuna kadar pozitif veya negatif yönde 10° iç rotasyon nedeniyle dönmektedirler. Oysa en büyük basınç yönüne dik olan büyük eksen doğrultularını korumaları gerekir. İki kırık sisteminin beraberce ve takriben eşit miktarda oluştuğu hallerde, akıcı deformasyon daha uzun zaman devam ettiği için, deformasyon elipslerinin iç rotasyonları, üzerinde buldukları bloklardan daha az olacaktır.

Bundan başka, deformasyon elipslerinden birinci sisteme ait kırıkların sınırladığı bloklarda bulunanlar iç rotasyon nedeniyle negatif yönde, ikinci kırık sisteminin sınırladığı bloklarda bulunanlar pozitif yönde sapacaklarından, birinci ve ikinci sisteme ait kırıkların sınırladığı bloklarda bulunanlar ise hiç sapma göstermeyeceklerinden, deformasyon elipslerinin toplu değerlendirmelerinde ağırlık merkezi teorik hesaplara uyarak 90° altında kalmaktadır.

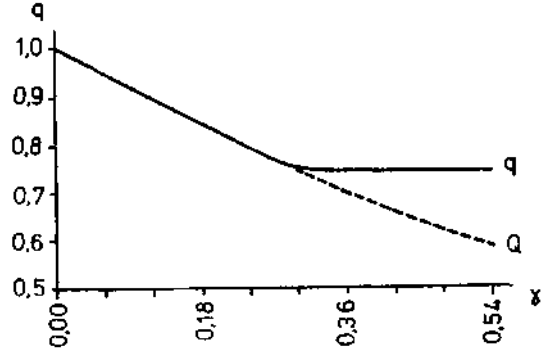
III.1. MODELLERİN MONOKLİNAL (KESME KUVVETLERİ ALTINDA) DEFORMASYONLARI

Bölüm III de rombusal simetriyle deforme edilen modelin benzerini, aynı şartlar altında monoklinal simetrik kesme kuvvetleri ile deforme edersek, her iki deformasyon türünün oluşturdukları tektonik yapıları karşılaştırabiliriz. Yine bölüm II de gördük ki, kil modelin üst yüzünün düzeltilmesi esnasında bir anizotropi oluşmakta ve bu anizotropi tektonik yapıyı etkilemektedir. Şu halde karşılaştırmanın doğru olması için, bu şartın hassas olarak yerine getirilmesi gerekir.

¹ Bu konuda yapılan bir çalışma daha sonra yayınlanacaktır.

Birinci deneyde, Şekil 5 te görülen en büyük ve en küçük gerilmelere (σ_1 ve σ_3) göre oluşumu beklenen her iki kırık sisteminin ilk oluştuğu safhada, açıortayları doğrultusunda modelin üst yüzü düzeltilirse, meydana gelen anizotropi kırık sistemlerinden hiç birine avantaj sağlamayacaktır. Yapılan hesaplarda bu doğrultuların x eksenine ile yaklaşık 40° ve 130° yaptıkları saptanmıştır.

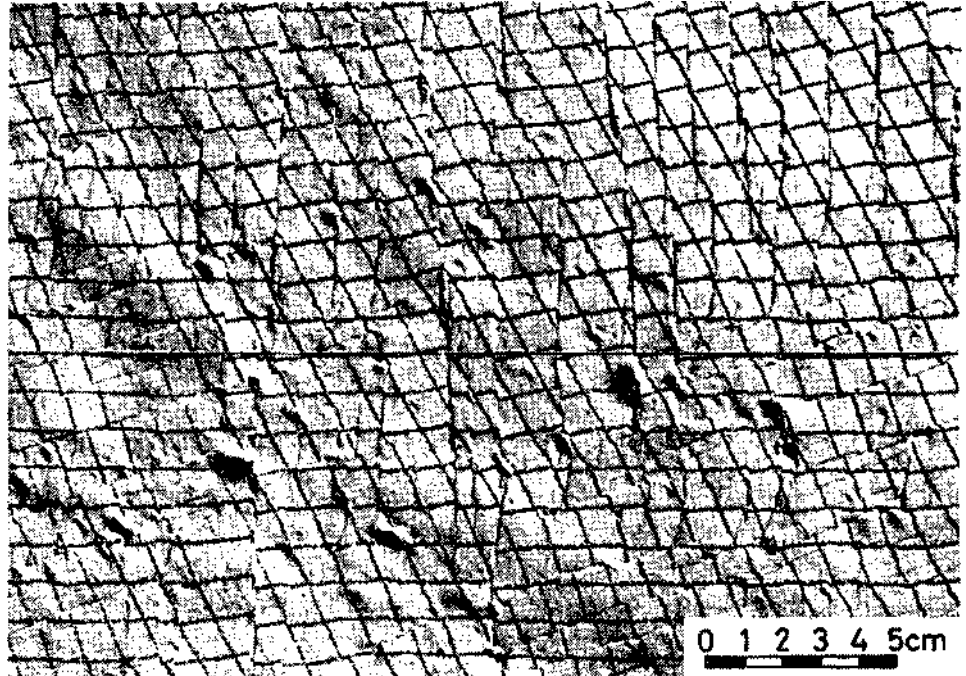
Üst yüzü bu doğrultulardan birine paralel olarak düzeltilen model, diğer şartlar değiştirilmeden monoklinal simetriyle deforme edildiğinde, önce yalnız akıcı deformasyon başlar ve $\gamma=0.30$ a kadar sürer. Bu arada deformasyon elipslerinde $q=1.0$ den 0.75 e düşerken (Şek. 16), büyük eksenleri de iç rotasyon ile 135° den 139° ye kadar dönerler. Deformasyon $\gamma=0.30$ safhasına ulaşıncaya, yaklaşık 18° ve 80° altında uzanan iki çatlak sistemi görülür. Bunlardan x eksenine ile 18° yapanlara H. Cloos'a (1936) atfen «sintetik» (uygun), 80° yapanlara da «antitetik; (aykırı) çatlak veya kırıklar diyoruz (Şek. 17).



Şek. 16 - Monoklinal deformasyonlarda iki kırık sisteminin yaklaşık eşit oluştuğu deneylerde akıcı ve toplam deformasyonun değişimi.

Deformasyonun bundan sonraki kısmında her iki çatlak sisteminin geliştiğini, $\gamma=0.54$ olan deney sonuna kadar sentetik sistemin çatlak ve kırıklarının doğrultularını yaklaşık koruduklarını, fakat antitetik kırıkların 12° kadar negatif yönde döndükleri görülür (Şek. 17).

Çatlak ve kırıkların toplam uzunlukları deney sonunda değerlendirme bölgesinde 300 cm kadardır.



Şek. 17 - Monoklinal deformasyonda oluşan sentetik ve antitetik kırıklar ($\gamma = 0.54$).

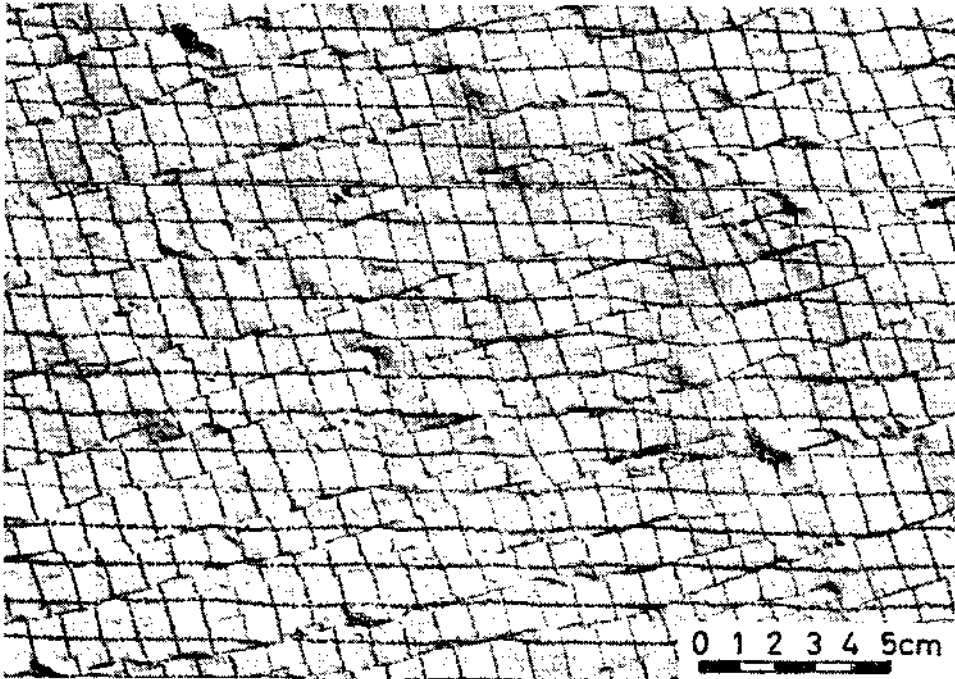
Deformasyonun ikinci safhasında akıcı deformasyon çok yavaşlar ve elipslerin uzun eksenlerinin yönleri (α_r) 143° altmda olup, q nün değeri 0.71 e düşer.

Teorik hesaplarla toplam deformasyonu incelediğimiz büyük elipsin değerleri birbirlerine uymakta, ancak akıcı deformasyonun değeri $\gamma=0.30$ dan sonra, yani kırıkların bariz oluşumundan sonra geri kalmaktadır (Şek. 16). Deney sonunda $Q=0.59$ olmasına rağmen, q bu değerden 0.12 kadar geri kalarak ancak 0.71 değerine ulaşabilmektedir. Bu fark, çatlak ve kırıkların oluşumlarının akıcı deformasyona olan etkilerinden meydana gelmektedir.

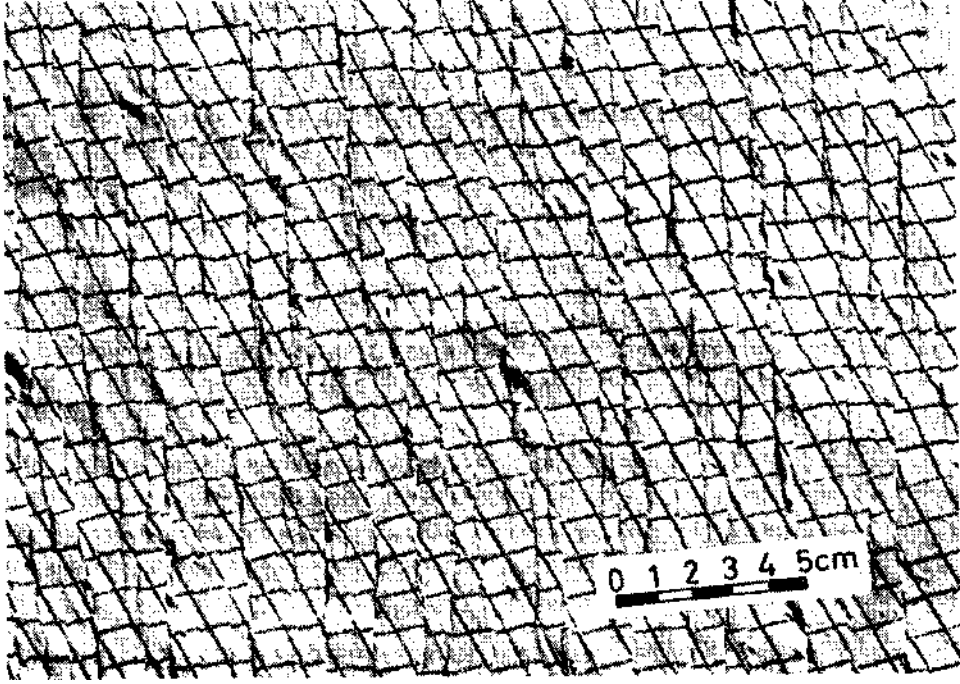
11.2. MODELLERİN MONOKLİNAL DEFORMASYONLARINDA ANİZOTROPİNİN TEKTONİK YAPIYA ETKİSİ

Bölüm 11.2 de gördük ki, aynı şartlar altmda hazırlanan kil modellerin üst yüzü, oluşumu beklenen kırık sistemlerinden hangisinin doğrultusunda düzeltilirse, yalnız o sistem oluşuyor ve diğeri ortaya çıkmıyor. Modelleri aynı şekilde hazırlar, fakat monoklinal simetriyle deforme edersek, anizotrop maddelerde deformasyon türündeki değişikliğin tektonik yapıya etkisini saptayabiliriz.

İlk olarak modelin üst yüzü sentetik çatlakların doğrultusunda düzeltilip, kesme kuvvetleri ile deforme edilirse, akıcı deformasyon $\gamma=0.30$ a kadar Bölüm III. I deki gibi teorik hesaplara uygun olarak devam eder (Şek. 20, 21). Yine bu safhada, oluşan çatlak ve kırıkların ilk değerlendirmeleri yapılır ve yalnız sentetik sisteme ait çatlakların $15^\circ-18^\circ$ altmda uzandıkları görülür (Şek. 18). Antitetik sistem görülmemektedir.



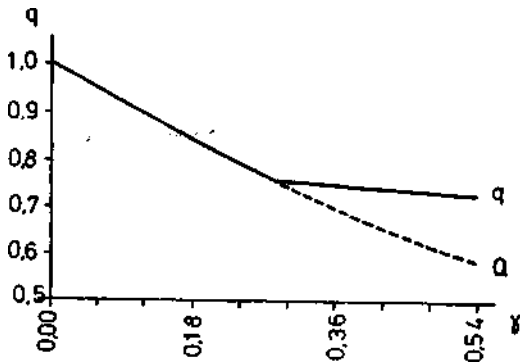
Şek. 18 - Monoklinal deformasyonda oluşan sentetik çatlak ve kırıklar ($\gamma = 0.54$).



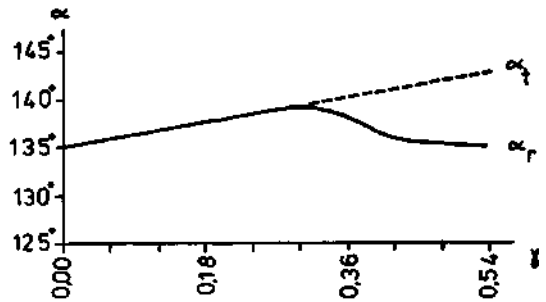
Şek. 19 - Monoklinal deformasyonda oluşan antitetik çatlak ve kırıklar ($\gamma = 0.54$).

$\gamma=0.30$ dan 0.54 e kadar süren deformasyonun ikinci kısmında akıcı deformasyon çok yavaş olarak devam eder ve kırıkların hızla oluştuğu, geliştiği görülür. Bu safhada Q değeri 0.75 ten 0.59 a, q ise 0.75 ten 0.73 e düşer (Şek. 20). Deformasyon elipslerinin büyük eksenleri 4° pozitif yönde dönerek deney başındaki durumlarını alırlar (Şek. 21). Teorik hesaplara uymayan bu durumun, iç rotasyonun tersine olan başka bir rotasyondan değil de, deformasyon elipslerini tarif eden paralelkenarların en büyük basınç gerilmesi (σ_1) yönünde daralmaları ve en küçük basınç yönüne (σ_3) uzamaları nedeniyle olduğu saptanmıştır (Şek. 22).

Modelde oluşan kırıklar arasındaki bloklarda görülen bu durum, monoklinal deformasyonun yerini rombusal deformasyona bıraktığı şeklinde ifade olunabilir.

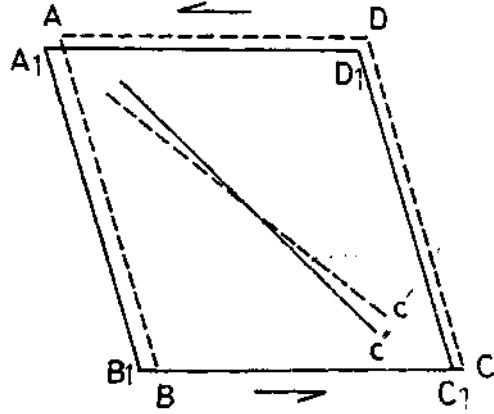


Şek. 20 - Yalnız sintetik kırık sisteminin oluştuğu monoklinal deformasyonlarda deformasyonun değişimi.



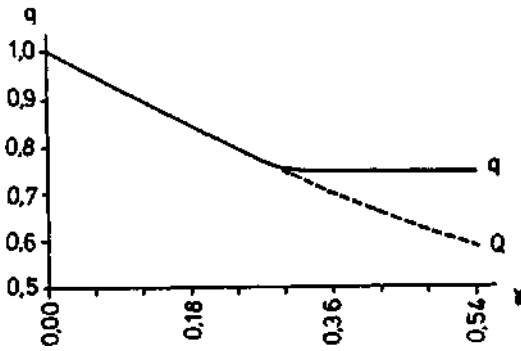
Şek. 21 - Yalnız sintetik kırık sisteminin oluştuğu monoklinal deformasyonlarda iç rotasyonun değişimi.

Aynı şartlar altında hazırlanan modelin üst yüzü bu defa antitetik kırık sistemi doğrultusunda, yani 80° altında düzeltildikten sonra monoklinal deformasyona tabi tutulursa, ilk çatlakların bariz oluşumuna, yani $\gamma=0.30$ a kadar görülen akıcı deformasyon, bundan önceki deneylerde olduğu gibi teorik hesaplara uygun olarak devam eder (Şek. 23). Bu defa yalnız antitetik kırık sistemi oluşur ve 80° altında uzanmaktadır (Şek. 19). Deformasyonun bundan sonraki bölümünde akıcı deformasyon hemen hemen durur ve yerini kırıklı deformasyona bırakır.

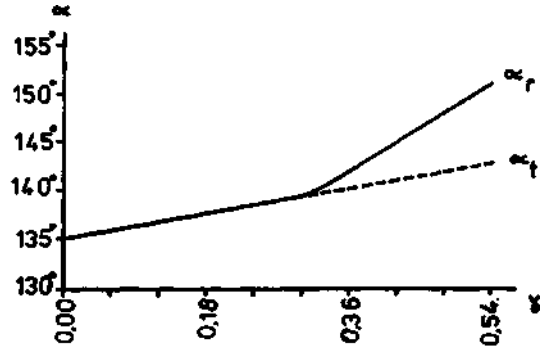


Şek. 22 - Sintetik kırıkların yalnız olduğu monoklinal deformasyonlarda, bloklardaki monoklinal deformasyonun yerini rombusal deformasyona bırakması.

Bu arada toplam deformasyonu incelediğimiz büyük elips, teorik hesaplara uygun olarak negatif yönde 4° dönerken, akıcı deformasyonu inceleme olanağını veren deformasyon elipsleri 12° negatif yönde dönerek, 151° altında uzanırlar (Şek. 24). 8° lik bu fark, antitetik kırıkların sınırladığı blokların katı bir cisim gibi iç rotasyonla dönmeleri esnasında, deformasyon elipslerini tarif eden paralel kenarların x eksenine paralel olan kenarlarının doğrultularını korumaları gerekirken, üzerlerinde buldukları bloklarla beraber aynı hareketi yapmaları nedeniyledir. $92^\circ-94^\circ$ altında uzanan antitetik çatlak ve kırıklar değerlendirme bölgesinde toplam olarak 350 cm uzunluğuna deney sonunda ulaşmaktadırlar.



Şek. 23 - Yalnız antitetik kırık sisteminin olduğu monoklinal deformasyonlarda akıcı ve toplam deformasyonun değişimi.



Şek. 24 - Yalnız antitetik kırık sisteminin olduğu monoklinal deformasyonlarda iç rotasyonun değişimi.

111.3. MONOKLİNAL DEFORMASYONLARIN SONUÇLARI

Bu tür deformasyonlarda her üç halde, yani yalnız sintetik, yalnız antitetik ve her iki kırık sisteminin beraberce oluştuğu deneylerde, yalnız akıcı deformasyonun sürdüğü birinci safhadaki deformasyon, teorik hesaplara uygundur.

Bu safha bütün haller için aynı uzunlukta olup, $\gamma=0.30$ değerine kadar sürer. Bu arada q'nün değeri 1.0 den 0.75 e düşerken, deformasyon elipslerinin büyük eksenleri negatif yöndeki 4° 'lik bir iç rotasyonla 135° 'den 139° 'ye kadar dönerler. Deformasyonun bundan sonraki kısmı, değişik kırık sistemleri oluşumunda farklı olarak devam eder.

Sintetik ve antitetik kırıklar beraberce ve takriben eşit miktarda oluştukları deformasyonlarda, iç rotasyon teorik hesaplara uygun olup, ancak $\gamma=0.30-0.54$ arasında, yani çatlak ve kırıkların oluşumu esnasında akıcı deformasyonu etkileyerek, q değerinin Q dan 0.12 kadar geri kalmasına sebep olur.

Yalnız sintetik sistemin olduğu hallerde, deformasyonun ikinci safhasında kırıkların modelde ayırdıkları bloklarda monoklinal deformasyonun yerini rombusal deformasyon alır. Deformasyon elipslerini tarif eden paralelkenarlar σ_1 doğrultusunda daralır, σ_3 doğrultusunda genişlediklerinden, elipslerin eksenlerinde pozitif yönde aldatici bir rotasyon görülür, oysa paralelkenarın kenarlarının doğrultularında bir değişiklik olmamaktadır.

Yalnız antitetik çatlak ve kırıkların olduğu hallerde ise, deformasyon elipslerinin teorik değerlerden daha büyük iç rotasyonlara uğradıkları saptanmıştı. Kırıklar arasında katı cisimler gibi, negatif yönde dönen blokların üstünde deformasyon elipslerini tarifeden paralelkenarların x eksenine paralel olan kenarları doğrultularını korumaları gerekirken, aynı rotasyonu yapmaları, bu farkın nedenidir. Monoklinal deformasyonlarda yalnız bir kırık sistemi olduğu hallerde, çatlak ve kırıkların toplam uzunlukları % 15 kadar fazla olmakta ve bu surette akıcı deformasyonu daha fazla etkileyerek q değerinin Q dan 0.15 kadar geri kalmasına yol açmaktadır.

IV.1. SONUÇ

Bölüm II ve III te rombusal ve monoklinal deformasyonların oluşumları ayrı ayrı incelenenlerden sonra, bunların oluşturdukları tektonik yapıları birbirleriyle karşılaştırıp, aralarındaki farkları saptamalıyız ki, arazide bunun tersine hareket ederek görülen tektonik yapıdan, deformasyon türünü ve koşullarını açıklamaya çalışalım. Bu karşılaştırmayı deformasyonun iki safhasında yapacağız. Birinci safhada yalnız akıcı deformasyon, ikinci safhada ise akıcı ve kırıklı deformasyonlar beraberce incelenecektir.

Birinci safhada her iki deformasyon türünde de aynı akıcı deformasyon meydana gelmektedir ki, bu durum teorik hesapların gerektirdiği şekildedir. Şu halde yalnız akıcı deformasyonun olduğu birinci safhada deformasyon türünü ve koşullarını saptamak mümkün değildir. Şayet bir kayadaki mikro veya makro fosillerin veya minerallerin şekil değiştirmelerinden q değeri takribi olarak saptanabilirse, deformasyonun bulunduğu safha, deformasyon eğrilerinden çıkarığımız aşağıdaki formülle yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$\gamma = \frac{1 - q}{0.8}$$

Çatlak ve kırıkların oluşumları her iki deformasyon türünde de aynı safhada başlamaktadır. Bunların doğrultularının farklı olmalarına, değişik şekillerde gelişmelerine rağmen q değerleri arasında fark yoktur. Her iki deformasyon türünde de deney sonunda Q ile q arasındaki fark, yani kırık ve çatlakların akıcı deformasyona etkileri tek kırık sisteminin olduğu hallerde 0.14 ve iki sistemin beraberce olduğu hallerde ise 0.10 kadardır.

Her ne kadar çatlak ve kırıkların doğrultuları deformasyon türü ve anizotropi ile değişiyorsa da, belli bir kaniye kesinlikle varmak için yeterli değildirler. Aynı şeyi, çatlak ve kırıkların birbirleriyle yaptıkları açılar için de söyleyebiliriz. Bu konuda en fazla ipucunu deformasyon elipsleri ile çatlak ve kırık sistemlerinin aralarındaki açılar vermektedirler. Bunun için deformasyondaki iç rotasyonun kayada veya ince kesitinde saptanması gerekir. Bu konuda fosil ve minerallerden faydalanılabilir. Açılar arasındaki farkın, Bölüm II ve III te görüldüğü gibi fazla büyük olmaması, şimdiki bilgilerin ışığı altında belki kesin bir sonuç değil, fakat fikir verebilir.

Bunlardan başka gördük ki, tek kırık sistemi şimdiye kadar sanıldığı gibi yalnız kesme kuvvetleri altında değil, aynı zamanda basınç-çekme kuvvetleri altında da meydana gelebilir. Buna karşıt olarak, basınç-çekme kuvvetleriyle tek kırık sistemi de oluşabilmektedir.

Şu halde tektonik yapının oluşumu deformasyon türüne değil, kayacın anizotropisi ile etkiyen kuvvetlerin doğrultularına bağlıdır.

Yayına verildiği tarih, 22 Ocak 1976

BİBLİYOGRAFYA

- CLOOS, H. (1928): Experiment zur inneren Tektonik. *Cbl. f. Min. etc.*, Abt. B, 12, Stuttgart.
- (1930): Zur experimentellen Tektonik, Methodik und Beispiele. *Die Naturwissenschaften*, 18, 34, Berlin.
- (1931): Zur experimentellen Tektonik, Brüche und Falten. *Die Naturwissenschaften*, 19, II, Berlin.
- (1931): Fließen und Brechen in der Erdkruste im geologischen Experiment. *Plastische Massen in Wissenschaft und Technik*, H. I, Troisdorf bei Köln.
- HOEPPENER, R. (1956): Zur Problem der Bruchbildung, Schieferung und Faltung. *Geologisches Rundschau*, 45, 2, Stuttgart.
- (1962): Probleme der physikalischen Tektonik, elastische Spannungen und Reibungsspannungen. *Z. dtsh. geol. Ges.*, 114, Hannover.
- (1964): Zur physikalischen Tektonik, Darstellung der affinen Deformationen, der Spannungs- und der Beanspruchungszustände mit Hilfe der flächentreuen Kugelprojektion. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie*, Wien.
- (1972): Stellung des Experimentes im Rahmen tektonischer Forschung. *Geol. Rdsch.*, 61, 3, Stuttgart.
- HUBBERT, K. (1937): Theory of scale models as applied to the study of geologic Structures. New York.
- NADAI, A. (1950): Theory of flow and fracture of solids. New York, Toronto, London.
- RAMSAY, J.G. (1967): Folding and fracturing of rocks. *McGraw-Hill Book Company*, New York, San Francisco, St. Louis, Toronto, London, Sydney.
- TANYOLU, E. (1974): Rupturelle und fließende Deformation und ihre gegenseitige Beeinflussung in Modellsubstanzen. *Doktora çalışması*, Bochum.