

MADENCİLİKTE KONTAKT PROBLEMİNİN FOTOELASTİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Erkin NASUF*

ÖZET

Bildiride fotoelastik gerilme analiz yöntemi ve bunun madencilikteki uygulaması hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra elastisitesi birbirinden farklı iki fotoelastik materyalin temas yüzeylerinde meydana gelen gerilme dağılımından bu iki materyalin birbirlerine olan etkileri iki ve üç boyutlu fotoelastisite ile incelenmesi anlatılmıştır. Yeraltındaki tabakaların elastisitesi genellikle birbirinden farklı olduğundan, yeraltı yapılarında emniyetli bir tasarım gerektiğinde yukarıda elde edilen sonuçların da bir tasarım faktörü olarak gözönünde tutulması önerilmiştir. Kaya mekaniği laboratuvarlarında yapılan basınç deneylerinde yeraltındaki karmaşık durum basitleştirilmiştir. Yukarıdaki sonuçların ışığı altında deney sonuçlarının kaya numunesinin yapısal özellikleri yanında çevresinde elastik özelliklerine bağlı olduğu vurgulanmıştır.

ABSTRACT

In this article a brief summary of Photoelastic stress analysis method and its application to mining engineering problems is given. An investigation of the stress distribution at the interface of two dissimilar materials and their effect on each other using two and three dimensional photo elasticity is explained. It is suggested that the above results should be considered as a design factor when a safe underground design is required since the coal measure strata exhibit considerable difference in elasticity.

It is also emphasised that since the mechanism involved in a rock mechanics laboratory compression test is the simplest version of much more complex mechanism governing the behaviour of rock around underground cavities, the results obtained from these tests are dependent not only the structural properties of rock but also the elastic properties of the environment in which the rock is tested.

(*) Dr. Asistan İTÜ Maden Fakültesi

1. FOTOELASTİK YÖNTEM VE MADENCİLİĞE UYGULANIŞI

Fotoelastik teknik, cam, Araldite, Bakelit, poliyurethan gibi belli bazı saydam materyallerin gerilme uygulanmadığı zaman optik olarak izotropik olduğu fakat gerilim altında anisotropik olduğu ve bir kristal gibi davrandığı gerçeğine dayanır. Bu durumda bir materyalden geçen düz polarize ışık modelin herhangi bir noktasında ana gerilmeler yönünde titreşen ve materyal içinde farklı hızlarda seyahat eden iki bileşene ayrılır. Modelden çıkışta ise bu bileşenlerden biri diğerini belli bir uzaklık geriden izlerken bunada "bağlı gecikme" denilir. Bağlı gecikme direk olarak ana gerilmeler arasındaki fark ve model kalınlığı ile orantılıdır. Bu oranın sabitesi ise "gerilme optik sabitesi" diye isimlendirilir ve kullanılan materyale göre değişir.

Böyle bir materyal polariskop içine konduğunda modelden çıkan gecikmeli ışık bileşenleri analizörde tekrar birleştirilir. Bu optik olarak girişmiş ışık içinde iki farklı karakteristikte halka vardır. Model içinde her noktada farklı olan ana gerilme doğrultularının eşdeğer olanlarının görüldüğü siyah halkalara "izoklinik" denir.

Eğer gerilme altındaki bir materyal beyaz ışık altında gözlenirse gecikmenin ve ana gerilme farklarının sabit olduğu renkli halkalar görülür. Bu görünüm her rengi kendi dalga boyuna göre sırasıyla gösteren ve modelin farklı noktalarında değişen bağlı gecikmeden dolayıdır. Bu renkli halkalar "izokromat" diye adlandırılır. Monokromatik ışık altında izokromatlar açık koyulu gözüktürler buda araştırmacıya kolaylık sağlar.

Fotoelastik deneylerde kullanılan düz ve dairesel polariskop hakkında açıklamalı bilgiler başka yerlerde verilmiştir, (1,2). Fotoelastisitede izoklinik ve izokromatiklerden elde edilen bilgi ana gerilmeler arasındaki fark ile model içinde her noktada bunların doğrultularıdır. Yapılan gerilme analizlerinde bu verilerden faydalanma aşağıda özetlenen şekilde olur.

- a. Ana gerilme çizgileri ve maksimum kesme gerilme çizgileri izokliniklerden yararlanılarak çizilir.
- b. Modellerdeki nakalar gerilme birimleri ile ifade edilir.
- c. Fotoğraflardan kenar gerilmeler çizilir.
- d. Ana gerilmeler hesapla veya ek bir deneyle ayrılır.
- e. Birbirlerinden ayrılmış ana gerilmelerin büyüklükleri model içinde ana gerilme konturuları ile belirtilir.
- f. Daha sonra kritik bölgelerdeki gerilmeler araştırılır.

Yukarıda anlatılan esasları kullanarak yapılan fotoelastik model çalışmaları genel gerilme analizlerinde çok yaygın olarak kullanılır. Bu model çalışmalarının madencilğe uygulanması başlıca;

- a. Uygulanan yükün belirli doğrultularına göre değişik şekillerdeki açıklık-

ların etrafındaki gerilme dağılımının incelenmesi.

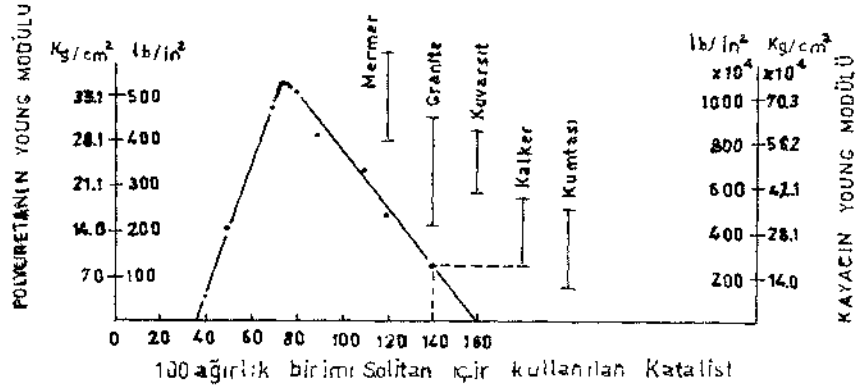
b. Komşu açıklıkların birbirlerine etkileri ve bir bütün olarak açıklıkların kaya kütleindeki gerilme dağılımına olan toplu etkilerinin incelenmesi.

c. Tahkimatlarla ilgili tasarımlara yardımcı olabilmek için tahkimat elemanlarındaki gerilme dağılımının incelenmesi ve

d. Kayaçalarda çatlak oluşumunun incelenmesi gibi konularda olur.

(a) tipi çalışmalarda ana maksat açıklık çevresinin etrafındaki gerilme dağılımlarının büyüklüklerini ve yerleşimlerini tayin etmek ve böylece en iyi dikey kesit şekli ve maksimum dayanım ve denge için doğruyu tayini hakkında karar vermektedir, (b) tipi çalışmalara örnek olarak da DUVALL'in (3) oda-topuk sisteminin dikey bir kesitini gösteren iki boyutlu fotoelastik maddeler üzerinde yaptığı çalışmalar gösterilebilir. Bu çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı gibi; 1. Tek tek topuklara gelen gerilme dağılımları düzgün değildir ve maksimum gerilmeler topukların kenarlarında olduğu kadar topukla tavan ve taban arasındaki köşede meydana gelir. 2. Kazının ortasındaki topuklar kenar-dakilere nazaran daha çok gerilme altındadır. 3. Topuklardaki gerilmeler artan kazı oranı ile artar. 4. Topuklardaki gerilme konsantrasyonu artan oda-topuk genişlik oranına göre artar fakat gerilme dağılımları daha düzgünleşir. Böylece oda-topuk genişlik oranının büyük değerleri için ortalama topuk gerilme değeri maksimum gerilme değerine yaklaşır. Yukarıdaki örnek gibi fotoelastisitenin madencilğe uygulanışı hakkında bir çok örnek verilebilir.

Son zamanlarda fotoelastisitede yapılan en büyük aşamalardan biride yeraltındaki farklı özellikteki tabakaların laboratuvarında modellerde temsil edilebilmesi olmuştur. RANKİLOR ve Mc NICHOLAS (4) yeraltındaki bu tabakalı durumu benzetmek için Polyurethane maddesini kullanmışlardır. Çeşitli karışımlarda katalist ve polimer yaparak ve bu numuneleri Young modülü ve Poisson oranı için deneyerek farklı kayaç çeşitleri için uygun plastikler meydana getirmişlerdir, Şekil - 1 .



Şekil: 1

Üç boyutlu fotoelastisitede ise yeraltındaki bu durumu temsil etmek için en çok kullanılan materyallerden birisi Araldite CT 200'dür. Bu materyalin elastik özelliklerini değiştirmek için hardener (sertleştirici) oranını değiştirmek yeterlidir. Hernekadar yukardaki maddeleri kullanarak yapılan model çalışmalarında yeraltındaki gerçek örnekler en iyi bir yakınlıkla benzetilmek istenirse de klasik elastik teorisinin dışına çıkılmaz. Yeraltındaki kayalarda izotrop ve homojen olmayan süreklilikler bulunabilir ve bu tür ortamların gerilme-deformasyon eğrileri zamana ve yere bağlı olarak değişebilir. Böyle ortamların gerilme analizlerinde ise son zamanlarda geliştirilen sonlu elemanlar yönteminden yararlanır. Her ne kadar bu yöntem ilk bakışta karmaşık problemlerin analizi ve tasarımında kullanılan iyi bir yöntem olarak gözüküyorsa da uygulamada bu yöntemin başarısı giriş verilerinin geçerliliğine bağlıdır. Ayrıca karmaşık problemleri çözmek için bilgisayar kapasitesinde sınırlamalar olabilir. Gelecekteki çalışmalar kuşkusuz bu durumu geliştirecektir, fakat şu anda gerçek jeoteknik durumlar, bütün ayrıntıları ile yeni nesil bilgisayarların yeterli hafızaya sahip olmamaları nedeniyle benzetilememektedir.

2. KAYA MEKANIĞİNDE KONTAKT (TEMAS) PROBLEMİ VE BUNUN FOTOELASTİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE

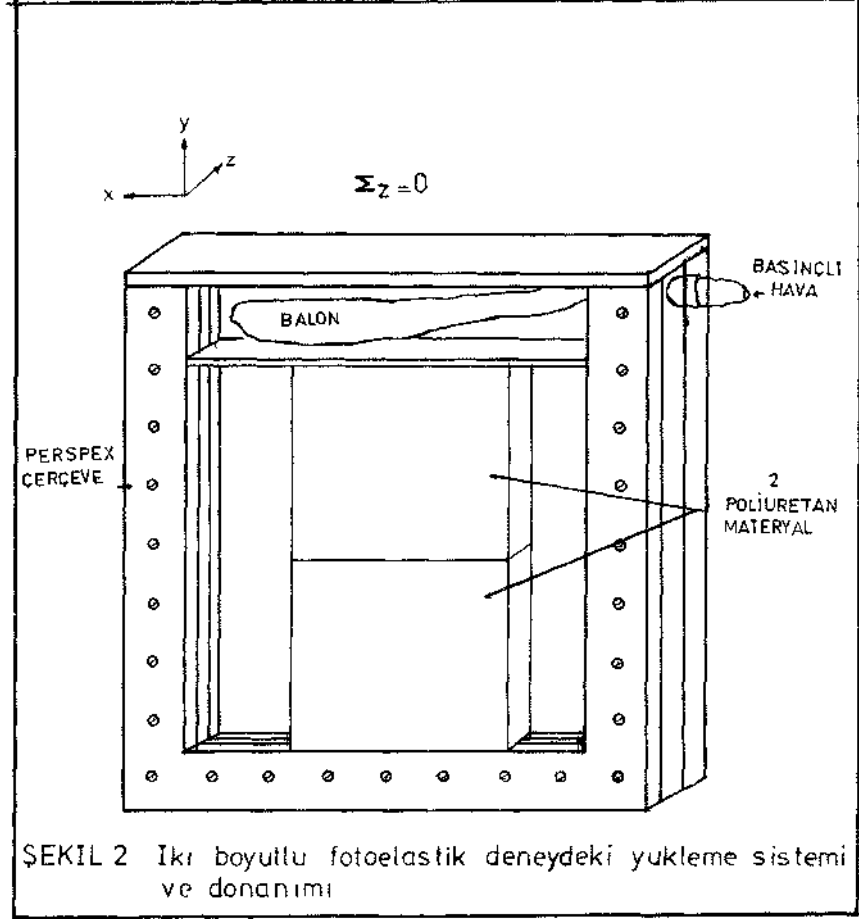
JJA1 1--X2* JLM-JSIVJULI 3 A

Kaya mekaniğinde son zamanlarda yapılan en büyük gelişmelerden biride, kayaların mekanik davranışını incelerken, yapısal heterojenliğin ve süreksizliğin etkisinin anlaşılması olmuştur. Kaya mekaniği laboratuvarlarında yapılan deneylerden elde edilen bilgilerin, bu iki etkenin gözönünde tutulmasıyla, neden bir uyum göstermediği anlaşılmıştır. Bu uyumsuzluğun bir başka nedeni de, laboratuvarında ve arazide rastlanan, araştırmaya değer durumda olan ve farklı özellik gösteren iki materyalin, karşılıklı temas durumudur. Laboratuvarında bu durum kayaların test edilmesi sırasında kayaç numuneleri ile makina yüzeyleri arasında olur ki aynı durum yeraltında birbirleriyle temasta olan tortul kayaçlarda görülür. Özellikle çalışılmakta olan iki ayak arasında veya ayağın arkasında bırakılan topuk gibi yerlerde bilindiği gibi tavan ve taban taşlarının mekanik ve fiziksel (jeomekanik) özellikleri elastikten (kumtaşı) plastiğe (killişiist) kadar değişir. Ayrıca topuk içinde farklı tabakalar bulunabilir. Böyle durumlarda bir tasarım söz konusu olduğunda temas probleminin önemi ortaya çıkar.

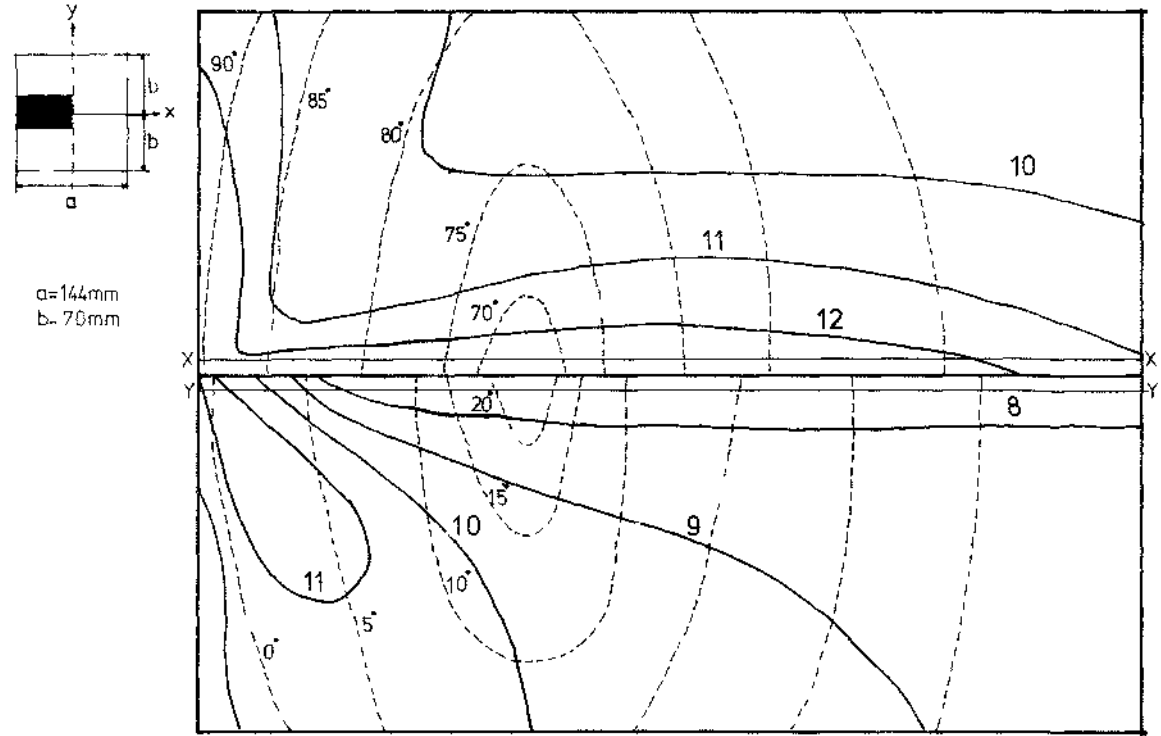
2.1. TEMAS PROBLEMİNİN İKİ BOYUTLU FOTOELASTİSİTE İLE İNCELENMESİ

Temas problemini incelemek için birbirinden farklı özellikte olan iki materyalin temas yüzeylerindeki gerilme dağılımının incelenip bunun, bu materyallerin davranışlarına olan etkisi araştırılmıştır. İki boyutlu fotoelastisite ile ince-

lemek için yapılan model ve yükleme donanımı Şekil 2'de gösterilmiştir.

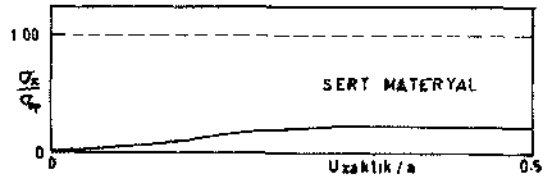


Farklı özellikteki iki polyurethane madde Şekil-2'deki eğriden yararlanılarak $E_1 = 500 \text{ lb/in}^2$ (35 kg/cm^2) ve $E_2 = 250 \text{ lb/in}^2$ ($17,6 \text{ kg/cm}^2$) olacak şekilde dökülmüşlerdir. Model basit bir balonu basınçlı hava ile doldurarak yüklenir. Deney sırasında basınç bir kısıkaç ile devamlı kontrol edilir. Herşey tamamlandıktan sonra simetriden dolayı modelin kenar köşesindeki halkaların fotoğrafı çekilmiş olup, bu fotoğraflardan elde edilen halka görünümü ve 5 derecelik izoklinikler Şekil-3 (a)'da gösterilmiştir.

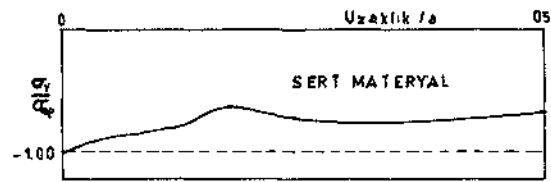


ŞEKİL 3a İki boyutlu fotoelastik deneyde modelin kenar köşesindeki izokromik ve izokromatikler

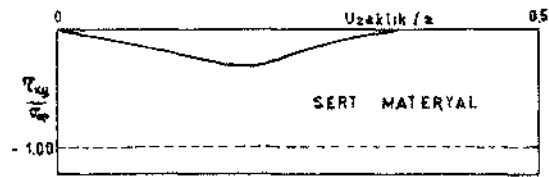
ŞEKİL 3a'dan X-X BOYUNCA
HESAPLANMIŞ GERİLMELER



ŞEKİL 3b

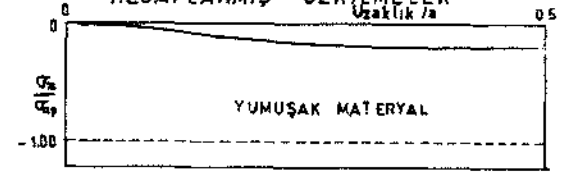


ŞEKİL 3c

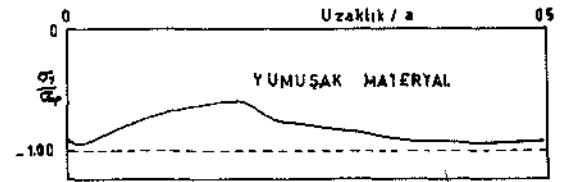


ŞEKİL 3d

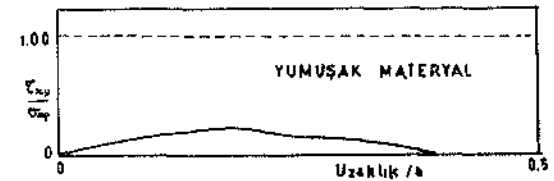
ŞEKİL 3a'dan YY BOYUNCA
HESAPLANMIŞ GERİLMELER



ŞEKİL 3e



ŞEKİL 3f



ŞEKİL 3g

Gerilme hesapları, ara kesit düzlemine 0,6 mm. gibi çok yakın bir uzaklıkta, kesit boyunca denge denklemlerinin integrasyonu metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu bilgilerden yararlanarak elde edilen sonuçlar sert ve yumuşak materyal için ayrı ayrı Şekil-3 (b,c,d,e,f,g)'de gösterilmiştir. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi ara kesit yüzeyindeki düşey yatay ve kesme gerilmeleri düzgün olmaktan çok uzaktır. Düşey gerilme kenarlara doğru artış gösterirken yatay gerilme orta kısımlarda en yüksek değerine ulaşmakta, kesme gerilmeleri ise modelin ortasında yön değişmektedir. Ayrıca ara kesit yüzeyindeki düşey gerilmelerin ortalaması uygulanan yüke yakın bir değer vermediği için elde edilen bu sonuçların pek tatmin edici olmadığı düşünülmüştür. Ayrıca ara kesit yüzeyindeki düşey gerilmelerin ortalaması uygulanan yüke yakın bir değer vermediği için elde edilen bu sonuçların pek tatmin edici olmadığı düşünülmüştür. Bunlara ek olarak a-Polyurethane maddesini dökerken elastik modülü ve materyal sabitesi değerlerinin başka araştırmacıların değerlerinden alınmış olması b-Yükleme donanımı ile model arasındaki sürtünmelerden dolayı halka şekillerinin değişimi c-Her ne kadar model yüklenirken dikkatli olunmuşsa da uygulanan yükün model üzerine düzgün dağılmama olasılığının oluşu d-Düşey kesiti geniş olan modellerde düzlem deformasyon yüklemesinin zorluğu, sonuçların tatmin edici olmadığını kanıtlayan diğer sebepler olarak gösterilebilir. Daha sonra aşağıdaki değişiklikler önerilerek üç boyutlu fotoelastik yöntemle problemin çözümüne gidilmiştir. 1- Modelin, yükün uygulandığı, yatay düzlemini genişleterek daha düzgün yük dağılımı sağlamak 2-Yeterli düzlem deformasyon yüklemesini elde etmek için düşey kesit alanını azaltmak 3-Gene yeterli düzlem deformasyon yüklemesi elde etmek için model kalınlığının artırılması.

1.2. TEMAS PROBLEMİNİN ÜÇ BOYUTLU FOTOELASTİSİTE İLE İNCELENMESİ

Yukarıda önerilen değişikliklerin ışığı altında en iyi düzlem deformasyon yüklemesi modelin orta kısımlarında olacaktır. Böylece buradan alınacak dilimler incelendiğinde problemin çözümüne daha gerçekçi bir doğrultuda yaklaşılabilecektir. Üç boyutlu fotoelastik araştırmada gerilme halkalarının modelde dondurulması tekniği kullanılmıştır. Kullanılan fotoelastik materyal Araldite CT 200 olup bu materyalin kritik ve oda sıcaklığındaki özellikleri Tablo - 1'de gösterilmiştir.

Yöntem kısaca; bazı sentetik plastiklerin kritik sıcaklığa kadar ısıtıldığında yumuşamasına ve bu sıcaklıkta ufak yükler altında kolayca deforme olabilmesine dayanır. Böyle materyaller oda sıcaklığından kritik sıcaklığa ısıtılıp daha sonra uygulanan yük altında yavaşça oda sıcaklığına kadar soğutulursa yumuşakken olan deformasyonu ve fotoelastik özelliğini yük kaldırılmasına rağmen korurlar. Bu işlemden sonra kritik bölgelerden dilimler alınarak polariskop altında incelenir. Modelin kritik sıcaklığa kadar ısıtılıp, yük altında soğutulması, sıcaklığı

Tablo 1

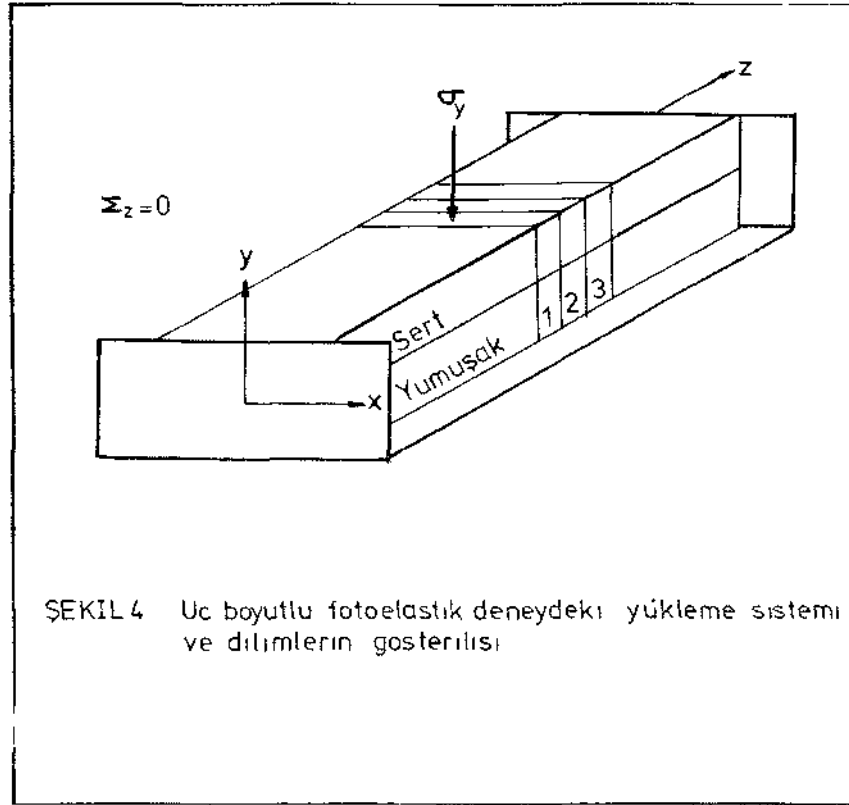
Materyal	B	E(N/m ²)	F(N/m frx10 ⁻³)	E/F	t _{cr} C°	110°C'de derece başına
Araldite CT 200	100/30	11.03	0.23	47.96	106	68x10 ⁻⁶
Araldite CT 200	100/15	7.5	0.21	36.11	95	101x10 ⁻⁶

Araldite CT 200'ün 135°C'deki özellikleri

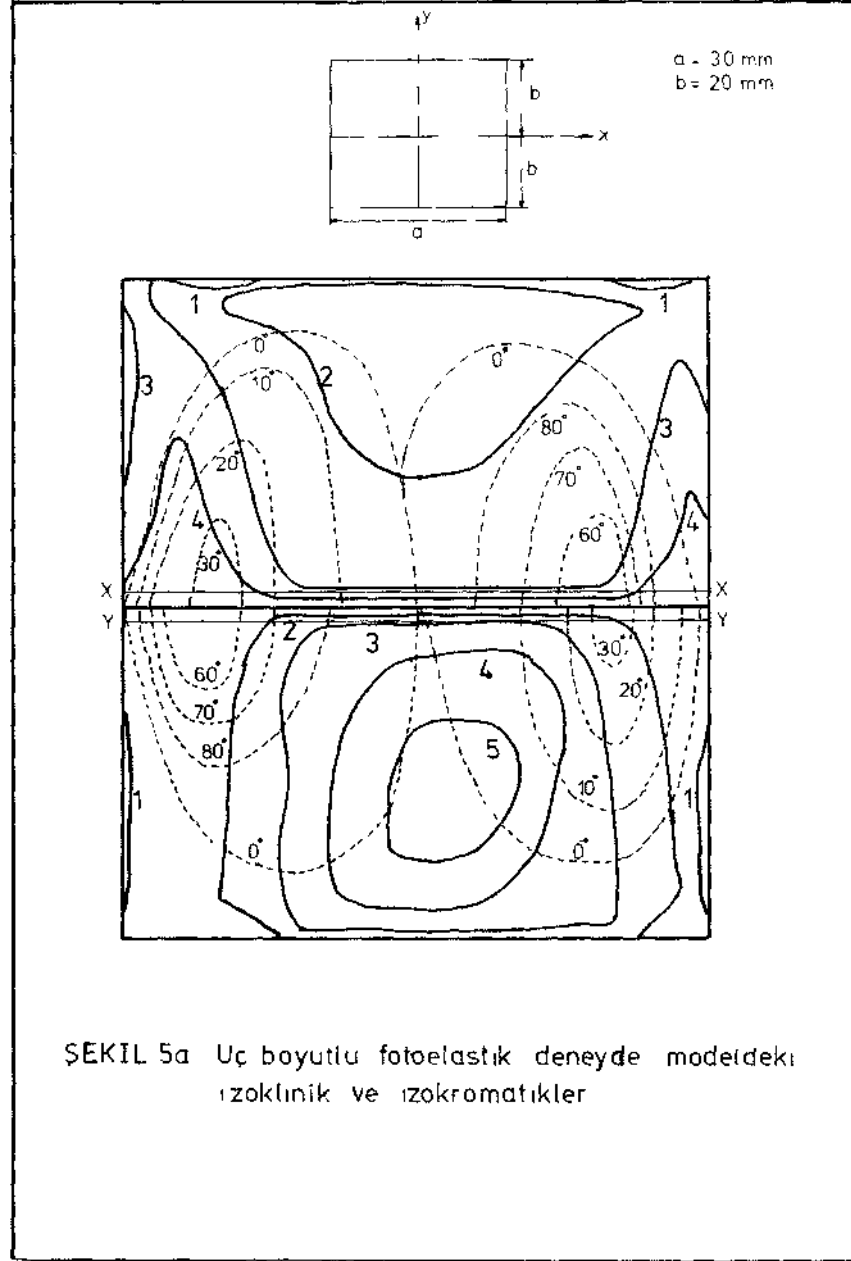
Materyal	B	E(N/m ²)	F
Araldite CT 200	100/30	330	9.72
Araldite CT200	100/15	330	10.01

Araldite CT 200'ün oda sıcaklığındaki özellikleri

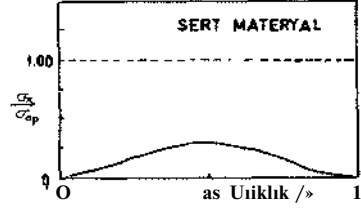
kontrol edilebilir özel bir fırın gerektirir. Bu yapılan deneyde ise OV-150 Galenkamp firması-Ether 994 kamlı çalışan sıcaklık kontrol aygıtı ile beraber kullanılmıştır. Modelde kullanılan materyaller daha önceden de anlatıldığı gibi farklı özellik göstermeleri için rezin ve ser+^tırıcı oranını değiştirerek yani 8=100/30 için $E_1=11.03 \text{ N/m}^2$ ve B=100/15 için $E_2=7.5 \text{ N/m}^2$ olacak şekilde dökülmüştür. Hazırlanan model daha önceden hazırlanmış 6 mm kalınlığında ve 5 cm genişliğinde dikdörtgen biçimindeki çelik yükleme donanımına yerleştirilmiştir. Modelin yüklenmesi model ile çelik donanımın üst yüzeyi arasına zar gibi yerleştirilen tıpkı bir hava yastığı gibi davranan sıcağa dayanıklı silikon plastiği ile yapılmıştır. Uygulanan basınçlı hava üst çelik levhanın dar kenarında açılan delikten fırının dışından bir el pompası ile verilmiş ve ufak bir kapama vanası ve gösterge yardımı ile basınç devamlı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Yukarıdaki sistem kullanılarak yapılan deneyde model sıcaklığı 5°C/hr artırarak 135°C 'ye kadar ısıldıktan sonra 30 psi (2.1 kg/cm^2) lik bir yük altında bu sıcaklıkta 3 saat bekletilip gene 5°C/hr olacak şekilde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra model fırından çıkartılıp dilimlenmiştir. Şekil 4'te modelin yükleme yöntemi ve



Bu dilimlerde polariskop altında yapılan gerilme analizlerinden elde edilen sonuçlarda Şekil - 5 a, b, c, d, e, f, g'de gösterilmiştir.

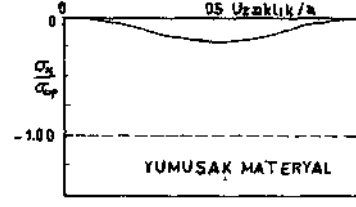


ŞEKİL 5a dan X-X BOYUNCA
HESAPLANMIŞ GERİLMELER

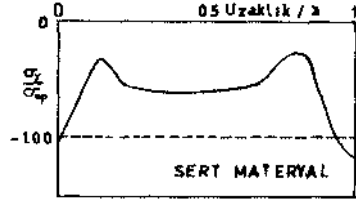


ŞEKİL 5b

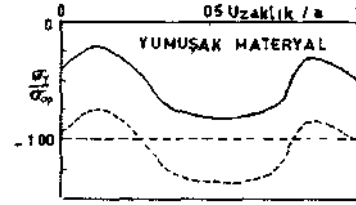
ŞEKİL 5a dan YY BOYUNCA
HESAPLANMIŞ GERİLMELER



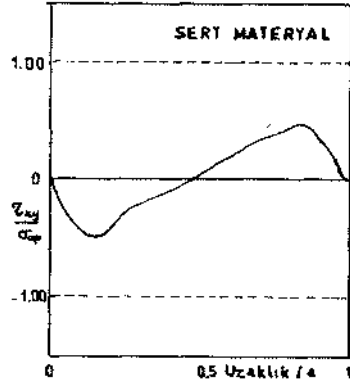
ŞEKİL 5c



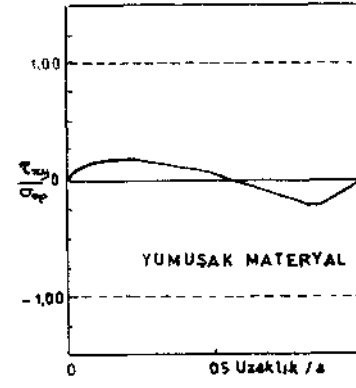
ŞEKİL 5c



ŞEKİL 5f



ŞEKİL 5d



ŞEKİL 5g

Elde edilen fotoğraflar incelendiğinde temas yüzeyi civarında hiçbir yerel gerilme dağılımına rastlanmadığı, modelin üstündeki halkalardan yüklemenin düzgün olduğu, her dilimin aynı halka görünümünü verdiği ve elde edilen izokliniklerin düzgünlüğü bize, yapılan üç boyutlu fotoelastik deneyin tatminkar) olduğunu kanıtlar. Diğer taraftan elde edilen sonuçlardan düşey gerilmenin temas yüzeyinde uygulanan yükü eşitlememesi tatminkarlık yüzdesini azaltırken bunun sebebi olarak da materyal özelliklerinin gene başka araştırmacıların deney sonuçlarından alındığı gösterilebilir (5).

3. SONUÇLAR

Daha önce de belirtildiği gibi tek eksenli basınç deneyinde yükleme makinasının levhaları basınç altındaki kaya numunesinden daha serttir. Yukarıda yapılan deneydeki yumuşak materyalin de kaya numunesini temsil ettiğini düşünürsek, yukarıdaki sonuçlarla daha önce bir çok araştırmacı tarafından yapılan araştırmaların sonuçlarını karşılaştırabiliriz, (6, 7, 8, 9, 10) Şekil-6.

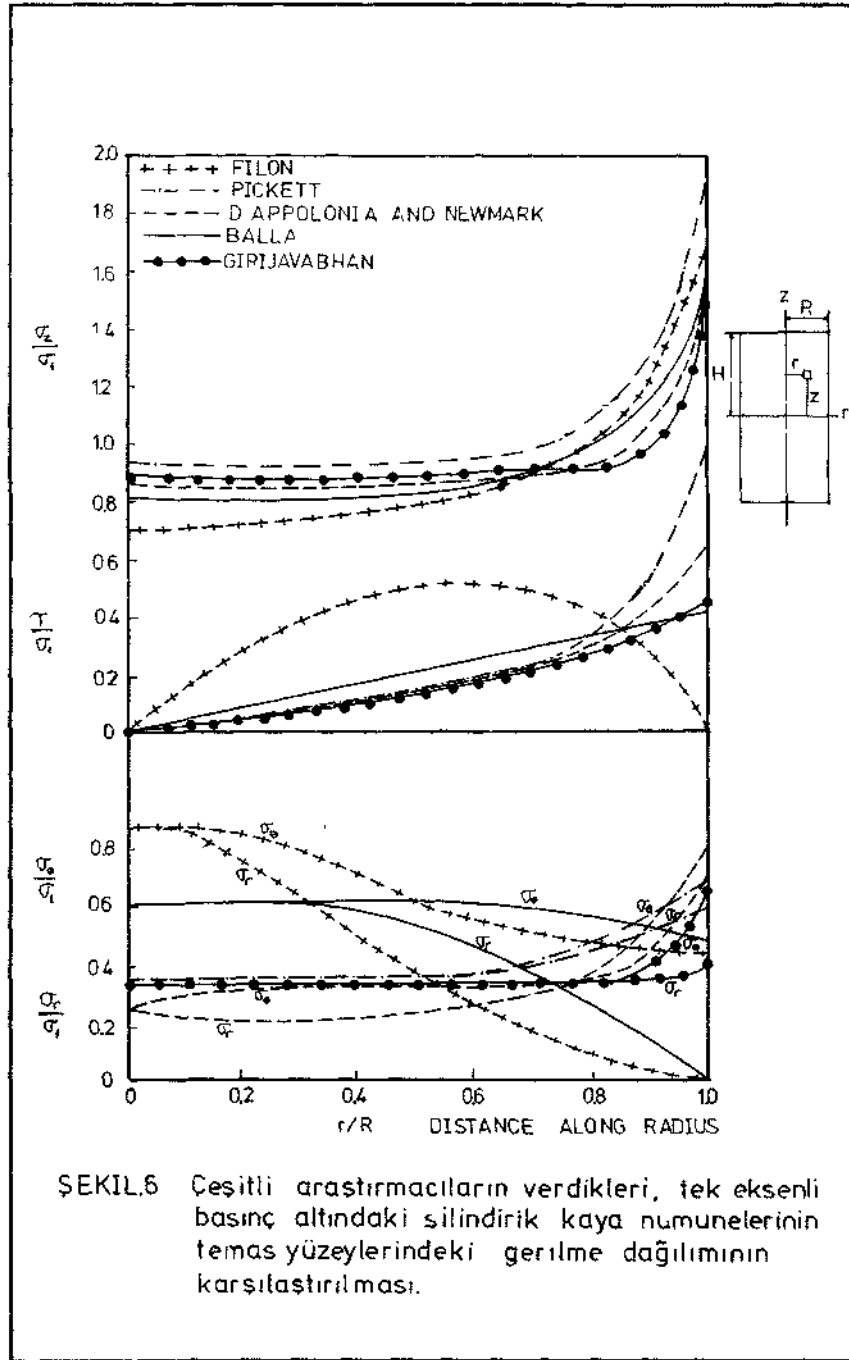
1. Farzedelim ki yumuşak materyaldeki düşey gerilme belli bir faktörle çarpılınca uygulanan yükü, temas yüzeyinde eşitliyor (Şekil-5 f). Bu durumda, diğer araştırmacılarla mukayese edildiğinde, sonuçların farklı olduğu görülür. Yumuşak materyalin ortalarında yüksek gerilmeler var olup bu da araştırmacıların sonuçlarına ters düşmektedir. Bunun sebebi de onların orta kısımlardaki gerilme değerlerinin genellikle 1 ve bunun biraz altında oluşu ve numune boyunca sabit değer göstermesi böylece eşitleme açısından kenarlarda yüksek gerilme konsantrasyonu elde etmeleridir.

2. Yatay gerilme dağılımları 1 veya 2 araştırmacı hariç genellikle diğerleri ile uyum içindedir.

3. Kesme gerilmeleri ise sadece 1 araştırmacı ile uyum içindedir.

4. Basınç altındaki kaya numuneleri radyal bir şekilde yana doğru genişlerler. Diğer taraftan temas yüzeylerindeki sürtünmelerde bu genişlemeye karşı koyarlar. Böylece temas yüzeylerinde meydana gelen gerilmeler düzgün olmaz. Bu sebepten düzgün bir basınç dağılımı elde etmek ve sürtünmeyi önlemek için yapılan test deneylerinde kaya numunesi ile test makinasının levhaları arasına birçok materyal yerleştirilir. Kaya numunesinden yumuşak bir materyal yerleştirildiği zaman kaya numunesinde yatay çekme gerilmeleri oluşur, bu da ani kırılmalara sebep olabilir. Sonuçlarda da bu açıkça görülmektedir. Yani yumuşak materyal sert materyalin içinde maksimumu merkezde olacak şekilde çekme gerilmeleri meydana getirmektedir. (Şekil 5 b)

Kömürün çekme dayanımı çok az olduğu düşünülürse yeraltında yumuşak bir taban üzerinde bırakılan bir topukta veya içinde yumuşak bir tabaka içe-



ren bir topukta bu çekme gerilmelerinin gözönünde tutulması gerekir. Kısaca yeraltında bir topuğun bırakılması tasarlanırken topuğun dayanımı, topuğun üzerine transfer olan yükler, topuk üzerindeki arazi basınçları gözetilen faktörlerdir. Belki bunların en önemlisi bugüne kadar gözönünde tutulmayan fakat yukarıda özetlenen nedenlerden dolayı önemli olan topuk ve çevresindeki taşıma mekanik özelliklerinin bilinmesidir.

Aynı durum kaya mekaniği laboratuvarlarında elde edilen sonuçların daha gerçeğe uygun olması için kaya numunesinin yapısal özellikleri kadar test edilen ortamın mekanik özelliklerinin bilinmesi gerektirir.

KAYNAKLAR

1. KUSKE, A. ve ROBERTSON, G.
"Photoelastic stress Analysis"
John Wiley and sons, (1974).
2. HENDRY, A.W.
"Photoelastic Analysis"
Pergamon Press (1966)
3. DUVALL, W.I.
"Stress analysis applied to underground mining problems, Part II, Multiple opening and pillars, USBM Rep. Inv. 4387, Nov. 1948."
Part I Single Opening, USBM Dep. Inv 4192 1948.
4. NICHOLAS, J.B. and RANKILOR, P.R.
"The preparation and use of a stress-sensitive material in multi-layer photoelastic Models" Int. J. Rock Mech. Min. Sei., Vol. 5, No. 6, November 1968, p. 465-474.
5. DIXON, J.R.
"Problem of Materials for composite Models in photoelastic frozen stress work"
British Journal App. Phys., 13,2(Feb. 1962) p. 64-67
6. FILSON, L.N.C.
"On the Elastic Equilibrium of Circular cylinders under certain Practical Systems of Load"
Phil. Trans. Roy. Soc, London, Series A. Vol. 198, (1902).
7. PICKETT, G.
"Application of the Fourier Method to the Solution of Certain Boundary problems in the Theory of Elasticity" J. App. Mech., Vol. 11, (1944).
8. DE APOLONIA, E. ve NEWMARK, N.M.A.
"Method for the solution of the restrained cylinder under compression"
Proc. 1st US National congress of Applied Mechanics p. 217-226 (1951)
9. BALLA, A.
"Stress conditions in Tri-axial compression" J.Soll Mech. Found. Div. Am. Soc. Civ. Eng. Vol. 86, No. SM6, (1960).
10. GIRIJAVALLABHAN, C.V.
"Stresses In Restreined syllnders under Uniaxial compression".
J.Soll Mech. Found. Div. Am.Soc. Civ. Eng.vol. 96, No. SM 2 (1970)
11. NASUF. S.E.
"Aphotoelastic and field investigation Into the interface problem in Rock Mechanics"
PhD thesis, Univ. of Strathclyde. Scotland, 1977

