

**EŞ YÜKLÜ ALANLAR YAKLAŞIMININ EĞİMLİ KÖMÜR
DAMARLARINA UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF THE TRIBUTARY AREA
CONCEPT TO INCLINED COAL SEAMS**

Tuğrul ÜNLÜ, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Müh. Fak. 67100 Zonguldak*

ÖZET

Bu çalışmada, yeraltı madenciliğindeki topukların tasarımında yaygın olarak kullanılan eş yüklü alanlar yaklaşımının eğimli kömür damarlarına uygulanabilirliği, sonlu elemanlar sayısal gerilme çözümlemesi yardımıyla araştırılmıştır. Orta taneli kumtaşı formasyonları arasında yer alan çeşitli eğimlerdeki kömür damarlarında oluşturulan topuklarda oluşan gerilme dağılımları, yer değiştirmeler ve yenilme bölgeleri incelenmiştir. Sonuç olarak, eş yüklü alanlar yaklaşımının eğimli kömür damarlarına da başarı ile uygulanabilecektir. Ancak, eğimli damarlarda belirgin şekilde artan kayma gerilmelerin topuk dayanımı üzerine etkilerinin de topuk tasarımında dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

In this study, the applicability of the tributary area concept to inclined coal seams has been investigated by using the finite element numerical solution method. Pillars sandwiched between medium graded sandstone layers are modelled according to the seam inclination. Distributions of principal stresses and the extent of failed regions within and around the pillars are studied. Finally, results from the numerical studies have shown that the tributary area concept can also be used successfully for inclined seams. However, the maximum shear stresses occurring within the pillar intensify considerably in inclined seams. Therefore, in inclined coal seams, not only the principle stresses but also the maximum shear stress should be taken account.

1. GİRİŞ

Eş yüklü alanlar yaklaşımı (*tributary area*), yeraltı madenciliğinde en yaygın olarak kullanılan topuk tasarımı yaklaşımlarındandır. Bu yaklaşımın tercih edilme nedeni basit olduğu kadar denenmiş ve güvenli bir yöntem olarak kabul görmesidir. Eş yüklü alanlar yaklaşımı, öncelikle, sığ ve orta sığ (< 300 m) derinliklerde oda-topuk yöntemiyle çalışan kömür damarları için geliştirilmiş bir yaklaşımdır (Bieniawski, 1984). Bununla birlikte, basit olması nedeniyle, uzunayak madenciliği ve diğer yeraltı madencilik yöntemlerinde de topuk tasarımında yaygın olarak uygulanmaktadır (King ve Whittaker 1971; Whittaker 1984, Mark ve Bieniawski, 1986) Ancak, bu yöntemin eğimli kömür damarları ve uzunayak madenciliğine uygulanabilirliği üzerine yapılmış bir kaç çalışma (Pariseau, 1982 ; Jeremic, 1985) dışında yeterli sayıda araştırma yoktur.

Bu çalışmada, eş yüklü alanlar yaklaşımının eğimli kömür damarlarına uygulanabilirliği, açıklık ve topuk duraylılığı göz önüne alınarak araştırılmıştır. Araştırmada, PHASE² sonlu elemanlar sayısal gerilme çözümlemesi yönteminden yararlanılmıştır.

2. ORTALAMA TOPUK GERİLMESİNİN TAHMİNİ

2.1 Genel

Topuk tasarımının başlıca unsuru arasında ortalama topuk gerilmesinin tahmini gelmektedir. Ortalama topuk gerilmesinin tahmini konusunda değişik yaklaşımlar ortaya atılmıştır (Salamon ve Oravec, 1976). Bunların başlıcaları;

- topuk deformasyonu yaklaşımı,
- tavan deformasyonu yaklaşımı ve
- eş yüklü alanlar yaklaşımıdır.

Topuk ve tavan tabakalarının deformasyonunu kullanan yaklaşımlar, kayanın ve topuğun doğrusal elastik davranış gösterdiğini kabul ederler. Bu nedenlerden dolayı bu iki yaklaşım daha çok türdeş (homojen) ve doğrusal elastik davranış gösteren kayalar için geçerli olup kömür topuklarına uygulanamazlar. Ancak, eş yüklü alanlar yaklaşımı daha basit ve kömür topuklarına uygulanabilir olması nedeniyle, diğer iki yaklaşımdan daha fazla ilgi görmektedir.

2.2. Eş Yüklü Alanlar Yaklaşımı

Şekil 1 'de gösterilen bu yaklaşıma göre, kazı sonrası topuğa etkimesi gereken toplam kaya yükü; topuğun üzerinde kalan ve yeryüzüne kadar uzanan kaya katmanının oluşturduğu kaya yükü ile topuk çevresinde oluşturulan açıklıklar üzerinden topuğa aktarılan yükün toplamıdır. Yukarıdaki ifade plan görünüşü kare, dikdörtgen, şerit ve gelişigüzel şekilli topuklar için sayısal hale getirilirse;

• Kare Topuklar : $\sigma_p = \gamma \cdot z [1 + W_e / W_p]^2$ [1.a]

veya

$e = 1 - [W_p / (W_p + W_e)]^2$ [1.b]

$\sigma_p = \gamma \cdot z / (1 - e)$ [1.c]

• Dikdörtgen Topuklar : $\sigma_p = \gamma \cdot z [1 + (W_e / W_p)] \cdot [1 + (W_e / L_p)]$ [2]

• Şerit Topuklar : $\sigma_p = \gamma \cdot z [1 + W_e / W_p]$ [3]

• Düzensiz Şekilli Topuklar : $\sigma_p = \gamma \cdot z$ (toplam alan / topuk alanı) [4]

Burada;

a_p = ortalama topuk gerilmesi,

z = derinlik,

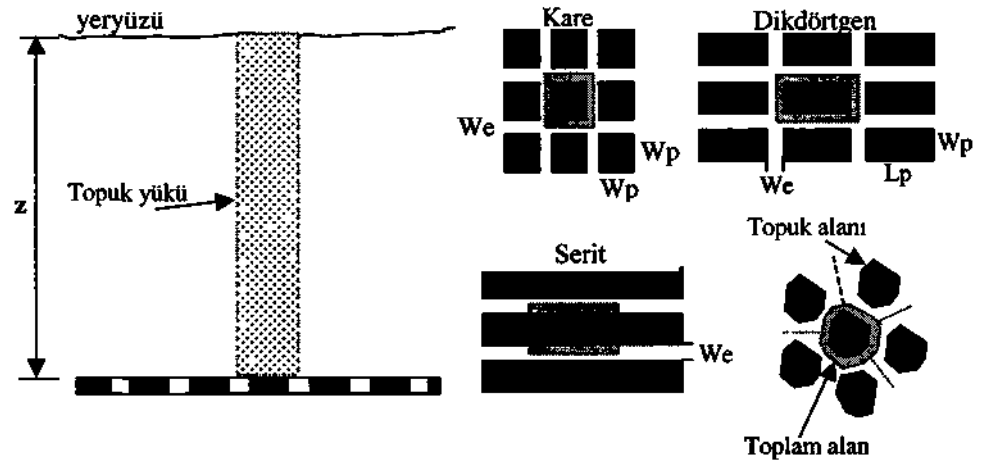
γ = kaya katmanının ortalama birim hacim ağırlığı,

W_e = oda genişliği,

W_p = topuk genişliği,

L_p = topuk uzunluğu ve

e = kazı oranıdır.



Şekil 1. Eş yüklü alanlar yaklaşımında kullanılan bazı kavramlar

2.2.1. Eş Yüklü Alanlar Yaklaşımının İrdelenmesi

Eş yüklü alanlar yaklaşımı pratik bir yöntem olmasına karşın, topuk gerilmelerinin hesaplanmasında bazı önemli noktaları göz önüne almamaktadır. Obert ve Duvall (1967), iki boyutlu fotoelastik deney düzenekleri üzerinde yapmış olduğu oda-topuk modellemeleri sonucunda kazı panosunun ortasında kalan topukların kenar bölgelerden daha fazla yük aldığını belirtmişlerdir. Mark'a (1990) göre kazı oranı yükseldikçe, eş yuklu alanlar yaklaşımının topuk yüklerinin tahminindeki doğruluk derecesi azalmaktadır. Ancak, bu yöntemin oda-topuk madenciliğinde ve uzunayak madenciliğinde topukların boyutlandırılmasında kullanılabilir oranda yeterli olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak, eş yüklü alanlar yaklaşımındaki önemli temel varsayımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

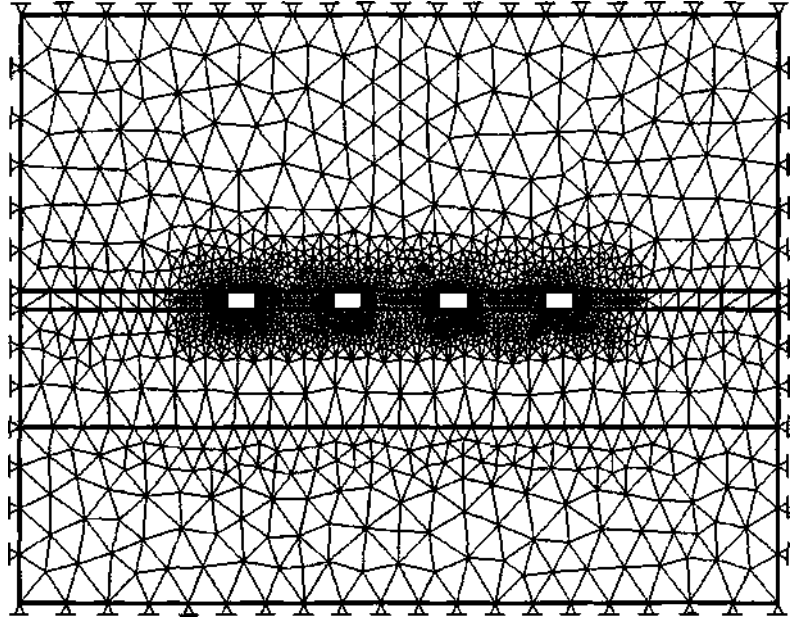
- Kazı bölgesi oldukça geniştir (problem sınır koşullarından etkilenmez).
- Kömür daman sadece düşey yüklere maruz kalır ve bu yüklenme düzgün yayılı yük şeklindedir (komşu topuklar arasında yük transferi olmaz).
- Topuk içerisindeki gerilme dağılımı topuğun genişlik/yükseklik oranından bağımsızdır. Aslında, bu durum gerçek dağılımla uyumlu değildir (Coates, 1970)

3. SAYISAL GERİLME ÇÖZÜMLEMESİ

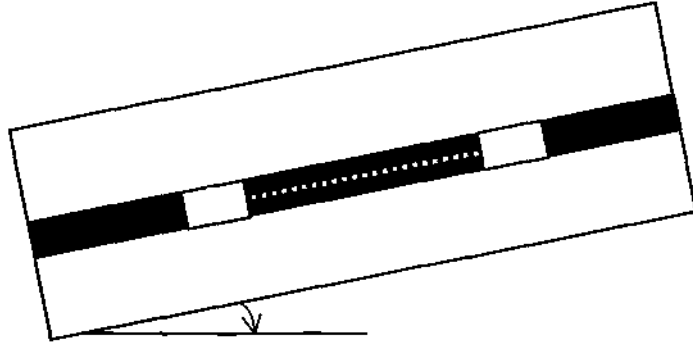
3.1. Problemin Tanımlanması

Problemde, yeryüzünden 300 m derinliğindeki bir kömür damarında oluşturulan, çeşitli damar eğimlerine sahip oda-topuk panoları için elastik ve elasto-plastik genime çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Topuk genişlikleri 15 m, oda genişlikleri 6 m ve damar kalınlıkları 2.5 m olarak seçilmiştir.

Sayısal gerilme çözümlemesinde, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümleme yapan PHASE² (ver. 5.0) programı kullanılmıştır. Problemlerin çözümü kin üçgen şekilli 3 düğüm noktalı sonlu elemanlar kullanılmıştır. Modellerdeki toplam eleman sayısı 3857 ve düğüm noktası sayısı da 1996'dır. Modellerde; 0 ,15 ,30 ,45 ve 60 eğime sahip kömür damarı masif kumtaşı özelliklerine sahip tavan ve taban taşları arasında sandviç şeklinde yer almaktadır (Şekil 2). Sayısal modellerde kullanılan kayaç ve kömür damarına ait bazı mekanik özellikler Çizelge 1 'de verilmiştir. Galeri geometrisi olarak; simetriyi sağlamak ve böylece modeller arasında daha sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için, tavan ve taban taşlarının sınırladığı düzlemler içerisinde kalan kömür damarı içerisinde dikdörtgen kesitli galeriler oluşturulmuştur. Her ne kadar bu durum eğimli damarlar için gerçek uygulamayı yansıtmasa da, problemin basitleştirilmesi açısından anlamlıdır. Benzer şekilde, problem geometrisinde çarpıklık oluşturmamak amacıyla (sonlu elemanlar ağının tüm koşullarda aynı olmasını sağlayabilmek için) damar eğimlerini fiziksel olarak oluşturmak yerine, aynı etkiyi yaratmak için, asal birincil gerilmelerin (P_v ve P_h) yönleri, damar eğiminin yaratacağı etkiyi sağlayacak şekilde değiştirilmiştir. Problem düzlemine dik konumdaki eksenel birincil gerilme ($P_z = P_h$) olarak alınmıştır. Problemin çözümünü yansıtan grafiklerdeki gerilme dağılımları, topuğun orta yüksekliğinden (galeri yan duvarından) başlayan bir hat üzerinde, topuk genişliğince verilmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. Problemin çözümünde kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları.



Şekil 3. Gerilme dağılımlarının gösterildiği kesit hattı.

Çizelge 1. Kaya ve kömür damanna ait bazı jeomekanik özellikler

Mekanik Özellikler	Yan Kayaç	Kömür Damarı
Young Modülü:	20000 MPa	5000 MPa
Poisson oranı:	0.2	0.35
Yenilme Ölçütü:	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Çekme Dayanımı:	5 MPa	0.5 MPa
İçsel sürtünme açısı:	35°	30°
Kohezyon:	10 MPa	1 MPa
Kalıcı içsel sürtünme açısı	30°	27°
Kalıcı kohezyon	5 MPa	0.5 MPa

3.2. Sayısal Gerilme Çözümleri Sonuçları

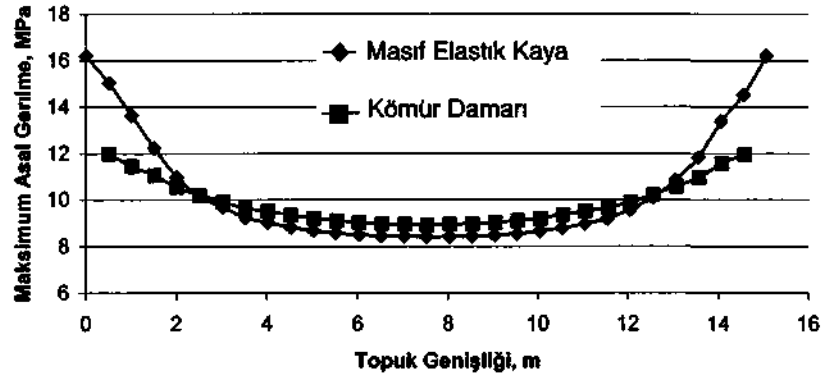
Şekil 4'te maksimum asal gerilme dağılımının A-A' hattında topuk genişliği boyunca değişimi verilmektedir. Şekil 4.a ve b'de elastik ve 4.c'de elasto-plastik çözümlerden elde edilen gerilme dağılımı gösterilmektedir. Şekil 4.a'da, benzer gerilme ortamında oluşturulan kaya ve kömür topuklarında oluşan elastik gerilmelerin dağılımı görülmektedir. Kaya topuklarında, topuk kenarlarında daha yüksek gerilmeler gözlenirken kömür topuklarında gerilmeler topuk kenarlarında daha düşük fakat topuk boyunca kaya topuklarına nazaran daha uniformdur. Diğer taraftan, plastik gerilme dağılımları incelendiğinde, yatay ve yataya yalan kömür damarlarında oluşturulan topukların kalıcı yük taşıma kapasiteleri (Şekil 4.c'deki eğriler altında kalan alanlar), eğimli damarlarda oluşturulan topuklara nazaran daha yüksektir.

Kömür damarlarında damar eğimi azaldıkça topuk genişliği boyunca maksimum asal gerilmelerinin şiddetleri de yakınlaşma göstermektedir. 60° lik damar eğiminde bu daha da belirgindir. Buna göre; damar eğimi arttıkça, topukta oluşan maksimum asal gerilmenin şiddeti de azalma göstermektedir denebilir.

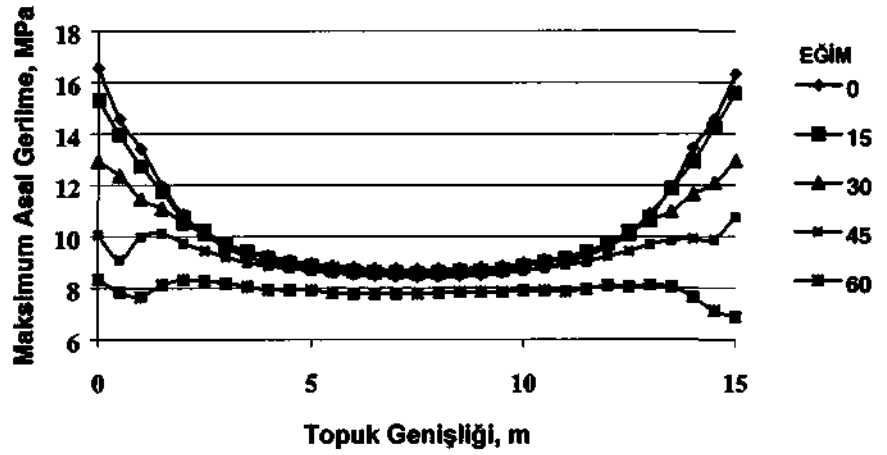
Şekil 5'te topuğa etkiyen maksimum asal gerilmenin topuk genişliği boyunca aldığı değerlerin ortalamasının damar eğimiyle değişimi görülmektedir. Bilindiği gibi eş yüklü alanlar yaklaşımı damar eğimi ve yatay gerilmeleri dikkate almayan bir yaklaşımdır. Dolayısıyla, ortalama topuk gerilmesi değerinin topuk genişliğince sabit olarak kabul eder. Buna göre; eş yüklü alanlar yaklaşımı ile elde edilecek değerler tüm durumlar için, gerilme çözümleriyle hesaplanan değerlerin üzerindedir. Bu da ortalama topuk gerilmesinin tahmininde yaklaşımın güvenli olduğunu göstermektedir.

Hidrostatik gerilme alanında ($k=Ph/Pv=1$), elastik gerilme dağılımı için elde edilen sonuçlar eş yüklü alanlar yaklaşımına en yakın değerleri vermektedir. Bu aynı zamanda, eş yüklü alanlar yaklaşımıyla hesaplanan değerlerin derin madencilik koşullarına ($k=1$) daha yakın sonuçlar verdiğinin bir ölçüsü olarak kabul edilebilir.

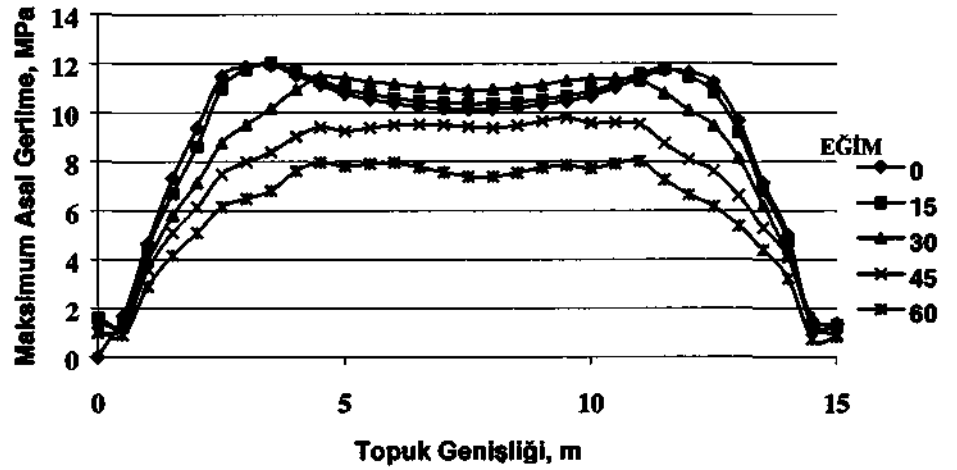
Damar eğiminin 0-20° ye kadar değişim gösterdiği ve kömürün elastik davrandığını kabul edildiği durumlarda, eş yüklü alanlar yaklaşımıyla hesaplanan değerler, sayısal gerilme çözümleriyle bulunan değerlere oldukça yakındır (Şekil 5). Ancak, damar eğiminin artmasıyla birlikte sayısal çözümlerle değerleri daha düşük ortalama maksimum asal gerilme değerleri öngörmektedir. Şekil 6, topuk içerisindeki yenilme bölgeleri ve Mohr-Coulomb ölçütüne göre güvenlik katsayılarının (dayanım/etkiyen gerilme) damar eğimiyle değişimini göstermektedir. Dikkat edilecek olursa, aynı gerilme koşulları altında, damar eğiminin artmasıyla birlikte yenilme bölgelerinde de belirgin bir artış gözlenmektedir. Yenilme bölgesinin genişliği açısından, 45° lik damar eğimi en kritik eğim olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, ikincil gerilmelerin yön ve şiddetlerinin değişmesi sonucu topuk içerisinde oluşan kayma gerilmelerinin büyümesi ve kömürün dayanımını aşması olarak gösterilebilir. Bu durum Şekil 7'de açık olarak görülmektedir. En yüksek kayma gerilmesi değerleri (Tan^*), 45° ve 60° eğime sahip damarlarda oluşmaktadır. Yenilmeler galeri yan duvarlarında çekme-kayma modundayken topuk içlerine doğru yalnızca kayma yenilmeleri şeklindedir.



(a)

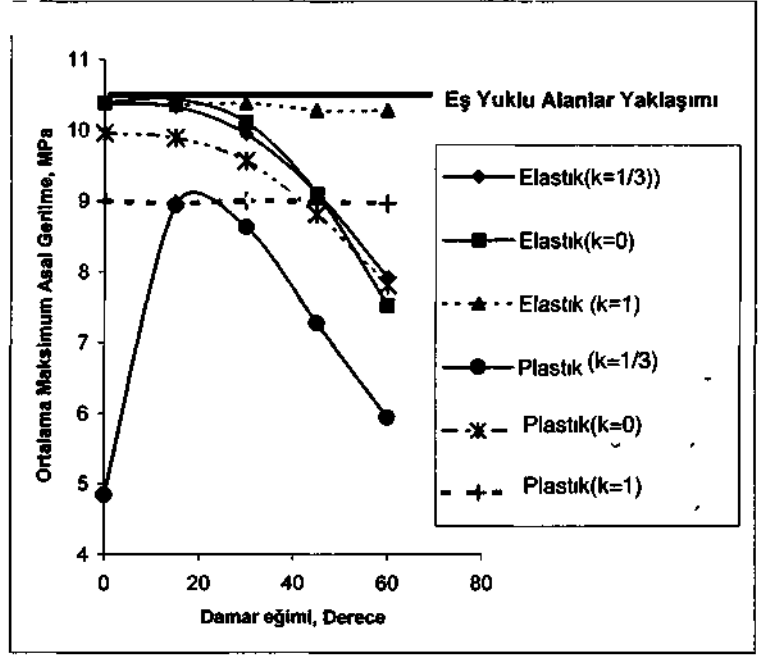


(b)



(c)

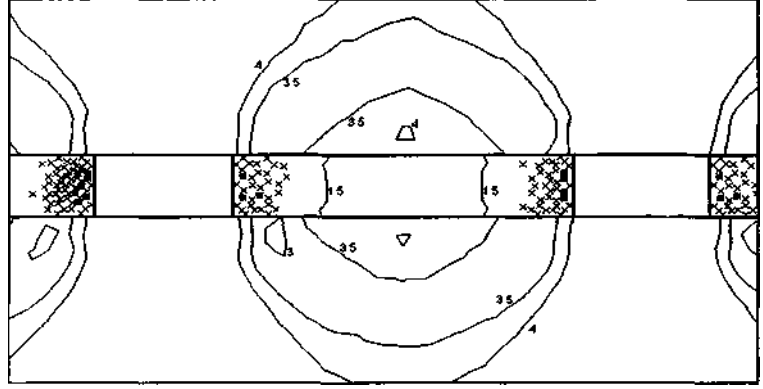
Şekil 4. Maksimum asal gerilmenin (a) topuk genişliği boyunca değişimi.



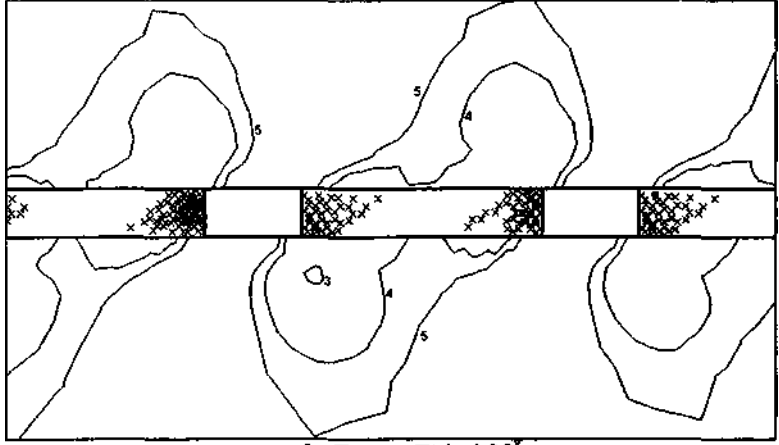
Şekil 5. Ortalama maksimum asal gerilmenin topuk genişliğince değişimi

4. SONUÇLAR

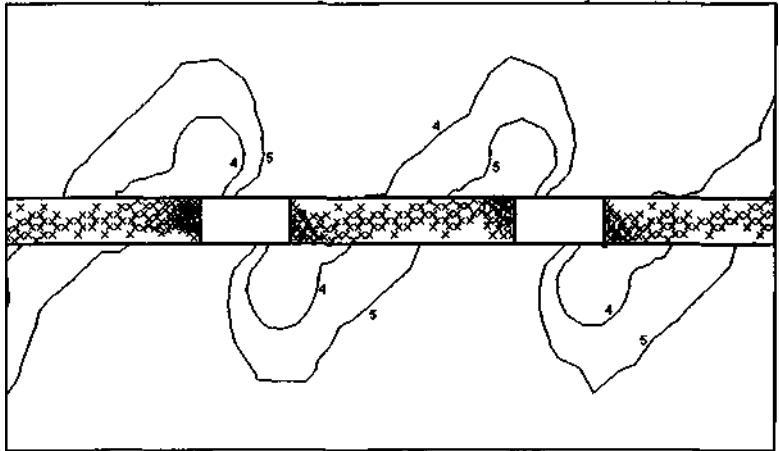
Bu çalışmanın sonuçlarına göre, eş yüklü alanlar yaklaşımı, 0°-20° arasındaki damarlara uygulanabilecek yeterlikte sonuçlar veren bir yaklaşımdır. Ancak, yatay ve yataya yakın damarlarda etkin olan asal gerilmelerin neden olduğu maksimum kayma gerilmesi değerleri, eğimli damarlarda oluşan değerlerden (20° den büyük) oldukça düşüktür. Yüksek eğim açlarına sahip damarlarda, az eğimli damarlara nazaran topuk içerisinde daha geniş yenilme bölgeleri oluşmakta ve özellikle galerilerin topuk tarafına yakın bölgelerde (eğime göre alt ve üst köşeler) aşırı gerilme yığılmaları gözlenmektedir. Pratikte de, eğimli damarlarda taban yollarında bağ omuzlarının asimetrik yüklenmesi ve bakır komur topuğu tarafında bağ ayaklandırın galeri içerisine doğru burkulması şeklinde gözlenen olaylar, benzer gerilme koşulların bir neticesi olarak irdelenebilir. Sonuç olarak, eğimli damarlar için gerçekleştirilecek topuk tasarımında daha dikkatli olunması ve gerektiğinde topuk yan duvarlarının ek tahkimat önlemleri alınarak desteklenmesi önerilmektedir. Topuğun yenilmesi, tamamen bütünlüğünü kaybetmesi anlamında algılanmamalıdır. Önemli olan servis açıklıklarının kullanım süresince tamir ve tarama gerektirmeden hizmet vermesidir. Eğimli damarlarda oluşturulacak topuklarda asıl önemli olan asal gerilmelerin büyüklüklerinden çok, bunların yön ve şiddetlerinin değişmesiyle oluşacak en yüksek kayma gerilmelerinin kömür damarları üzerine etkisidir.



a- Damar Eğimi 0

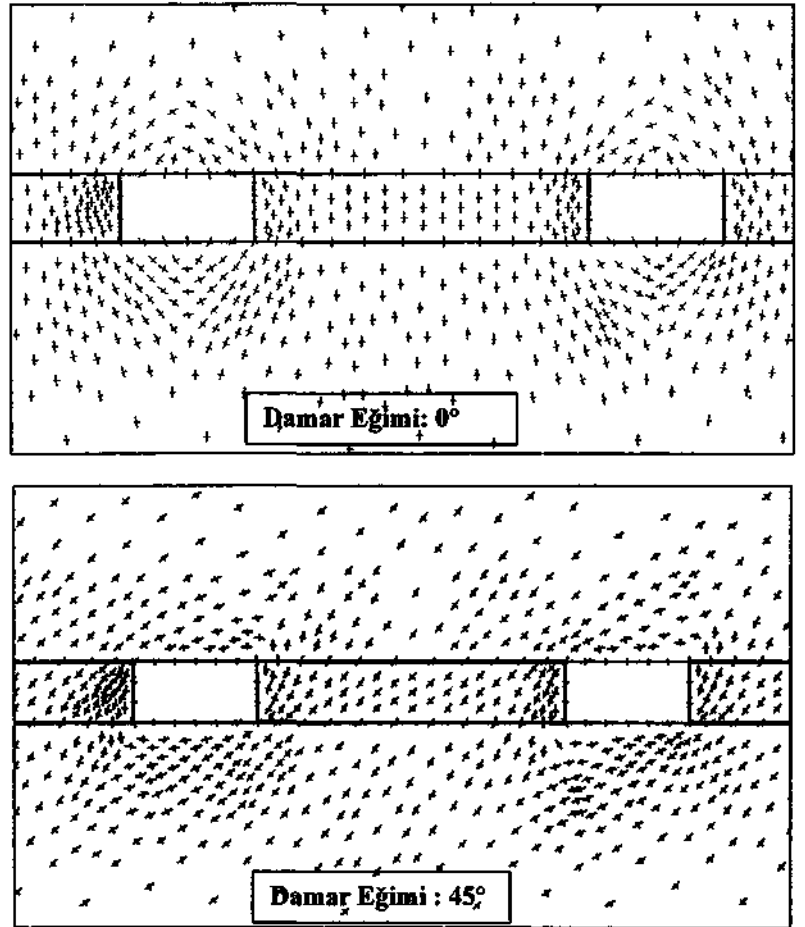
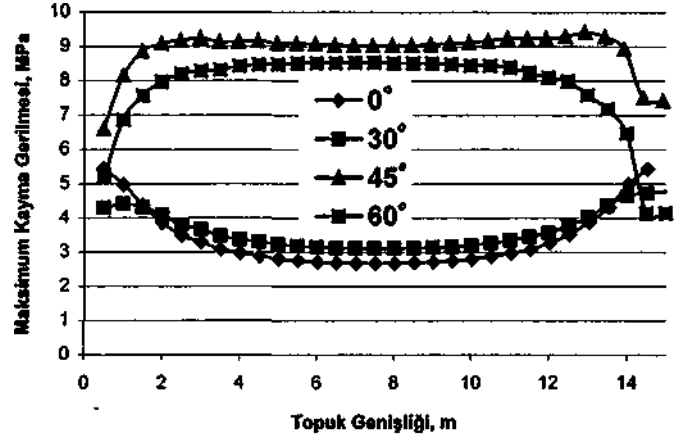


b- Damar Eğimi 30



c- Damar Eğimi 45

Şekil 6. Yenilme bölgeleri ve güvenlik katsayılarının damar eğimiyle değişimi.



Şekil 7. Maksimum kayma gerilmesinin topuk boyunca değişimi ve asal gerilme akılan.

5. KAYNAKLAR

- Bieniawski, Z. T.** (1984) *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, A. A. Balkema, Rotterdam, 272 pp.
- Coates, D. F.** (1970) *Rock Mechanics Principles*, Mining Branch Monograph 874, Canada.
- Jeremic, M. L.** (1985) *Strata Mechanics in Coal Mining*, A. A. Balkema, Rotterdam, 566 pp.
- King, H. J. and Whittaker, B.N.** (1971) A review of current knowledge on roadway behaviour, especially the problems on which further information is required, *Proc. of the Symposium on Strata Control in Roadways*, University of Nottingham, pp. 73-89.
- Mark, C.** (1990) *Pillar design Methods for Longwall Mining*, USBM Information Circular, IC 9247, 53 pp.
- Obert, L. and Duvall, W. I.** (1967) *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*, John Wiley and Sons Inc., New York, 650 pp.
- Parisau, W.G.** (1982) Shear stability of mine pillars in dipping seams, *Proceedings 23rd Symposium on Rock Mechanics*, The University of California, Berkeley, California, pp. 1077-1090.
- Rocscience** (2001) *PHASE² 2D Finite Element Program for Calculating Stresses and Estimating Support Around Escavations-User's Guide*, Rocscience Inc., Toronto, 173 pp.
- Salamon, M. D. G. and Oravec, K. L.** (1976) *Rock Mechanics in Coal Mining, Chamber of Mines of South Africa*, PRE) series, 198, pp. 59-65.
- Whittaker, B. N.** (1984) Chain pillar design considerations with reference to longwall mining, *The CoalJournal* (Australia), August, pp. 50-58.

