
GALERİ VEYA TÜNEL KAVŞAKLARININ TASARIMI

Hasan GERÇEK (*)

ÖZET

Yeraltı madencilik ve inşaat mühendisliği açıklıklarında sıkça oluşturulan galeri veya tünel kavşakları, yapısal olarak zayıf bölgelerdir. Bu çalışmada, bu bölgelerde duraysızlık potansiyelini artıran nedenler tartışılırken kavşakların çevresinde oluşan üç boyutlu ikincil gerilme alanına özel bir önem verilmiştir. Yüksek ikincil gerilmelerin büyüklüğü ve dağılımı ile birlikte bir kavşağın etki gölgesinin genişliği incelenmiştir. Son olarak da kavşakların tasarımı ve tahkimatı için bazı pratik yaklaşımlar önerilmiş ve yaygın olarak kullanılan uygulama örnekleri özetlenmiştir.

ABSTRACT

Gallery or tunnel intersections, which are frequently developed for underground mining and civil engineering openings are structurally weaker regions. In this study, the important causes which increase the instability potential in these regions have been investigated while a special consideration is given to the three-dimensional induced stress field that occurs around intersections. The magnitude and distribution of high induced stresses along with the extent of the zone of influence of an intersection have been investigated. Finally, some practical approaches for the design and support of intersection have been investigated. Finally, some practical approaches for the design and support of intersection have been suggested and examples of widely used applications have been summarized.

* Y. Doç. Dr., HÜ Zonguldak Müh. Fak., Maden Müh. Böl.; ZONGULDAK

1. GİRİŞ

Geometrik anlamda, galeri kavşağı iki ya da daha fazla galerinin ortak noktalarının yer aldığı bölgedir. Ancak mühendislik açısından daha anlamlı bir yaklaşım ile kavşaklar, iki veya daha fazla galerinin belirli bir bölgede birleşmesi sonucu kesit geometrilerinde oluşan ani değişiklikten etkilenen yapısal bölgeler olarak tanımlanabilir.

Yeraltı madenciliğinde, mevcut bir galeriden bir ya da daha fazla kolun ayrılması veya farklı galerilerin kesişmesi ile oluşan kavşaklarla yaygın olarak karşılaşılır. Kavşağı oluşturan galerilerin kullanılış amaçları, tipleri ve kesit geometrileri (şekil ve boyutları) aynı olabileceği gibi, birbirinden oldukça farklı özellikler de gösterebilir. Havalandırma, taşıma ve ulaşım gibi çok önemli madencilik işlevlerinin birbirini kesen yeraltı yolları boyunca sürekliliğini sağlaması bakımından kavşaklar, bir yeraltı madenin kritik kilit noktaları olarak düşünülebilir. Özellikle oda-topuk üretim yönteminin uygulandığı çalışmalarda, kavşaklar ya da yol kesişmeleri sistemin kaçınılmaz parçalarıdır.

Benzer şekilde, yeraltı enerji santralleri, metro sistemleri, kanalizasyon ya da su tünelleri gibi inşaat mühendisliği yapılarında da yeraltı kavşaklarına sıkça rastlanmaktadır. Örneğin: Kuzey Galler'de inşa edilen Dinorwic yeraltı hidroelektrik santrali için açılan çeşitli tünellerde 35 adet kavşak oluşturulmuş olup (1), bu sayıya tünellerin geniş açıklıklar ile yaptıkları 50'den fazla kesişme dahil değildir (2).

Kavşaklar, yeraltındaki madencilik ve diğer amaçlı açıklıklarda fazla sayıda inşa edilmelerine ve galeri veya tünellerin yapısal yönden zayıf bölgeleri olmalarına karşılık, kazı ve tahkimatları için gerekli ek önlemlerin yeterli derecede önemsenmemesi yüzünden duraysızlık ve göçükler ile sıkça karşılaşılan yerlerdir (3, 7).

Tasarımı, çoğu zaman iki boyutlu yaklaşımlarla ve geliştirilen çok güçlü gerilme ve durayık çözümlenmesi yöntemleriyle oldukça sağlıklı olarak yapılabilen galeri ya da tünellerde, üç boyutlu yaklaşımların kullanılmasını gerektiren bölgeler arasında yer alan kavşaklar, bu bildirinin konusunu oluşturmaktadır. Bildiride sırasıyla önce yeraltı açıklıklarının bu çok özel bölgelerinde karşılaşılan duraysızlık nedenleri incelenecek; sonra, kavşakların çevresinde oluşan etki alanı, ikincil gerilmeler ve dağılımı ile ilgili bilgiler verilecek; son olarak da kavşakların kazı ve tahkimatı açısından gözönünde bulundurulması gereken özel önlemler ile kullanılan tasarım yaklaşımları sunulacaktır.

2. KAVŞAKLARDAKİ DURAYSIZLIK NEDENLERİ

Bütün yeraltı açıklıklarında, çalışma süresince ve hizmet koşullarında duraylılığın sağlanması, tasarımın temel amacını oluşturmakta-

dır. Bu yüzden, yapısal duraysızlık sorunlarının ve nedenlerinin belirlenmesi bu yolda atılacak ilk adım olacaktır. Galerilerin kavşak bölgelerinde (diğer kısımlara oranla) daha belirgin bir şekilde ortaya çıkan duraysızlık potansiyeline, aşağıda sıralanan başlıca nedenlerden biri ya da bir kaçının birlikte etkileşimi yol açmaktadır (8, 9).

1. Kavşaklarda, desteklenmesi gereken tavan açıklığı, kavşağı oluşturan açıklıkların tavan genişliğinden genellikle daha büyüktür. Kaya kütlelerinin sınıflandırma sistemlerinden de bilindiği gibi, aynı kaya lmtlesi sınıfında (aynı yapısal bölgede) yapılan kazılarda, açıklığın genişletilmesi sonucu ortamın "desteksiz olarak ayakta kalma süresi" kısılırken "kaya yükü yüksekliği" artmaktadır (Şekil-1.a).

2. Açıklığı çevreleyen ortamdaki süreksizlik veya eklem takımlarının konumunun (doğrultu ve eğiminin) açılan galerinin doğrultusuna göre değerlendirilmesi söz konusu olduğu zaman, kavşağı oluşturan açıklıkların hepsi için aynı derecede olumlu bir durumu sağlayacak bir yol kesişmesi tasarımı oldukça zordur. Örneğin, kesişen galerilerden birinin doğrultusuna çok uygun konumda olan süreksizlikler, kavşak çevresinde diğer galeri için olumsuz bir durum yaratabilir (Şekil-1.b).

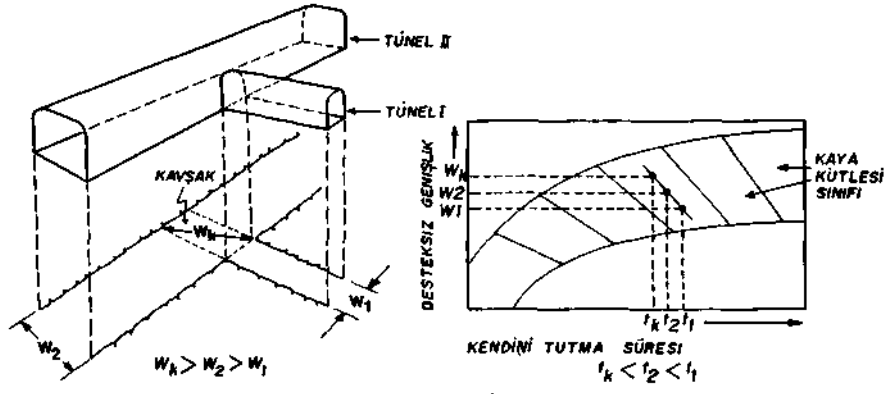
3. Kavşaklarda, galerilerin yan duvarları tarafından sağlanan destek ortadan kalkmıştır. Kavşak köşelerinde, yanal desteğin kaldırılması ve birden fazla serbest yüzeyin ortaya çıkması, eklemli ortamlarda yapılan kazılarda, birden fazla doğrultuda hareket edebilen duraysız blokların oluşmasına yol açabilir (Şekil-1.c).

4. İkincil gerilmelerin bir kavşak çevresindeki dağılımı, galerinin uzun eksenli boyunca kesit geometrisinde oluşturulan ani farklılaşma yüzünden üç boyutlu bir değişim kazanır. Bu durumda, bir bakıma, kavşağı oluşturan açıklıkların her biri etrafındaki gerilme dağılımı kavşak çevresinde birbiri üzerine binmekte ve özellikle köşelerde yüksek teğetsel gerilme yığılmaları oluşmaktadır (Şekil-1.d).

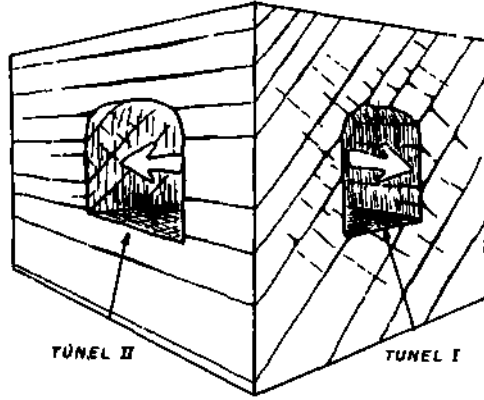
Gerçekten, kavşak bölgesi, hem kavşağı oluşturan açıklıkların ayrı ayrı özellik ve koşullarını içerir hem de yeni geometrinin ortaya çıkardığı koşullardan etkilenir. Bu durumda, yeraltı açıklıklarının duraylılığında rol oynayan unsurların etkisi, kavşaklarda daha belirgin ve daha kritik bir şekilde kendini gösterecektir.

3. KAVŞAK ÇEVRESİNDEKİ GERİLMELER

Galeri kavşakları ve çevresinde ortaya çıkan yapısal duraysızlık potansiyeli nedenlerinin çeşitli olması, kavşakların tasarımı ve tahkimatını maden mühendisi için zorlaştırmaktadır. Ancak, bu nedenlerden birisi olan kavşak çevresindeki "ikincil gerilme alanı"nın incelen-



(a)



TUNEL EKSENİ
EKLEM SİSTEMİNİN
DOĞRULTUSUNA DIK

EĞİM > 45°

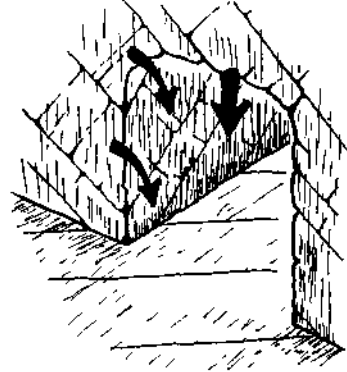
KAZI, EĞİM YONUNDE

"ÇOK OLUMLU"
(JEOMEKANİK SINIFLANDIRMA SİSTEMİ'NE GÖRE)

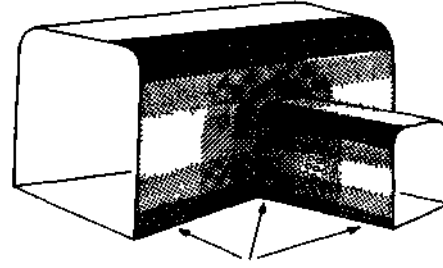
TUNEL EKSENİ
EKLEM SİSTEMİNİN
DOĞRULTUSUNA PARALEL

EĞİM > 45°

(b)



(c)



(d)

Şekil 1 — Kavşaklardaki başlıca duraysızlık nedenleri

mesi, tasarım için gerekli bazı önemli ölçütlerin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır.

Bilindiği gibi, yeraltı açıklarının (örneğin: tünellerin) kesişmesi problemi üç boyutludur. Bu yüzden, bir kavşak çevresinde oluşan ikincil gerilmelerin ve yer değiştirmelerin dağılımı ancak üç boyutlu yöntemler ile incelenebilir. Nitekim "tünel kesişmeleri" problemi, matematiksel kapalı çözümü olmaması yüzünden fiziksel model (fotoelastik ve ölçekli modeller) ve sayısal gerilme çözümlemesi (sonlu elemanlar ve sınır elemanları) yöntemleri ile çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu bölümde, söz konusu araştırmaların ışığında ortaya çıkan bazı sonuçlar özetlenecektir. Her ne kadar bu araştırmalarda daire ve dikdörtgen gibi basit kesit şeklinde ve eşit büyüklükteki açıklıkların kesişmeleri incelenmişse de, aşağıda sunulan sonuçlarda farklı kesit geometrisindeki açıklıkların oluşturabilecekleri kavşaklar da gözönünde bulundurulmuştur.

3.1. Kavşağın Etki Bölgesi

Belirli birincil gerilme koşullarında, bir kavşağın etki bölgesinin genişliği, öncelikle kavşak tipine bağlıdır ve kavşağı oluşturan açıklıkların birbirine göre konumları ile kesit geometrilerinden etkilenir. Bu durumda aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

1. Az sayıdaki açıklıkların oluşturduğu kavşağın etki bölgesinin daha küçük olması beklenmelidir (Şekil-2 a).

2. Kesişme açısı daraldıkça, kesişen açıklıklar arasında kalan yüksek gerilme bölgesinin genişliği de artacaktır (Şekil-2.b).

3. Etki alanı geniş olan açıklıkların kesişmesi ile oluşan kavşakların etki bölgeleri de geniş olacaktır (Şekil-2 c).

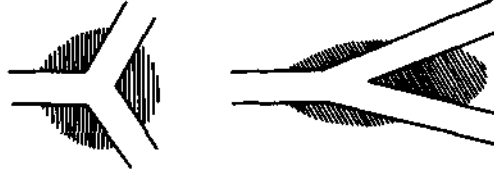
4. Aynı kesit şekilli ancak farklı boyutlarda olan iki açıklığın kesişmesi durumunda, büyük kesitli açıklığın diğer açıklık çevresinde oluşan gerilmeler üzerinde daha geniş bir etkisi olacaktır (Şekil 2c).

Yapılan araştırmalar, kusursuz, mekanik özellikteki elastik ortamlarda açılan, kesit geometrileri aynı olan tünellerin kesişmesi ile oluşan üçyol veya dörtyol kavşaklarında, kesişme açısı 45 dereceden daha küçük olmadığı sürece, kavşağın etki bölgesinin* kavşak merkezinden yaklaşık iki tünel genişliği uzaklıkta sona erdiğini göstermiştir (9-13). Aslında, gerçek yeraltı koşulları gözönünde bulundurulursa, bu uzaklık kavşak köşesinden yaklaşık bir galeri genişliği olarak alınabilir.

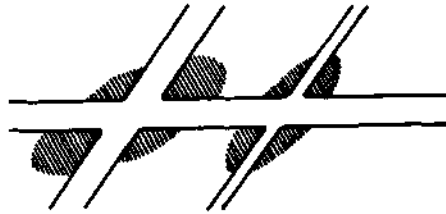
* Kavşağı oluşturan açıklıklardan her biri çevresindeki gerilme dağılımının, te kbir açıklık olması durumundaki gerilme dağılımına pratik olarak Cp%5) yaklaştığı noktaların sınırladığı kavşak çevresindeki üç boyutlu bölge.



(a) KAVŞAK TİPİNİN ETKİSİ



(b) KESİŞME AÇISININ ETKİSİ



(c) AÇIKLIK BOYUTLARININ ETKİSİ

Şekil 2 — Bir kavşağın etki bölgesinin genişliğine etkiyen geometrik faktörler

3.2. İkincil Gerilmeler

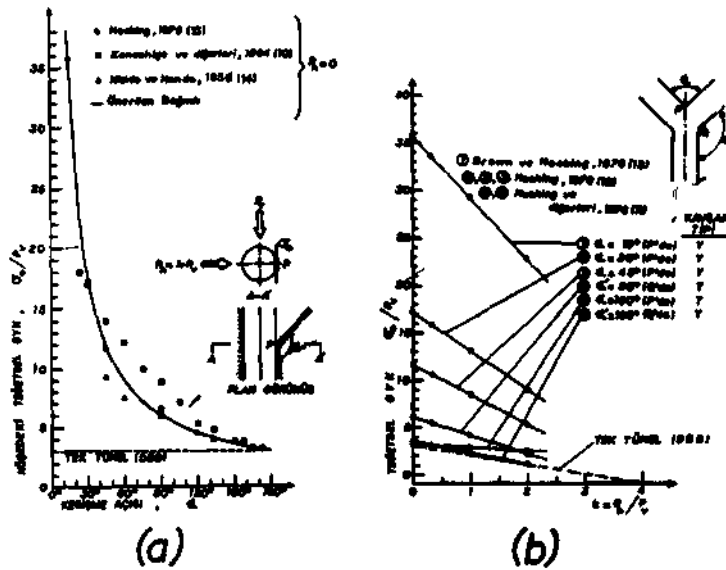
Ortamdaki en büyük asal birincil gerilme düşey konumda olduğu zaman açıklıkların yan duvarlarında oluşan teğetsel gerilmeler kavşağa yaklaştıkça artarak köşede en yüksek değerlerine ulaşırlar. Bu değerlerin büyüklüğü, kesişme açısından ve birincil gerilme alanından yüksek derecede etkilenir. Elastik ortam koşullarında, aşağıdaki önemli bulgular gözönünde bulundurulmalıdır.

1. Düşey birincil gerilmenin yatay birincil gerilmelere eşit ya da daha büyük olması ($P_v > P_h$) durumunda, bir kavşak köşesindeki teğetsel gerilme yığılması katsayısı (a_0 / P_v), açıklıkların kesişme açısı C_{α} ile düzenli bir şekilde değişmektedir ve değeri yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı kullanılarak tahmin edilebilir'

$$\left(\frac{\sigma_{\theta}}{P_v}\right)_{\text{köşe}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\sigma_{\theta}}{P_v}\right)_{\text{tünel I}} + \left(\frac{\sigma_{\theta}}{P_v}\right)_{\text{tünel II}} \right] \frac{180^\circ}{\alpha}$$

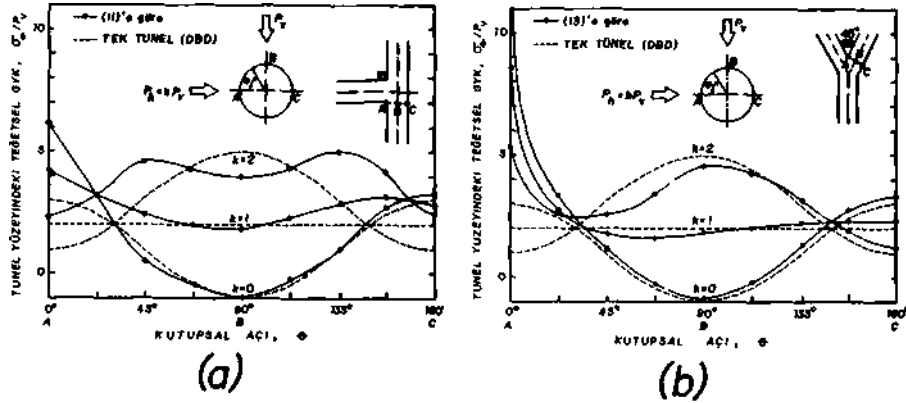
Burada, köşeli parantez içindeki terimler, açıklıkların kesişen yan duvarlarında kavşaktan çok uzakta oluşan teğetsel gerilme yığılması katsayısı (veya kısaca teğetsel GYK) değerleridir. Bu bağıntının, bazı araştırmacıların (11-14) bulguları ile uyumluluğu ve tek bir tünelde düzlem birim deformasyon (DBD) durumunda oluşan değer ile karşılaştırılması tek eksenli birincil gerilme durumu ($P_h = 0$) içm Şekil 3-a'da gösterilmiştir.

2. Yatay birincil gerilmelerin, düşey birincil gerilmeye oranı ($k = P_h/P_v$) sıfır'dan bir'e doğru arttıkça, köşenin orta yüksekliğinde oluşan en yüksek teğetsel GYK azalmakta (Şekil- 3.b) ve bu oran bir'den daha büyük değerler aldıkça en yüksek teğetsel gerilme noktası, kavşağın tepe noktasına doğru kaymaktadır (11, 13).



Şekil 3 — Kavşak köşesinde oluşan teğetsel gerilmenin kesişme açısı ve birincil gerilmelerin oranı ile değişimi

3. Üçyol kavşaklarında, kavşak köşesinin karşısındaki tünel yan duvarında oluşan teğetsel gerilmeler, kavşağın varlığından fazla etkilenmemektedirler (9, 11-13, 15). Bazı araştırmacıların bulgularından seçilen değerler kullanılarak, bu ilginç durum "T" ve 45 derecelik "Y" - tipi kavşaklar için Şekil 4.a ve 4.b'de gösterilmiştir.



Şekil 4 — Üçyol kavşaklarında, köşe çevresindeki teğetsel gerilmelerin tek bir tünel yüzeyinde oluşan gerilmeler ile karşılaştırılması

4. Çok dar açılı "Y" - tipi kavşaklarda, kesişen yan duvarların orta yüksekliğinde oluşan teğetsel GYK değeri köşeden yaklaşık iki tünel genişliği uzaklıkta, iki paralel tüneli yakın duvarlarında oluşan değerlere yakınsamaktadır (13, 15).

5. Açıklık yan duvarlarında oluşan aksel (tünelin uzun eksenini doğrultusundaki) gerilmeler, kavşağa yaklaşırken azalmakta ve kavşak köşesinde kaybolmaktadır (12). Yani kavşak köşesinde, çevre kayaç gerçek anlamda tek eksenli gerilme altındadır.

6. Kavşak tavanı yüzeyinde oluşan ikincil gerilmeler, aynı koşullarda tek bir tünelin tavanında oluşan gerilmelerden çok az farklıdır (9-13). Aynı yükseklikteki tünellerin kesişmesi durumunda, kavşağın tepe noktasında, açıklıkların tepe noktalarındaki teğetsel ve aksel gerilmelerin etkileşimi sonucu iki eksenli gerilme durumu oluşacaktır (Örneğin.- $k < 1/3$ olduğu zaman, tepe noktasında gerçek bir iki eksenli çekme durumu beklenmelidir).

7. Yüksek yatay birincil gerilme koşullarında, kavşak tavanındaki duraylığın azaldığı, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan bir araştırmada (9) ve deneysel arazi çalışmalarında (16) kanıtlanmıştır.

Öyle ki yatay birincil gerilmeler, düşey gerilmenin birkaç katına ulaştığı zaman kavşağın tavanında kubbe şeklinde bir aşırı gerilme zonu oluşmaktadır (9). Bu durum, oda-topuk yöntemi ile çalışılan kömür madenlerinde kavşaklarda gözlenen göçük tipini bir bakıma açıklamaktadır (9, 16).

4. TASARIM VE TAHKİMAT ÖNERİLERİ

Yukarıda özetlenen bilgiler ışığında, kavşakların tasarımı ve tahkimatı üzerine aşağıdaki öneriler ve yaygın uygulama yaklaşımları sunulmuştur.

1. Dar açılı kavşak köşeleri yüksek gerilme yığılması bölgeleridir ve bu tip keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Zaten uygulamada da böyle köşeler duraylı bir genişliğe kadar kazılmakta ve sonra havalandırmada kolaylık sağlamak amacıyla yeniden inşa edilmektedir (11, 13, 17).

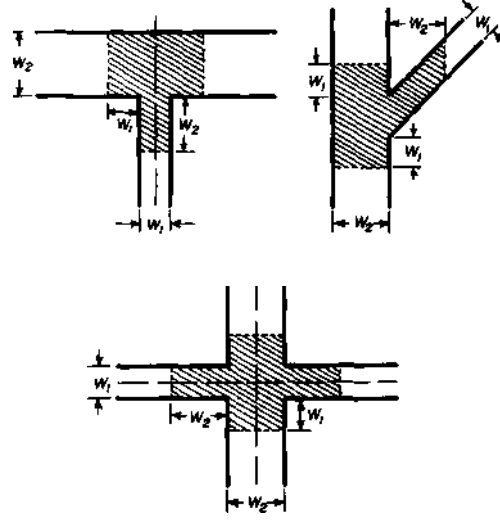
2. Olanakların elverdiği ölçüde, kavşağı oluşturan açıklıkların birbirini eşit açılarla kesmesi sağlanmalıdır (örneğin: dört yol kavşaklarının dik açılı olması).

3. Bir üç yol kavşağının, benzer bir dört yol kavşağından daha duraylı olabileceği unutulmamalıdır. Koşullar ve özellikle maliyetler uygun olursa, bir dört yol kavşağı yerine birbirinden belirli bir uzaklıkta inşa edilen iki üç yol kavşağı kullanılabilir.

4. Kavşak bölgelerine yaklaşıırken, daha olumlu gerilme yığılmaları oluşacak şekilde, açıklıkların yan duvarlarındaki ve kavşak köşelerindeki eğrilik yarıçapları büyütülebilir. Ancak, yeraltı açıklıklarında bağıl eğrilik yarıçapının küçük olduğu yüzeylerde, çevre kayacın içerlerine doğru gidildikçe çabucak azalan yüksek teğetsel gerilmelerin oluştuğu; öte yandan, eğrilik yarıçapının büyük olduğu yüzeylerde oluşan daha küçük teğetsel gerilmelerin ise açıklıktan uzaklaştıkça daha yavaş bir şekilde azaldığı unutulmamalıdır. Buna göre, dar bir bölgede sınırlı kalın çevre kayaç yenilemelerine izin verilebilen madencilik açıklıklarının tasarımında, açıklık çevresinde aşırı gerilme altında kalan bölgenin genişliğinin, açıklık yüzeyinde belirli noktalarda oluşacak gerilmelerin büyüklüğünden daha önemli olduğu hatırlanmalıdır (8, 9).

5. Yapılan araştırmalar, tek bir açıklık çevresinde oluşan ikincil gerilme ve yer değiştirmelerin kavşakta aldıkları yüksek değere ulaşmasının göreceli bir şekilde olduğunu göstermiştir. Bu yüzden, kavşaklar için alınacak ek tahkimat önlemleri yalnızca kavşak alanı ile sınırlı kalmamalı, tek bir açıklık için belirlenen tahkimat ölçüleri kav-

şaklara yaklaşılrken göreceli olarak artırılmalıdır. Bu işleme, kavşak girişine en az bir açıklık genişliği (kesilecek olan açıklığın genişliği) kadar bir uzaklıktan başlamanın pratik yararları vardır (Şekil 5).



Şekil 5 — Galerilerde ek tahkimat önlemleri için önerilen bölge ve boyutları

6. Yatay tabakalı ortamlarda açılan düzgün tavanlı (örneğin: dikdörtgen veya yamuk kesitli) galerilerin oluşturacağı kavşaklarda, tavan tabakalarındaki elastiki sarkma ve gerilme çözümlemesinin giriş kuramı yerine plaka yaklaşımı kullanılarak yapılması önerilmektedir (18, 19). Çünkü giriş yaklaşımı, tavan tabakasında oluşan gerilme ve momentlerde çok hatalı (düşük) değerlere yol açmaktadır.

7. Yeraltı açıklıkları için tahkimat tasarımı yaklaşımlarında yaygın olarak kullanılan "kaya yükü yüksekliği"nin kavşaklar için kullanılması durumunda aşağıdaki öneriler getirilmiştir.

- a. Amerikan Ordu Mühendisleri Grubu (US Army Corps of Engineers), kavşaklardaki kaya yükü yüksekliğinin, tek bir tünel için belirlenen değer iki katı olarak alınmasını ve bu değer kavşaktan bir tünel genişliği kadar uzaklıkta yarıya (tek bir tünel değerine) inecek şekilde kavşaktan uzaklaştıkça doğrusal olarak azaltılmasını önermektedir (17).
- b. Diğer bir yaklaşımda ise, dörtyol kavşaklardaki kaya yükü yüksekliğinin, genişliği kavşağın köşegeni kadar olan bir galeriler için elde edilecek değer eşit olduğu varsayılmaktadır (20).

8. Kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerinden bazılarında kavşakların tasarımı için bazı ek düzenlemelere gidilmiştir (21, 23). Bunlardan ikisi aşağıda verilmiştir.

- a. Norveç Jeoteknik Enstitüsü (NGI) tarafından geliştirilen sınıflandırmaya göre, belirli bir bölge için verilen "eklem takımı sayısı (J_n)" değeri, kavşak bölgelerinde, tek bir tünel için kullanılacak değer üç katı olarak alınmakta ve sonuçta elde edilecek olan "tünellilik niteliği indeksi (Q)", normal koşullarda alacağı değer $1/3$ 'ü kadar olmaktadır (21).
- b. Jeomekanik Sınıflandırma Sistemi (Geomechanics Classification System) (22) ile yapılan tasarımlarda, kavşaklar söz konusu olduğu zaman, bir yapısal bölge için belirlenen kaya kütlesi sınıfı yerine bir sonraki düşük nitelikteki kaya kütlesi sınıfının kullanılması önerilmektedir (17).

9. Kavşaklarda alınması gereken ek tahkimat önlemleri için yerleşmiş ya da yaygın olarak kabul edilmiş belirli ölçütlerin sayısı fazla değildir. Bu duruma başlıca neden olarak kavşakların duraylılığını etkileyen ve daha önce değinilen çeşitli etmenler gösterilebilir. Her kavşak, kendi koşulları ve geometrisi gözönünde bulundurularak tasarlanmaktadır. Ancak yine de, konu ile ilgili literatürde yeralan bazı tasarım yaklaşımlarından söz etmekte yarar olduğu düşünülerek aşağıdaki öneriler özetlenmiştir.

- a. Ağaç tahkimat uygulanan galerilerin kesişmesi ile oluşan kavşaklarda mutlaka bir çeşit kilit takviye sistemi düşünülmeli (24, 25), kavşak çevresinde ve kavşaklarda bağ aralıkları azaltılmalıdır.
- b. Çelik bağlar ile desteklenen galerilerin kesişmesi durumunda kavşak tahkimatı oldukça önemli zorlukları da birlikte getirmektedir. Bağlar özel olarak, kavşak belgesinde kullanılacakları konuma uygun boyut ve şekillerde önceden hazırlanarak belirli bir sıraya göre kurulurlar (24, 26). Ayrıca, kavşaklara yaklaşıırken göreceli olarak artması beklenen yüklerle karşı gerekli önlemler alınmalıdır (örneğin: bağ aralıklarının azaltılması, sıkılma takozları sayısının artırılması, daha büyük kesitli çelik profillerin kullanılması, vb. gibi).
- c. Kaya saplamalarının kullanıldığı galerilerde, kavşaklar ve çevresinde alınan ek tahkimat önlemlerinin başlıcaları olarak saplama boylarının uzatılması, saplama aralıklarının azaltılması ve yük taşıma kapasitesi yüksek saplamaların kullanılması gösterilebilir (3, 5, 20, 27). Ayrıca, düz tavanlı galerilerde kullanılabilen kaya çerçevelerinin kavşaklardaki uygulamaları da başarılı sonuçlar vermektedir (28, 29).

5. SONUÇ

Galeri veya tünel kavşakları yapısal olarak zayıf bölgelerdir. Bu bölgelerde karşılaşılan duraysızlık sorunlarının önemli nedenlerinden biri de kavşak çevresinde oluşan ikincil gerilme alanıdır. Kavşak çevresinde oluşan ikincil gerilme dağılımının incelenmesi ve bu dağılıma etki eden önemli unsurların belirlenmesi sonucu kavşakların tasarımı ve tahkimatı için önemli ipuçları elde edilebilir. Ayrıca, kavşaklar için belirlenen ek tahkimat önlemleri yalnızca kavşak bölgesinde sınırlı kalmamalı, kavşağın etki alanının genişliği de göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. ELLIS, I.T., DOUGLAS, T.H. and COPELAND, B.G.T., Dinorwic Power Station, North Wales: Desing and Construction of Tunnels and Shafts. In: Tunnelling '79, M.J., Jones (ed.), The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1979, pp. 15-29
2. PATERSON, T., and ARTHUR, L.J., Tunnel Portals at Dinorwic, Noth Wales. In: Tunnelling '79, M.J. Jones (ed.), The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1979, pp. 3-14
3. STAHL, R.W., Survey of Practices in Controlling Roof at Intersections and Junctions in Underground Coal Mines, US Bureau of Mines Information Circular, IC 8113, 1962, 13 pp
4. UOTHINI, R.B., and SCHONFELDT, H.V., Roof Fall Prediction at Island Greek Coal Company. In: Stability in Coal Mining, I.P.F. Dorling (ed.), Proc. I st Int. Symp. on Stability in Coal Mining, Vanvouver, BC, Miller Freeman, San Francisco," 1978, pp. 214-227
5. PENG, S.S., Roof Falls in Underground Coal Mines. Technical Report, TR 80-4, Dept. of Mining Engineering, West Virginia Univ., Morgantown, WV, September 1980, 44 pp
6. PATRICK, W.C. and AUGHENBAUGH, N.B., Classification of Roof Falls in Coal Mines, Mining Engineer, Vol. 31, No. 3, 1979, pp. 279-283
7. DOUGLAS, T.H., RICHARDSON, L.R., and ARTHUR, L.J., Dinorwic Power Station-Rock Support of the Underground Caverns. In: Proc. 4 th Int. Congr. Rock Mechanics, ISRM, Montreux, September 1979, A.A. Balkema, Rotterdam, 1979, Vol. 1, pp. 360-368
8. GERÇEK, H., Stability Considerations for Underground Excavation Intersections, Mining Science and Technology, Vol. 4, 1989, pp. 49-57
9. GERÇEK, H., Stability of Intersections in Room-and-Pillar Coal Mining. Doktora Tezi, The Pennsylvania State Univ., 1982, 186 pp
10. KANESHIGE, O., KAWAMOTO, T. and OKAMURA, H., On the States of Stress Distribution Around the Crossing Gallery, Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, Vol. 80, No. 914, 1964, pp. 659-66
11. HOCKING, G., BROWN, E.T. and WATSON, J.O., Three Dimensional Elastic Strees Analysis of Underground Openings by the Boundary In-

- tegral Equation Method. In: Proc. 3rd Symp. Engineering Applications of solid Mechanics, Toronto, -1976, pp. 203-217
12. BROWN, E.T. and HOCKING, G., The Use of Three Dimensional Boundary Integral Equation Method for Determining Stresses at Tunnel Inter-Sections. In: Proc. 2nd Australian Tunneling Conf., Melbourne, August 1976, pp. 55-64
 13. HOCKING, G., Stresse* Around Tunnel Intersections. In: Computer Methods in Tunnel Desing, A. Burt (ed.), The Institution of Civil Engineers, London, 1978, pp. 41-60
 14. NISIDA, M. and HONDO, M., Photoelastic Investigation on the Stress Concentration Due to Intersecting Holes. In: Proc. 5th Japan Nat. Congr. Applied Mechanics, 1955, Science Council of Japan, Ueno Park, Tokyo, 1956, pp. 131-134
 15. WOROTNICKI, G., WOLD, M., ENEVER, J. and WALTON, R., The Application of Physical Modelling Technique to Problems in Tunnelling. In: Proc. 2nd Australian Tunnelling Conf., Melbourne, August 1976, pp. 25-40
 16. HANNA, K., HARAMY, K., CONOVER, D. and DOPP, D., Effect of High Horizontal Stress on Coal Mine Entry Intersection Stability. In: Proc. 5th Conf. Ground Control in Mining, A.W. Khair and S.S. Peng (eds.), June 1986, Dept. of Mining Engineering, West Virginia Univ., Morgantown, WV, 1986, pp. 167-182
 17. BIENIAWSKI, Z.T., Kişisel Görüşme, Dept. of Mineral Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA, 1978
 18. OBERT, L., DUVALL, W.I. and MERRILL, R.H., Desing of Underground Openings in Competent Rock, US- Bureau of Mines Bulletin, No. 587, 1960, 36 pp
 19. WRIGHT, F.D., RATTI, G. and WANG, F.D., Stresses in Mine Roof Slabs Over Rectangular, Elastic Pillars. In: Proc. 4th Int. Conf. Strata Control and Rock Mechanics, Columbia University, New York, NY, 1964 pp. 368-383
 20. ÜNAL, E., Desing Guidelines and Roof Control Standards for Coal-Mine Roofs Doktora Tezi, The Pennsylvania State Univ., 1983, 355 pp
 21. BARTON, NR, LIEN, and LUNDE, J., Engineering Classification of Rock Masses for the Desing of Tunnel Support, Rock Mechanics, Vol. 6, No. 4, 1974, pp. 189-236
 22. BIENIAWSKI, Z.T., Tunnel Desing by Rock Mass Classifications, US Army Eng. Waterways Exp, Stn., Tehn. Rep., GL-79-19, September 1979, 131 pp
 23. KENDORSKI, F.S., CUMMINGS, RA., BIENIAWSKI, Z.T., and SKINNER, EH., Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support. In: Proc. 5th Int. Congr. Rock Mechanics, ISRM, Melbourne, April 1983, A.A. Balkema, Rotterdam, 1983, pp. B51-63
 24. BİRÖN, C., Madenlerde Tahkimat İşleri, İTÜ Müh.-Mim. Fakültesi, Sayı: 83, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1971, 320 s
 25. BİRÖN, C. ve ARIOĞLU, E., Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1980, 777 s
 26. REES, P.B. and TERRELL, W.A., The Desing and Construction of Main Roadway Junctions Underground, Transactions of the Institution of Mining Engineers, London, Vol. 119, 1959, pp. 369-391

27. GERDEN, J.C., SNYDER, V.W., VIEGELAHN, G.L. and PARKER, J., Design Criteria for Roof Bolting Plans Using Fully Resin-Grouted Non-tensioned Bolts to Reinforce Bedded Mine Roof. US Bureau of Mines Open File Report, No. 46 (5) - 80, July 1977, pp. 110-104
28. KMETZ, W.J., Roof Trusses Support Problem Strata, Coal Age, Vol. 75 No. 1, January 1970, pp. 64-68
29. COX, R.M. and WHITE, C.C, Resing and Application of the Mine Roof Truss System. In: Proc. 5th Int. Strata Control Conf., Banff, Canada September 1977, The Canadian Institution of Mining and Metallurgy, 1977, 18 pp