

KAVİSLİ RİJİT ÇELİK GALERİ BAĞLARININ BOYUTLANDIRILMASINDA ÖNEMLİ HUSUSLAR

IMPORTANT CONSIDERATIONS IN DIMENSIONING THE RIGID STEEL ARCHES

M. GENİŞ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

H. GERÇEK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET: Bu bildiri, galerilerin tahkimatında kullanılan kavisli rijit çelik bağların boyutlandırılması için bazı önemli hususlar sunulmuştur. İyi bilinen bir çözümleme yöntemi kullanılarak, sıkılanmış çelik bağlarda oluşan maksimum normal gerilmeler, üç ayrı galeri geometrisi ve iki profil tipi için belirlenmiştir. Ayrıca, arkası iyice doldurulmuş bağlatın tasarımında kullanılabilecek bazı önemli bulgular ve görgül bağıntılar da sunulmuştur.

ABSTRACT: In this paper, some important considerations have been presented for dimensioning the rigid steel arches used for supporting galleries. Using a well-known method of analysis, maximum normal stresses occurring in blocked steel ribs are determined for three different gallery geometries and two rib sizes. In addition, some important findings and empirical equations which can be used in designing the tightly back-packed ribs are also presented.

1. GİRİŞ

Kemer tavanlı galerilerin tahkimatında yaygın olarak kullanılan kavisli rijit çelik bağların boyutlandırılması başlıca iki yaklaşımla yapılmaktadır. Birinci yaklaşım, çelik bağın arkasının doldurulduğu (bağın çevre kaya ile sürekli temas halinde olduğu) durumlarda uygulanır. İkinci yaklaşım ise, kaya yükünün bağ ile kaya arasına sıkılan sınırlı sayıdaki ahşap takoz ya da kamalar yardımıyla çelik bağa iletildiği durumlarda geçerli olmaktadır. Aslında, sıkılama takozu sayısının çok yüksek olması durumunda da bu iki yaklaşım birbiriyle aynı sonuçlar vermektedir.

Ülkemiz yeraltı kömür madenciliğindeki yaygın uygulamalar, her ne kadar ikinci yaklaşımın koşullarımıza göre daha gerçekçi olacağını ortaya koyuyorsa da, pratikte, genellikle yerel deneyimlere dayanan kaba ölçütlerle karşılaşılmaktadır.

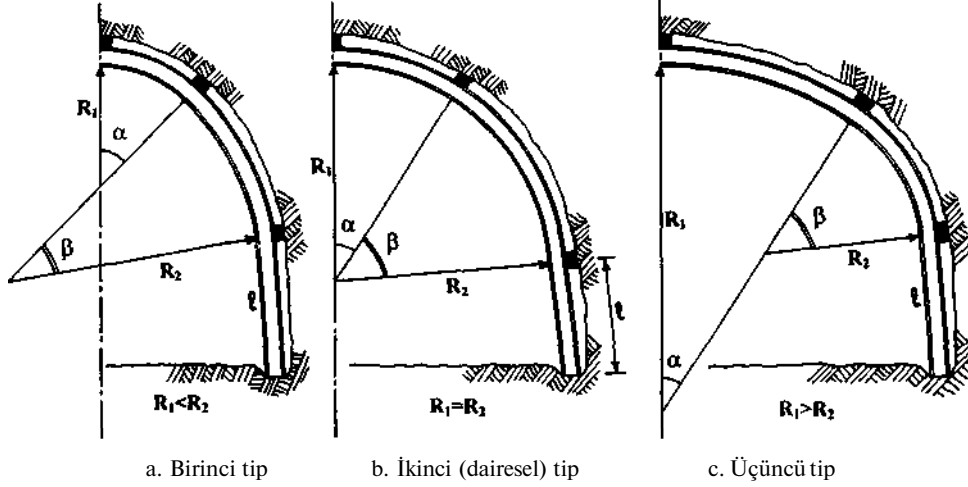
Bu çalışmada, takozlanmış kavisli rijit çelik bağlatın boyutlandırılmasıyla ilgili bazı önemli hususlar üzerinde durulmuştur. Önce, kullanılan yöntem kısaca anlatılmış, göz önünde bulundurulmuş çelik bağ ve sıkılama takozu geometrileri tanıtılmıştır. Sonra, bağ profilinde oluşan maksimum gerilmeler hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak,

yapılan bazı çözümler sonucu elde edilen önemli bulgular ve tasarım amacıyla kullanılabilecek bazı bağıntılar sunulmuştur.

2. YÖNTEMİN TANITIMI

Sıkılama noktalarından yüklenen kavisli rijit bağların boyutlandırılmasında kullanılan yöntemlerin en yaygını Proctor ve White (1946) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, bu tür bağların kullanıldığı yeraltı madenciliği ve tünelcilikte yanm yüzyıldır basan ile kullanılmaktadır. Özgün şekli ile bir dizi grafiksel çözümü içeren Proctor ve White yöntemine göre; çelik bağ geometrisi, bağ profili tipi ve sıkılama takozu düzeni bilindiği zaman, verilen bir kaya yükü yüksekliği ve bağ aralığı için profil kesitinde oluşması beklenen maksimum normal gerilme (a, wd) hesaplanabilmektedir. Özgün kaynağa ek olarak, yöntemin detayları diğer bazı yayınlarda (Woodruff, 1966; Gaylord vd., 1975; US Army Corps of Engineers, 1978; Gerçek, 1991) verildiği için buradan tekrarlanmayacaktır.

Bu çalışmada, Proctor ve White yöntemini analitik bir işlemler dizesi yardımıyla çözüm elde edecek şekilde düzenleyen ve Geniş (1992)



Şekil 1. Çalışmada incelenen bağ geometrileri.

tarafmdan geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

Programa göre; bağ, kavisli ve düz bacak kısımlarından oluşmaktadır. Kavisli kısmın iki farklı eğrilik yarıçapı vardır: a merkez açısı ile tanımlanan R_1 yarıçaplı tavan kısmı ve β merkez açısı ile tanımlanan R_2 yarıçaplı kısım. Eğrilik yarıçaplarının birbirleriyle olan ilişkisine göre üç tip bağ geometrisi tanımlanabilmektedir (Şekil 1):

- birinci tipte $R_1 < R_2$,
- ikinci (dairese) tipte $R_1 = R_2$ ve
- üçüncü tipte $R_1 > R_2$ dir.

Çözümlerde iki tür sıkılama takozu göz önünde bulundurulmuştur. Birinci tür sıkılama takozlarının yeri bağm sıkılama takozu sayısından etkilenmemektedir. Üç adet olan bu takozlardan biri bağm tepe noktasma, ikincisi eğrilik yarıçapının değiştiği noktaya ve sonuncu da bağ bacağının düzleştiği noktaya konmaktadır (Şekil 1'de gösterilen takozlar bu türdendir). İkinci tür sıkılama takozlarının yeri bağm sıkılama takozu sayısına bağlıdır. Bunlar, birinci tür takozlar arasına ve aynı eğrilik yarıçapı olan bölgede eşit sıkılama aralığı oluşturacak şekilde yerleştirilmektedir. Bu durumda, farklı eğrilik yarıçapı olan bölgelerde sıkılama aralığı genellikle farklı olmaktadır.

Söz konusu program ile $\alpha + \beta < 90^\circ$ olduğu durumlarda hesaplama yapılabilmektedir. Hesaplarda, bağın düz bacak kısmı eğimli ($\alpha + \beta < 90^\circ$) olduğu zaman, bunun üzerine isabet eden gevşeme bölgesi ihmal edilmiştir. Ayrıca, aşın

sökülme miktan, galeri taban genişliğinin %4'ü kadar alınmıştır. Göz önünde bulundurulan profil tipleri ile ilgili özet bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Çözümler sırasında, bağ kesitinde oluşması beklenen σ_{max} bir "q" çarpanı cinsinden hesaplanmaktadır. Burada,

$$q = \gamma \cdot H_k \cdot L \quad (D)$$

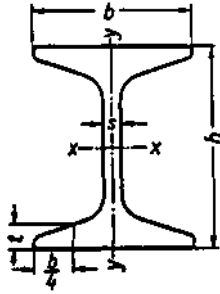
olup; γ , gevşeyen kaya kütleinin birim hacim ağırlığı (kN/m^3); H_k , kaya yükü yüksekliği (m) ve L , bağ aralığı (m) dir. Bu şekilde; a_{max} , herhangi bir Y , H^* ve L kombinasyonu için kolayca hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşım, tasarımcının a_{max} 'u izin verilebilir bir sınır (St 37 çeliği için 140 MPa) değerinin altında tutabilmek için bazı tasarım değişkenlerinde uygun düzenlemeler yapmasına izin vermesi bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır.

3. UYGULAMALAR

Bu bölümde, söz konusu program yardımıyla yapılan bir dizi dizi değiştirgesel (parametrik) çalışma sonucu elde edilen ve kavisli rijit çelik bağlamı boyutlandırılmasında kullanılabilecek bazı önemli bulgular üzerinde durulacaktır.

Sıkılama takozu sayısının sınırlı olduğu uygulamalarda, birinci ve üçüncü tip bağlarda, C_{max} 'ın takoz sayısı ile değişimi pek düzenli olmamaktadır (Şekil 2.a ve 2.b).

Tablo 1. Çalışmada göz önünde bulundurululan (DİN 21541 normundaki) profil tipleri.



Profil Tipi	Boyutlar (mm)				Kesit Özellikleri		Eylemsizlik Momenti	
	h	b	s	t	Alan (cm ²)	Ağırlık (kg/m)	I _{xx} (cm ⁴)	I _{yy} (cm ⁴)
GI110	110	84	10	14	31.1	24.5	570	103
GI140	140	110	12	19	53.0	41.6	1586	315

öte yandan, ikinci tip (dairesel) bağlarda sıkılama takozu sayısı arttıkça bağda oluşan σ_{max} da düzenli olarak azalmaktadır (Şekil 3). Bütün bağ tiplerinde, sıkılama takozu sayısının çok fazla artışı ile - ki bu sıkılama aralığının sıfıra yaklaştığı durumdur - (W belirli bir değere yakınsamaktadır. İşte bu değer, incelenen bağ tipi ve profil cinsi için arkası iyice doldurulmuş çelik bağlarda oluşması beklenen C_{ma} değeridir.

ikinci tip ($R_1=R_2$) bağlarda; kavisli kısım tam yarım daire olarak alınırsa, bağda oluşacak maksimum gerilme ($c_m \cdot x$, MPa), (2.a) ve (2.b) gör-gül (ampirik) bağıntıları yardımıyla tahmin edilebil-mektedir.

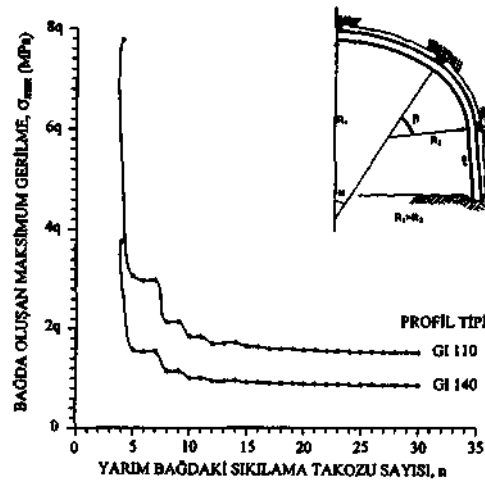
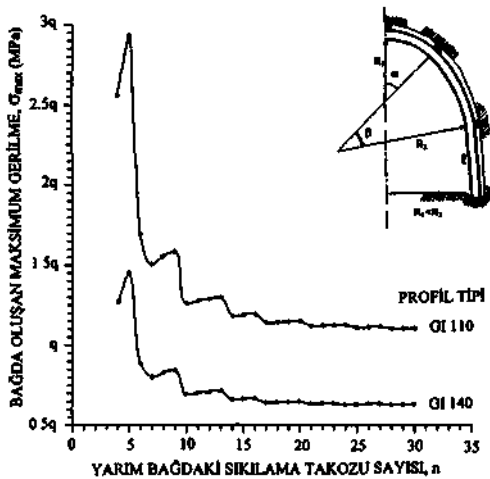
GI 110 profili için:

$$\sigma_{max} = [1.17 \cdot n^{-2.19} \cdot (B-0.23) + 0.18] \cdot B \cdot q \quad (2.a)$$

GI 140 profili için:

$$\sigma_{max} = [0.53 \cdot n^{-2.19} \cdot (B-0.27) + 0.10] \cdot B \cdot q \quad (2.b)$$

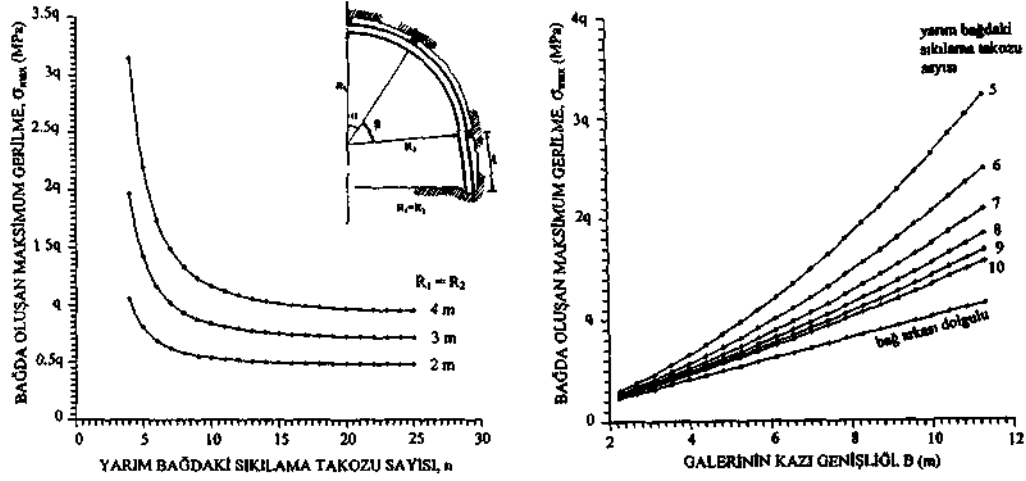
Burada; n, yanm bağdaki sıkılama takoz sayısı ve B (m), galerinin kazı genişliğidir. Bağ arkasının tamamen doldurulduğu durum için (2.a) ve (2.b) bağıntılarında takoz sayısı yüksek bir değer (-100) alınarak CW bulunabilir. Nitekim, bu durumda Orau'un B ile değişimi doğrusallaşmaktadır (Şekil 3).



a. Birinci tip bağ ($a = 36^\circ$, $\beta = 48^\circ$, $R_1 = 1.9$ m, $R_2 = 3.75$ m).

b. Üçüncü tip bağ ($a = 36^\circ$, $\beta = 48^\circ$, $R_1 = 3.75$ m, $R_2 = 1.9$ m).

Şekil 2. Birinci ve üçüncü tip bağlarda, σ_{max} 'un sıkılama takozu sayısı ile değişimi.

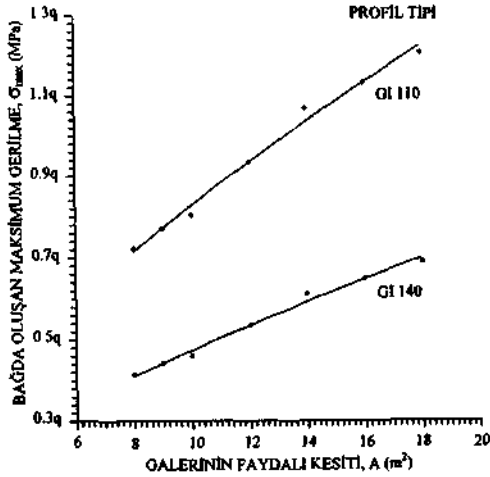


Şekil 3. ikinci (dairesel) tip bağda, G_{max} 'un sıklama takozu sayısı ve galerinin kazı genişliği ile değişimi (Profil Tipi G_I 140).

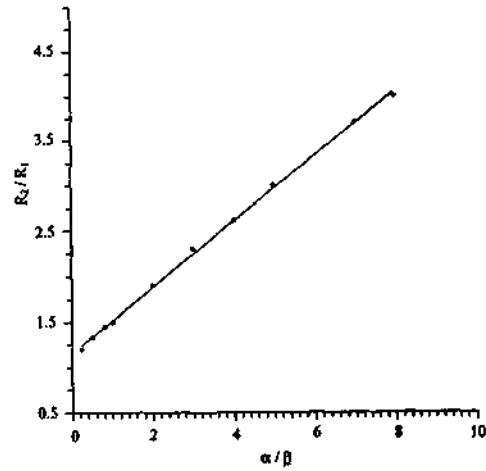
Arkası iyice doldurulmuş bağlarda oluşacak gerilmelerin incelenmesi durumunda, sıklama takozu düzeni ve sayısının etkisi ortadan kalkmaktadır. Böylece, yalnızca bağ geometrisi ile ilgili bazı bulgular elde edilebilmektedir. Örneğin, ülkemizde (özellikle de Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda) yaygın olarak kullanılan ve DİN 21531 normuna göre şekillendirilen (B-10, B-14, B-18 vb. olarak adlandırılan) bağlar birinci tip bağ geometrisinde olup, bu tip bağlar için bir dizi çözüm yapılmıştır. Bağın çevre kaya ile sürekli temasım

sağlayacak şekilde bağ arkasının doldurulması durumunda hesaplanan c_w 'un galerinin faydalı kesiti ile değişimi Şekil 4'te (yaygın kullanılan profil tipleri için) gösterilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak, bağda oluşan maksimum gerilmeyi (G_{max} , MPa) galerinin faydalı kesiti (A , m^2) ve bağ profilinin yüksekliği (h , mm) cinsinden tahmin etmeye yarayan aşağıdaki görgül bağıntı geliştirilmiştir.

$$\sigma_{max} = 1.3 \cdot A^{0.66} \cdot \exp(-0.018 \cdot h) \cdot q \quad (3)$$



Şekil 4. Arkası doldurulmuş birinci tip ($R_2 > R_1$) bağlarda σ_{max} 'ın açıklık kesiti ile değişimi.



Şekil 5. Birinci tip ($R_2 > R_1$) bağ geometrisinde, a_{mik} 'u minimum yapan geometrik ilişki ($\alpha + \beta = 90^\circ$).

Yapılan çözümlenmeler sonucu elde edilen diğer bir ilginç ilişki de yine birinci tip bağlarda gözlenmiştir. Bu tip bağlarda, bağ arkasının iyice doldurulması durumunda, σ_{max} 'u en küçük değerde tutacak şekilde, eğrilik yarıçapları oram (R2/R1) ile merkez açılan oram (α/β) arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil S). Bu ilişki,

$$R_2 / R_1 = 0.36 \cdot (\alpha/\beta) + 1.16 \quad (4)$$

görgül bağıntısıyla verilmektedir.

Son olarak, bağ arkasının iyice doldurulduğu tüm durumlarda, profil tipinin G110'dan G1140'a değiştirilmesinin σ_{max} 'u yaklaşık % 40-45 oranında azalttığı gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Yukarıdaki bulgular sayesinde, rijit çelik bağların boyutlandırılmasında göz önünde bulundurulması gereken bazı bilinen hususlar (örneğin; sıkılama takozunun sayısı ya da profil keskindeki artışın (T_{max} u azaltacağı, galeri boyutlarının artışının ise artıracağı, vs.) ile yeni bazı bulgular niceliksel olarak ortaya konmuştur. Bunun yanında, ülkemizde yaygın kullanılan kavisli rijit bağ geometrileri ve profil tipleri için tasarım amacıyla kullanılacak görgül bağıntılar da geliştirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, NATO'nun İstikrar için Bilim (SfS: Science for Stability) Programı tarafından finanse edilen "Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi'nin (ZEDEM) Kurulması" projesinin bir bölümü olarak gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, desteklerinden dolayı SfS Program Direktörlüğü'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Gaylord, E.H., Paul, S.L. and Sinnamon, G.K. 1975. Investigation of steel tunnels supports. Repot No. FRA OR&D 75-92, Dept. of Transp. FRA, Washington, D.C., 6/1-13.
- Geniş, M. 1992. Kavisli Rijit Bağların Bilgisayar Destekli Boyutlandırılması. Bitirme Ödevi, Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, Zonguldak.
- Gerçek, H. 1991. Kavisli Rijit Çelik Bağların Boyutlandırılması. Uygulamalı Kaya Mekaniği Manual, No. SP 2/01, Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi, HÜZMF, Zonguldak.
- Proctor, R.V. and White, T.L. 1946. *Rock Tunnelling with Steel Supports*. Commercial Shearing, Inc., Youngstown, OH.
- US Army Corps of Engineers 1978. Tunnels and Shafts in Rock. Engineer Manual EM 1110-2-2901, Dept. of the Army, Washington, D.C.
- Woodruff, S.D. 1966. *Method of Working Coal and Metal Mines*. Pergamon, Oxford, 2: 389-409.

