

Trapez Profilli Ağaç Galeri Tahkimatın Statik Olarak Boyutlandırılması

Ergin ARIÖĞLU (*)

ÖZET:

Prof. Protodyakonov teorisine göre bir trapez ağaç tahkimata gelen basınçlar analiz edilmiştir.

Boyundurukların, yan direklerin ve kamaların emniyetli boyutları, bütün kaya çeşitleri ve formasyonları için, içsel sürtünme açıları ve sertlik katsayısı veren tablolardan ve gerilme formüllerinden faydalanılarak bulunmuştur.

Normal trapez ahşap tahkimatta boyunduruk, yan direk ve kamanın emniyetli boyutları yapılan üç nümerik misâlde hesaplanmıştır.

ABSTRACT

The stresses on a trapezoid wooden set have been analysed under the theory based by prof. Protodyakonov.

Safe dimensions of «caps», «posts» and «lagging» have been found by using stress formulae and tables giving the hardness coefficient and internal friction angles for all sorts of rocks and formations.

Three numerical examples are explained finding the safe diameter of the cap, post and lagging in a normal trapezoid wooden set.

1. Giriş :

Yeraltı Maden İşletmeciliğinde çıkan bir sürü problemler arasında ilk derecede önemli olan açılan galerilerin tahkimatı problemidir. Tahkimat konstrüksiyonu hususunda karar veren maden mühendisinin hiç şüphesiz yüksek arazi tecrübesi, bu konuda önem taşır. Mühendis, tahkimat unsurlarını boyutlandırırken arazinin karakteristik değerlerini (basınç, çekme, eğilme mukavemetlerini), kemerlenme davranışını içsel sürtünme açısını v.s.) ve tahkimatın çalıştığı düşey ve yan yükleri bilmesi lâzımdır.

Son 25. yıl içinde, çeşitli yollardan gidilecek (foto elastisite, Model deneyleri, fiili gerilme ölçüleri v.s.) yeraltında açılan galerilerin çalıştırlara arazi basınçlarının dağılımını veren teorik matematiksel ifadeler geliştirilmiştir.

Mühendisin bu teorik ifadeleri ve neticeleri kullanarak tahkimatı boyutlandırması çok zordur. Çünkü, teorik matematiksel gerilme ifadelerinin kullanılmasında, kâfi -done bulunmadığı için, teorik hesaba müracaat edilmekten her zaman kaçınılır. Bu durumda amprik kurallar baş vurulabilen tek müracaat yeridirler.

(*) Maden Y. Müh. I.T.Ü.

Yazıda, klâsik ahşap galeri tahkimatın statik olarak, Prof. Protodyakonov Kemerlenme Teorisine göre boyutlandırılması izah edilecektir. Prof. Protodyakonov Kemerlenme Teorisine göre, ağaç tahkimat unsurlarının boyutlandırılması için, her jeolojik log için kullanılabilir ve kâfi klâsik donelere ihtiyaç gösteren pratik formüller verilmiştir.

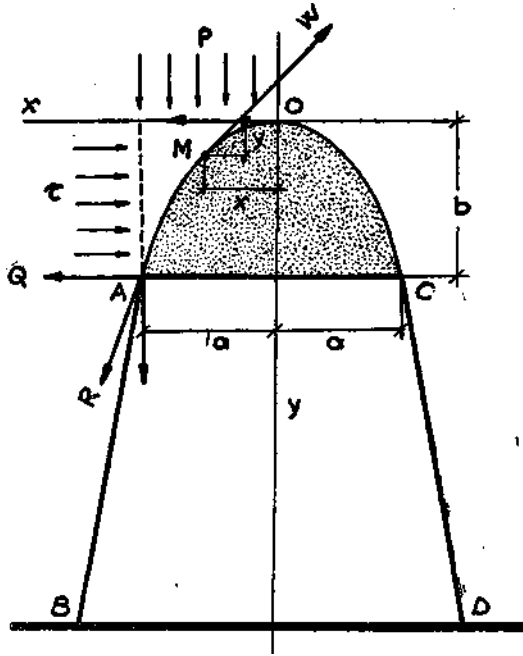
2. Prof. Protodyakonov Kemerlenme Teorisi:

Protodyakonov Kemerlenme Teorisi pratik bir teori olup, Sovyet tünel ve yeraltı maden işletmeciliğinde tatbik edilmektedir.

Protodyakonov, kemerlenme eğrisini parabol olarak verir. (Şekil 1) de koordinat orjini «O» noktası olarak alınırsa, arzu edilen «M» noktasının koordinatları «x» ve «y» olur. Kemerlenme parabolünün MO kısmı tetkik edilirse aşğıdaki kuvvetlerin tesir ettiği müşahade edilir:

(1) Yatay kuvvet «T» eşittir, yatay tavan kuvveti «Q»'ye

(2) Düşey kuvvet «px» -ki burada "P" düşey kuvvetin birimi şiddeti ve X = M noktasının apsisisidir.



şekil-f

B) W, M noktasına tesir eden tangential kuvvettir.

M noktasına göre bütün kuvvetlerin momentleri denge gartma göre safir olacaktır. Buradan

$$M = -TyH \frac{p000}{2} = 0 \quad (1a)$$

veya

$$\frac{p0B}{2} = Ty \quad (1b)$$

ifadesi bulunur.

A noktasında, yatay reaksiyon kuvveti *Q«, düşey V kuvvetin bileşkesi »R« kuvveti tesir eder.

Düey »V« kuvveti tahkimatı aşağıya doğru bastırmaya, yatay »Q« kuvveti de tahkimata yerinden çıkartmaya çalışır. »Q« yatay kuvvetiyle meydana gelecek herhangi bir deplasman, düşey basınç altındaki AB düzleminde görülen sürtünme kuvvetiyle karşılanır.

$$Q = Pf \quad (2)$$

$$P = pa \quad \text{Düşey kuvvet}$$

* Galerinin açıldığı formasyonun sertlik katsayısı {Bu katsayı Prof. Protodyakonov katsayısı olarak ta bilinir}.

f katsayısının, içsel sürtünme açısıyla bağlantı (3) ifadesiyle verilir. [3]

$$f \ll \tan \alpha \quad (3)$$

<f, Taam içsel sürtünme açısı. Diğer taraftan kemerlerime parabolünün stabilité şartı için (4) ifadesi yazılabilir.

$$Q < Pf < paf \quad (4)$$

Buna göre, eğer kesme kuvvetinin birim şideti nazarı dikkate alınırsa T, aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$T = Qpaf - *b \quad (5)$$

(lfo) ifadesine, yanım parabol koordineleri yani, 20= a, y1= b ve »T« yerine (5) ifadesi konulursa (6a) eşitliği elde edilir. ;

$$\frac{pa^*}{2} = (paf - Tb)b \quad (6a)$$

Buradan

$$Tb = paf \frac{pa?}{2b} \quad (9b)$$

veya

$$T = \frac{paf}{b} \frac{pa\ll}{2b2} \quad (6c)$$

veyahut

$$T = pa \frac{2fb - a}{2b2} \quad (6d)$$

İfadeleri yazılır.

(6d) eşitliğine göre, kesme kuvveti, kemerlenme parabolünün yüksekliğinin (= b) bir fonksiyonudur. Kesme kuvvetinin maksimum kılan »b« değeri, kemerlerime parabolünün yük yüksekliğidir.

$$\frac{dx}{db} = 0 \quad \text{şartı kullanılırsa:}$$

$$\frac{dT}{db} = pa \frac{2f - 22f - (2fb - a)4b}{4b} = 0 \quad (7a)$$

ifade basitleştirilirse;

$$\frac{dT}{db} = pa \frac{-4b2f + 4ab}{4b^*} \quad (7b),$$

veya

$$\frac{dT}{db} = pa \frac{a - fb}{b'} = 0 \quad \text{veya } a = fb \quad (7c)$$

buradan,

$$b = \frac{a}{f} \quad (7d)$$

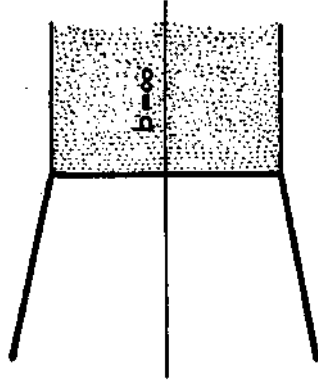
bulunur, [i, 2, 3]

Prof. Protodyakonov, »f« faktörünün amprik olarak şöyle verir. [1]

$$f = \frac{100}{\dots} = 0,01ff \dots (8)$$

g. Taşın basınç mukavemeti (kg/cm?) f sertlik katsayısı!, taşın basınca kargı mukavemetiyle orantılıdır. Basınç mukavemeti yüksek olan tağın, sertlik faktdrü orantılı olarak büyük olur. Ve (7d); ifadesi gereğince; kemerlenme yüksekliği küçülür. Dolayısıyla, tahkimat unsurunun maruz kaldığı statik yük azalır. Bu netice, bekleneni tabii bir neticedir. Pratik çalışmalar arasında kompakt, masif taşlarda açılan galerilerde ya hiç tahkimat yapılmamakta veya gayet az bir tahkimat yapmak suretiyle kemerlenme parabolünün statik ağırlığının dengelenmesi, yukarda çıkartılan neticeyi teyid eder.

Suya satüre olmuş yumuşak kilde yaklaşık olarak içsel sürtünme açısı $<h - 0$ dir. (3) formülü gereğince sertlik katsayısı (f = 0 dir. (6d) eigliğine göre böyle bir ortam da açılmış galerinin kemerlenme yük yüksekliği b = oo «*»- (S** kil 2).



şekil-2

»b« ifadesi, $T = f(b)$ fonksuyonunda yerine konulursa

$$T = \frac{pfa}{2} \dots (9)$$

ifadesi elde edilir. (4) ifadesinde »f« değeri konulursa »T« yatay kuvveti hesaplanır.

$$T = Q = \frac{pf2}{2} \dots = \frac{pf2}{2} \frac{a}{f} \dots = \frac{paf}{2} \dots (10)$$

(10) eşitliği, (1) eşitliğinde yazırsa, kemerlenme eğrisinin analitik ifadesi bulunur. (11b)

$$\frac{px^2}{2} = Ty \dots (11)$$

$$\frac{px^2}{2} = \frac{paf}{2} y \dots (11 a)$$

veya

$$y = \frac{x^2}{af} \dots (11 b)$$

(11 b) ifadesine göre, kemerlenme eğrisi bir parabolüdür.

Kemerlenme eğrisiyle tarif edilen aktif tavan bloğunun unite uzunluğundaki statik ağırlığı,

$$G > = F_v \dots (12)$$

ile tarif edilir.

G. Tavan bloğun statik ağırlığı

F. Kemerlenme eğrisinin alanı

y. Tavan taşının ortalama yoğunluğu

Kemerlenme parabolünün alanı (13 a) formülüyle hesaplanır:

$$F = \frac{2}{3} (2a) (b) \dots (13 a)$$

Kemerlenme eğrisinin yük yüksekliği nazarı

dikkate alınırsa ($b = \frac{a}{f}$), eğrinin alanı:

$$F = \frac{2}{3} \frac{a}{f} \dots = \frac{4}{3} \frac{a^2}{f} \dots (13 b)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada, f katsayısı, daha evvel belirtildiği gibi Prof. Protodyakonov sertlik katsayısıdır. Bu katsayının değeri, muhtelif taslar için Tablo 1 den tayin edilir [3].

3. Boyunduruğun Boyutlandırılması

3.1. Kabuller

— Boyutlandırmada, Prof. Protodyakonov Kemerlenme Teorisi kullanılmıştır.

— Yük noktalarının mütemadi olduğu kabul edilerek, kemerlenme parabolünün Statik ağırlığı, boyunduruk elemanına yaylı yük olarak tesir ettiği kabul edilmiştir.

— Boyunduruğa, galeri yan cidarından itki gelmediği kabul edilmiştir.

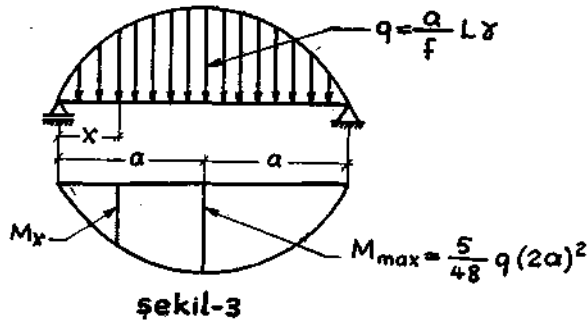
— • Boyunduruk, basit bir kiriş gibi çalışır.

3.2. Soyutlandırma

Şekil 3 de boyunduruğun maruz kaldığı statik yük ve meydana gelen eğilme momenti görülmektedir.

TABLO— 1

TAŞ CİNSİ	t	4
En sert kuvars ve bazalt cinsi kayalar ve çok sert kayalar.	20	87°08'
Çok sert kayaç, çok sert granit, en sert kumtaşı, kuvars ve kalkerler.	15	86°11'
Sert granitler, çok sert kumtaşı ve kalkerler, kuvarsit damarları; sert kumtaşı, sert meme, dolomit, gnays.	10	84°18'
Sert kalkerler, yumuşak granit, sert kumtaşı, sert mermer, dolomit, gnays.	5	82°31'
Adi kumtaşı, demir cevherleri.	6	80°32'
Kumlu şistler, şistli kumtaşı	5	75°41'
Sert küli şistler, gevşek kumtaşı ve kalkerler, yumuşak konglomeralar.	4	75°58'
Çeşitli gevşek şistler, sert marnı.	3	71°34'
Yumuşak şist, çok yumuşak kalkerler, kaya tuzu, donmuş toprak, adi marn, kırık kumtaşı ve taşlanmış toprak.	2	63°26'
Çakıllı zeminler, kırıklı şistler, yumuşak konglomeralar, sert taş kömürü, sert kil.	1,5	56°19'
Sert kü, yumuşak taş kömürü.	1	45°00'
Hafif kumlu, kil, lösler.	0,8	38°40'
Turbalar, kumlu kü, rutubetli kum.	0,6	30°58'
Kum, ince çakıl, kazılmış zeminler, kazılmış kömür.	0,5	26°35'
Balçık ve diğer topraklar.	0,3	16°42'



Eğilme momenti:

$$M_x = \frac{q(2a)^2}{3} \left(\xi - 2\xi^3 + \frac{1}{5}\xi^5 \right), \quad \xi = \frac{x}{2a} \quad \dots (14)$$

Maksimum momenti:

$$M_x = M_{\max} = \frac{48}{5} q (2a)^2 \quad \dots (15)$$

$$x = a \rightarrow \xi = \frac{1}{2}$$

Yayıllı yük giddeti ($x = a$ 'da)

$$q = \frac{a}{f} L \gamma \quad \dots (16)$$

(15) ifadesinde kullanılırsa:

$$M_{\max} = \frac{5a}{48f} L \gamma (2a)^2 \quad \dots (17a)$$

elde edilir. Maksimum eğilme momentini, kemerlenme parabolunun statik ağırlığı cinsinden ifade edilirse;

$$G = \frac{4}{3} \frac{a^2}{f} \gamma L \quad \dots (17b)$$

ifadesi gözönünde tutulursa,

$$M = \frac{5}{16} G a \quad \dots (17b)$$

elde edilir.

L İki tahkimat ünitesi arasındaki geometrik mesafe.

Kirişte meydana gelen eğilme gerilmesi, kiriş (boyunduruk) malzemesinin emniyet gerilmesinden küçük olmalıdır. Bu şartı kullanmak suretiyle, boyunduruğun çapı boyutlandırılır.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq \sigma_{em} \quad \dots\dots\dots (18)$$

M_{\max} Maksimum eğilme gerilmesi

W Kesitin mukavemet momenti

f_{fr} Kiriş malzemesinin emniyet gerilmesi.

Dairesel kesitli boyunduruğun mukavemet momenti, kesidin çapı »d« ise

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \quad \dots\dots\dots (19)$$

ifadesiyle belirlidir.

(18) ifadesi teşkil edilirse:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi d^3}{32}} \leq \sigma_{em}$$

$$\sigma = \frac{32 M_{\max}}{\pi d^3} \leq \sigma_{em}$$

$$d^3 \geq \frac{32 M_{\max}}{\pi \sigma_{em}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 M_{\max}}{\pi \sigma_{em}}} \quad \dots\dots\dots (20a)$$

»d« kesit çapı yalnız bırakılırsa,

$$d = 1,62 a \sqrt[3]{\frac{\gamma L}{\sigma_{em}}} \quad \dots\dots\dots (20a)$$

elde edilir. [5]. (20 a) ifadesinin boyudu,

γ (kg/cms), L (cm), f_{em} (kg/cma), a (cm)

alınır, d (cm) olarak bulunur. Kömür havzalarını teşkil eden taşların yoğunluğu ortalama olarak $\gamma = 0,0025$ (kg/cm³) dir.

$\gamma = 0,0025$ (kg/cm³) değeri kullanılmak suretiyle (20 a) ifadesi basitleştirilir. [5]

$$d = 0,22 a \sqrt[3]{\frac{L}{f \sigma_{em}}} \quad \dots\dots\dots (20b)$$

Tablo 2 de muhtelif cins ahşap malzemenin eğilme emniyet gerilmeleri verilmiştir. [6, 8].

TABLO 2

	SINIF IH		SINIF H		SINIF I	
	Çam sınıfı	Meşe kayın	Çam sınıfı	Meşe kayın	Çam sınıfı	Meşe kayın
Eğilme emniyet gerilmesi (kg/cm ²)	70	75	110*	110	130*	140

(*) Kara çam için +10 kg/cms lik bir artma kabul edilebilir.

Nümerik misal : I

Zonguldak kömür havzasındaki E.K.t ocaklarında taban yollarında kullanılan tip H D ahşap tahkimatın, aşağıda verilen donelere göre boyunduruk çapının hesaplanması istenilmektedir.

Boyunduruk uzunluğu $2a = 2,50$ m

Bağ aralığı $L = 1.00$ m

Tavan, taşı (kum taşı)

sertlik sayısı $f \geq 6$

Taşın yoğunluğu $\gamma = 0,0025$ kg/cm³

Ahşap malzemenin eğilimi

Emniyet gerilmesi (Çam - m sınıf) $\sigma_m = 70$ kg/cm²

(20 b) ifadesinde, yukardaki değerler konulursa, boyunduruk çapı:

$$d = 0,22 \times 125 \times \sqrt[3]{\frac{100}{6 \times 70}} \quad \text{es } 17 \text{ (cm)}$$

bulunur.

Bulunan boyunduruk çapının kayma gerilmesine göre tahkiki yapılmalıdır.

Maksimum kayma gerilmesinin değeri:

T

$$T_m K = \frac{T}{F} = \frac{S T^e m}{F} \quad \dots\dots\dots <21>$$

olmalıdır.

Burada,

T_{muc} Maksimum kayma gerilmesi

K Numerik çarpan, dairesel kesit için $K = 4/3$ dir

T Maksimum kesme kuvveti olup, mesnet reaksiyonlarıdır.

F Boyunduruğun kesit alanı

T_{em} Malzemenin kayma emniyet gerilmesi.

Mesnet reaksiyonu :

$$T = \frac{G}{2} = \frac{4}{3} \frac{aP}{f} = \frac{4}{6} \frac{1.25 \times 2}{6} = 2,5 \text{ X}$$

$$1 = 0,44 \text{ (ton)}$$

Maksimum kayma gerilmesi :

$$T_m = \frac{T}{F} = \frac{440}{3} = 146,67 \text{ (kg/cms)}$$

$$T_m = 2,58 < 30 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

olduğundan, eğilme gerilmesine göre hesaplanan boyunduruk boyutu, kayma, gerilmesine göre de emniyetlidir.

(20 a) bağıntısı, sadece düşey yük nazarı dik-kate alınmak suretiyle bulunmuştur. Eğer yandan bir itki mevzu bahis ise, boyunduruk normal gerilme + eğilme gerilmesi'ne çalışır. Bu durum; çok parçalanmış, ezülmüş, alttere olmuş formasyonlar içinde açılan galerilerde mevcuttur.

Bilhassa, killi horizonlarda aşıttan galeriler çok şiddetli «etkilere maruzdurlar.

(20 a) bağıntısı, aşağıda gösterilen formasyonlar içinde açılan galerilerin boyutlandırmasında geçerlidir.

Tablo — m [7]

Tag Cİİnsl	Kuru veya ıslak	Yan itki şiddeti
Kohezyonlu, sert çatlaklı	Kuru	0
Orta çatlaklı ve sert	Kuru	0
Orta çatlaklı ve sert	Kuru	0
Orta parçalı, fakat hafif Plastik yahut parçalanmış ve sert	Islak	0

(20 a) bağıntısından pratikte iki şekilde istifade edilir:

1 — Galeri tahkimatında kullanılacak boyut belli olup, iki tahkimat ünitesi arasındaki mesafenin hesaplanmasında,

2 — İki tahkimat arası mesafenin bilinmesiyle, kullanılacak boyunduruğun çapının hesaplanmasında pratikte, genellikle bu hal mevcuttur.

4. Yan Direklerin Boyutlandırılması:

Yan direklerin boyutlandırılmasında, en önemli parametre, yan gerilmelerin değeridir. Prensipte olarak sert ve orta sertlikteki tasların yanal gerilme vermedikleri kabul edilir. Akıcı kil, kum v.b. gibi akıcı ve sulu zeminlerde durum biraz daha farklıdır.

Bu cins zeminlerde açılan galerilerin yan direkleri yan gerilmeye (itki) maruzdur.

Yan direğe gelen yan gerilme (itki) Prof. Protodjakonov'a göre:

$$m_0 = y h \tan \alpha \quad (21)$$

dir. [2, 3]

f_f Yan gerilme

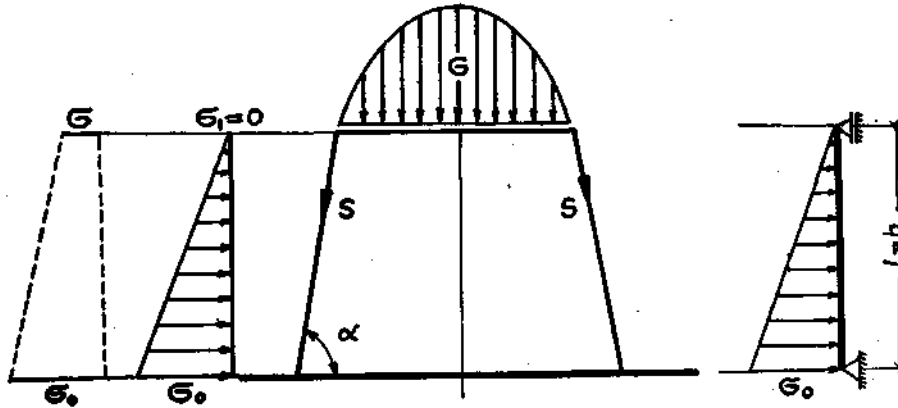
y Zeminin yoğunluğu

h Yan direğin yüksekliği. Yalnız akıcı kil, kum gibi çok gevşek zeminlerde açılan galerilerde «h» olarak direğin tabanından yer üzerine kadar olan yükseklik alınacaktır. [2]

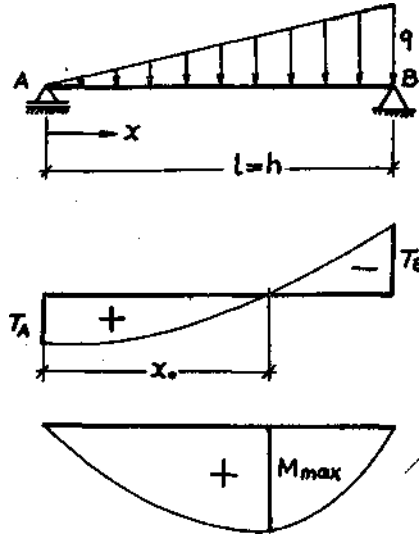
α Formasyonun içsel sürtünme açısı

Şekil 4 de galerinin çalıştığı yan gerilme ve düşey gerilme görülmektedir. Zeminin kırılma anındaki yan gerilmesi üçgen bir gerilme yayılımı gösterir.

Zeminin kırılma anındaki yanal gerilmesi « σ^* » yan direk üzerine üçgen bir gerilme yayılımı ile tesir ettiği kabul edilerek yan direğin statik hesabı yapılmıştır. [2]



şekil-4



Şekil : 5 — Maksimum eğilme momenti (birim uzunluk için)

Basit kirişte meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momentinin ifadeleri aşağıda verilmiştir. Şekil 5 [4].

$$M_{\max} = 0,128 Q h = 0,128 \frac{\sigma_0 h}{2} h = 0,128 \frac{\sigma_0 h^2}{2}$$

dir. (22)

Merkezi S basınç kuvveti ile beraber M eğilme momentine maruz bulunan yan direklerde, hesapla bulunan itibari toplam gerilme,

$$\sigma = -\omega \frac{P}{F} \mp \frac{M}{W} \eta$$

T,.....nümerik çarpan, „=0,85 dir [6].

Hd bağ arası mesafesi L, nazarı dikkate almırsa (23) ifadesi şöyle yazılır:

$$\sigma = \sigma' \mp \sigma'' = -\omega \frac{SE}{F} \mp \frac{M_{\max} L}{W} 0,85$$

.....(24)

<a.....F lambaj sayısı, yan direğin narinlik derecesi »\«*a bağlıdır.

»^«in hesabı için iki değerin bilinmesi lazımdır. Bu değerler kesitin minimum! atalet yan çapı >1 . « ve yan direğin flambaj boyu »\« dir. o„„„„ /H™„!„~• v. ^ * j. , jn v • X. Basınç direklerinin hesabında, direk flambaj too-vunun hakikate yakın olarak alınması mühim rol oynar. Bu hesaplamada, direk uçları bağlantı vasıtasıyla yana doğru hareketleri önlenmiş olduğundan flambaj boyu olarak direğin boyu alınır. [6, 2].

Cait : IX, Sayı : 5

$$T_x = \frac{ql}{6} (1-3\xi)$$

$$\xi = \frac{x}{l}$$

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{9\sqrt{3}} \quad x_0 = 0,577l$$

$$M_x = \frac{qlx}{6} (1-\xi^2)$$

Direğin narinlik derecesi:

$$\lambda = \frac{l_k}{i_{\min}} \quad (AO)$$

m atalet yarıçapı d a :

$$\frac{f}{mm} \quad \frac{mm^2}{A} \quad \frac{mm}{F} \quad (26)$$

dir.

^m.....Zayıflamış yan direk kesitinin en küçük atalet momenti
F.....Direğin zayıflamamış kesiti Nairesel kesitlerde atalet momenti:

$$T = \frac{.....}{64} \quad (nr)$$

dir. (27) ifadesini ve dairesel kesitin alam

».....«, minimum atalet çapı eşitliğinde konu-4

lursa,

$$\sqrt{\frac{\frac{\pi d^4}{64}}{\frac{\pi d^2}{4}}} = \frac{d}{4} \quad (8)$$

bulunur.

Dairesel kesitli yan direkler için »A« narinlik

$$\lambda = \frac{l_k}{\frac{d}{4}} = \frac{4l_k}{d} \quad (29)$$

ifadesiyle hesaplanır.

»X« sayısı hesaplandıktan sonra »« flambaj sayısı Tablo 4'den tespit edilir.

TABLO 4

m Flambaj sayıları

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	0
10	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	10
20	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	20
30	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.32	1.33	1.34	1.35	30
40	1.36	1.38	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47	1.49	40
50	1.50	1.52	1.53	1.55	1.56	1.58	1.60	1.61	1.63	1.65	50
60	1.67	1.69	1.70	1.72	1.74	1.76	1.79	1.81	1.83	1.85	60
70	1.87	1.90	1.92	1.95	1.97	2.00	2.03	2.05	2.08	2.11	70
80	2.14	2.17	2.21	2.24	2.27	2.31	2.34	2.38	2.42	2.46	80
90	2.50	2.54	2.58	2.63	2.68	2.73	2.78	2.83	2.88	2.94	90
100	3.00	3.07	3.14	3.21	3.28	3.35	3.43	3.50	3.57	3.65	100
110	3.73	3.81	3.89	3.97	4.05	4.13	4.21	4.29	4.38	4.46	110
120	4.55	4.64	4.73	4.82	4.91	5.00	5.09	5.19	5.28	5.38	120
130	5.48	5.57	5.67	5.77	5.88	5.98	6.08	6.19	6.29	6.40	130
140	6.51	6.62	6.73	6.84	6.95	7.07	7.18	7.30	7.41	7.53	140
150	7.65	7.77	7.90	8.02	8.14	8.27	8.39	8.52	8.65	8.78	150
160	8.91	9.04	9.18	9.31	9.45	9.58	9.72	9.86	10.00	10.15	160
170	10.29	10.43	10.58	10.73	10.88	11.03	11.18	11.33	11.48	11.64	170
180	11.80	11.95	12.11	12.27	12.44	12.60	12.76	12.93	13.09	13.26	180
190	13.43	13.61	13.78	13.96	14.12	14.30	14.48	14.66	14.84	15.03	190
200	15.20	15.38	15.57	15.76	15.95	16.14	16.33	16.52	16.71	16.91	200
210	17.11	17.31	17.51	17.71	17.92	18.12	18.33	18.53	18.74	18.95	210
220	19.17	19.38	19.60	19.81	20.03	20.25	20.47	20.69	20.92	21.14	220
230	21.37	21.60	21.83	22.06	22.30	22.53	22.77	23.01	23.25	23.49	230
240	23.73	23.98	24.22	24.47	24.72	24.97	25.22	25.48	25.73	25.99	240
250	26.25									<<	250

Yan direklerin boyutlandırılmasında yeter gart,

$$ff = - \left(\frac{SL}{W} + \frac{M_{max} L}{W} \right) 0,85 \quad (30)$$

dir. (30) ifadesine, tatonman yoluyla muhtelif çaplar verilmek suretiyle yan direkte meydana gelen toplam gerilme, malzemenin eğilme emniyet gerilmesinden küçük veya asit olması tahrik edilerek yan direkt boyutlandırılır. Numerik misal - II de yan direğin statik hesabı detaylı olarak izah edilmiştir.

Nümerik Misal: n

Verilenler :

Galerinin geometrik boyutları Şekil 6 da görülmektedir. Galeri taneli toprak içinde açılacaktır.

Sertlik katsayısı $f = 0,6$

Zemin yoğunluğu $\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$

Zeminin içsel sürtünme açısı) $A_s = 26^\circ$

Bağ aralığı $b = 0,5 \text{ m}$

Malzeme çam-m sınıf olup $\gamma_{em} = 70 \text{ kg/cm}^2$ dir.

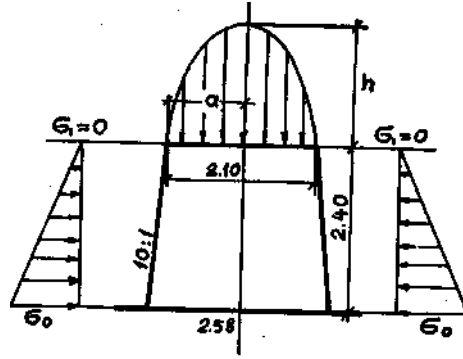
İstenenler :

Boyunduruk ve yan direğin boyutlandırılması istenmektedir.

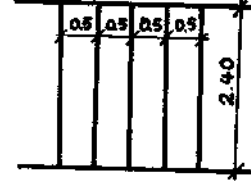
Boyunduruğun boyutlandırılması :

$$\frac{W}{\gamma_{em}} = 1,62 \times 10^5 \quad W = 0,6 \times 70 = 21,05 \text{ cm}$$

d = s 21 [cin] alınur.



$$h = \frac{a}{f} = \frac{1.05}{0.6} = 1.75 \text{ m}$$



şekil-6

Yan direğin boyutlandırılması :
 tik tatonman olarak 14 cm'lik bir çap seçilir-
 se:

Narinlik sayısı :

$$X = \frac{1}{1} \cdot \frac{41}{d} = \frac{4 \times 240}{14} = 68,6 \text{ -+ } 69 \text{ alınır.}$$

Flambaj sayısı :

$$A = 69 \text{ için } \rightarrow (, = 1,85$$

Normal serilmenin hesabı :

Mesnet reaksiyonu :

$$P = - \frac{G}{2 \times 3} = - \frac{4 \cdot a^2}{6 \cdot f} = - \frac{4 \cdot (1,05)^2}{6 \cdot 0,6} = -1,6 \times 0,5 = -0,980 \text{ ton}$$

ton

Normal kuvvet

$$S = - \frac{P \cdot Sina}{0,2,40 \cdot 2 + (0,24)^*} = - \frac{0,980 \cdot 2,40}{0,48 + 0,0576} = -0,980 \text{ ton}$$

Normal gerilme

$$\sigma = - \frac{S}{F} = - \frac{0,980}{(0,14)^2 \cdot 4} = -119 \text{ t/m}^2 = -11,9 \text{ kg/cm}^2$$

Eğilme gerilmesinin hesabı

Yan basıncın değeri :

$$\sigma_0 = y \cdot h \cdot \tan^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) = 1,6 \times 2,40 \times \tan^2 22,5^\circ$$

$$(45^\circ - 26^\circ) = 1,49 \text{ t/m}^2 \wedge 1,5 \text{ t/m}^2$$

Kesitin mukavemet momenti :

$$W = \frac{d^3 V}{32} = \frac{(0,14)^3 \cdot 3 \times 3,14}{32} = 0,00027 \text{ m}^3$$

Eğilme gerilmesi :

$$\sigma'' = 0,128 \frac{\langle T_0 \rangle}{2} \cdot \frac{1}{W} = 0,85$$

$$\sigma'' = 0,128 \frac{1,5 \times (2,40)^2}{2} \cdot \frac{1}{0,00027} = 950 \text{ t/ms} = 95 \text{ kg/cm}^2$$

Toplam gerilme

$$\sigma = -11,9 + 95 = 83,1 \text{ kg/cm}^2 < 70 \text{ kg/cm}^2$$

Yan direktteki toplam gerilme, malzemenin emniyet gerilmesinden büyük bulunduğundan kesit çapıat büyötmek lazımdır. İkinci tatonman değeri olarak 16 on'lik kesit çapı alınırsa:

Narinlik sayısı :

$$X = \frac{1}{1} \cdot \frac{41}{d} = \frac{4 \times 240}{16} = 60$$

Flambaj sayısı :

$$A = 60 \text{ için } \rightarrow (, = 1,67$$

Normal gerilmenin hesabı :

Mesnet kuvveti :

$$P = - \frac{G}{2} = - \frac{4 \cdot a^2}{2 \times 3 \cdot f} = - \frac{4 \cdot (1,05)^2}{6} = -1,6 \times 0,5 = -0,980 \text{ ton}$$

$$(1,05)^2$$

$$\bullet 1,6 \times 0,5 = 0,980 \text{ ton}$$

Normal kuvvet

$$S = \frac{P}{\sin \alpha} = \frac{0,980}{\frac{2,40}{\sqrt{(2,40)^2 + (0,24)^2}}} \approx 0,980 \text{ ton}$$

Normal gerilme :

$$\sigma' = -\frac{S}{F} = -\frac{0,980}{(0,16)^2 \frac{\pi}{4}} \approx -82 \text{ t/m}^2 = -8,2 \text{ kg/cm}^2$$

Eğilme gerilmesinin hesabı :

Yan basıncın değeri

$$c_o = 1,5 \text{ t/m}^2$$

Kesitin mukavemet momenti

$$W = \frac{d^3}{32} = \frac{(0,16)^3 \times 3,14}{32} = 0,0004 \text{ m}^3$$

Eğilme gerilmesi :

$$\sigma'' = 0,128 \frac{(T_o^{**})}{2} L \frac{1}{W} = 0,85$$

$$\sigma'' = 0,128 \frac{1,5 \times (2,40)^2}{2} \frac{1}{0,0004} = 594 \text{ t/m}^2 = 59,4 \text{ kg/cm}^2$$

Toplam gerilme :

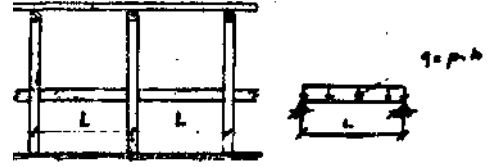
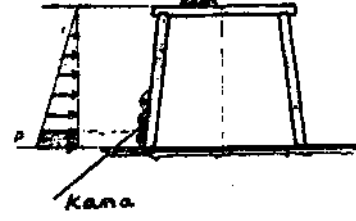
$$\sigma = -\sigma' \mp \sigma'' = -82 \mp 59,4 = \begin{cases} -67,6 \text{ kg/cm}^2 \\ 51,2 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} < 70 \text{ kg/cm}^2 \text{ olduğundan,}$$

yan direğin çapı 16 cm alınır.

4. Kamaların Boyutlandırılması :

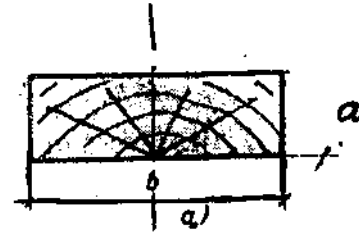
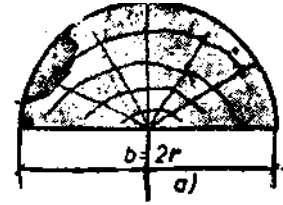
Ahşap bağlara yük intikâli, yük noktaları denilen bağ ile taş arasında yerleştirilen takoz ve kamalar vasıtasıyla temin edilir. Bu yük noktalarının vazife görebilmeleri için kama ve takozların iyi yerleştirilmesi ve boyutlandırılması lâzımdır.

Kamaların statik hesabı, bilhassa çok akıcı fena arazide açumışgalerinin yan ve boyunduruk direklerinin takviyesinde önem kazanır. Şekil 7 de klasik ahşap galeri tahkimatı ve muhtelif üniteleri görülmektedir.



Kamalar 1018 «m çapındaki direklerin ortadan uzunlaşmasına ikiye bölünmesiyle veya dikdörtgen kesitli latalardan teşkil edilir Şekil 8.

Kesiti yarım daire olan kamaların iboyutlandırılması :



Maksimum eğilme monenü. :

$$M_{\max} = \frac{2rpL^2}{8} \quad (31)$$

Kamada meydana gelen eğilme gerilmesi :

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{2rpL^2}{8 \cdot 0,191 r^3} \leq \sigma_{em} \quad (32)$$

olmalıdır. (32) İfadesinde »r« yalnız bırakılır ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$r = 1,142 L \sqrt{\frac{P}{\sigma_{em}}} \quad (33)$$

formülü elde edilir.

r.....Kamanın yarıçapı, $r = \frac{b}{2}$

L<.....iki bağ arası mesafesi

p.....Yan gerilme

σ_1Kama malzemesinin eğilme emniyet gerilmesi

Bu formülde »p« yan gerilmesi (21) ifadeyle hesaplanacaktır.

Kesiti dikdörtgen olan kamaların boyutlandırılması maksimum eğilme momenti :

$$M_{TM} = \frac{bpl^2}{8} \quad (34)$$

Kamada meydana gelen eğilme gerilmesi :

$$\sigma_{**} = \frac{M_n}{W} = \frac{bpl^2 \cdot 2}{8 \cdot \frac{b \cdot h^3}{6}} = \frac{p \cdot l^2}{h^2} \cdot r \quad (35)$$

olmalıdır. Buradan »a« yalnız bırakılırsa,

$$a = 0.865 L \sqrt{\frac{P}{\sigma_{em}}} \quad (36)$$

formülü elde edilir.

(33-36) ifadeleri fırça boyutlandırma hesaplarında kullanılabilir.

Nümerik (Misal m :

Verilenler :

Yan gerilme $p = 1.5 \text{ t/m}^2$ $\sigma_1 = 0.15 \text{ kg/cm}^2$

iki bağ arası $L = 0.5 \text{ m}$

Kama malzemesinin eğilme emniyet gerilmesi $\sigma_1 = 70 \text{ kg/cm}^2$

Kama şekli: Yarım daire.

istenilen : Kamanın boyutlandırılması.

$$r = 1.142 L \sqrt{\frac{P}{\sigma_{em}}} = 1.142 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{\frac{1.5}{70}} = 0.026 \approx 0.03 \text{ m}$$

$2r = 2 \cdot 3' = 6 \text{ cm}$ alınır.

NETİCE :

2. bölümde incelenen, boyunduruk çapını veren (20a) ifadesi geneldir. Bu formül ile her cins jeolojik loğda açılacak galerilerin boyunduruk çapının hesabı yapılabilir. (20 a) formülü, bilhassa tatbikatta açılan galeri boyutları ve sık sık geçilen formasyonlara tatbik edilmiş ve bulunan neticelerin pratikte uygulanan popüler boyutlar kadar olduğu görülmüştür.

Netice olarak, (20 a) ifadesinin geniş bir spektruma haiz olduğu söylenebilir.

3. bölümde yan direklerin statik hesabı anlatılmıştır. Taş içinde açılan galerilerde yanıl gerilmenin şiddeti önemli değildir. Bu bakımdan böyle ortamda açılacak galerilerin yan direklerinin statik hesabı önem arz etmez.

Yan direklerin statik hesabı, bilhassa gevşek zeminlerde büyük önem kazanır. Böyle bir ortamda açılacak galerinin statik hesabı nümerik misâl - H'de detaylı şekilde yapılmıştır.

REFERANSLAR

- 1) SZECH, K. : The art of Tunneling Akademiai Kiadó Budapest (1967).
- 2) DAMJANOVIĆ, D. P. : Prilog Analizi I Proracunu, Devne Podgrade Trapezastog, Profilo Za Rudarske Potkape», Zbornik Radova, Rudarsko, Geoloskog Fakulteta, Univerzitet U Belogradu, Sv 9 - 10 (1966 - 1967).
- 3) FJODOROW, S. A. : Hauptgrubenbaue, veb Verlag Technik Berlin (1954).
- 4) Beton Kalender (1969).
- 5) ARIÖGLTJ, E. : «Prototodyakonov, Kemerleme Teorisi ve Yeraltı Maden işletmeciliğine Tatbiki» Maden Mecmuası, I.T.Ü. Mad. Fak. Tal. Cem. yayını, Cilt IV, Sayı; 6-7, (1970).
- 6) ———: Ahşap inşaat Şartnamesi, Türkiye Köprü ve inşaat Cemiyeti, Ankara- (1965).
- 7) TALOBRE, J. : Kaya Mekaniği ve inşaat işlerinde Tatbikatı, Çeviren: I. TANRI-VERDİ, (1970).
- 8) ———: Türk Yapı Katoloğu, Anadol, Anoğlu Yapı ve Endüstri Katoloğu Koli. Şti. Yoyını, istanbul, (1966-1967).