

Dairevi Boruların Statik Hesabı

Çeviren :
Sabri ÜNSAL
Yük. Müh.

○

Son yüzyılda birçok şehir ve kasabalar içme-suyu ve kanalizasyon tesislerini projelendirmiş, inşa etmiş veya etmekte bulunmaktadır ki bu faaliyet ekseriya muhtelif cins boruların nazarı itibara alınmasını zaruri kılmaktadır. Bununla beraber, ehemmiyetsiz boyutları sebebiyle, şimdiye kadar boruların statığı ile lâıyık veçhile meşgul olunmamıştır. Bunun içindir ki teknik literatürde boru hesabı için kâfi derecede sıhhatli bir hesap metodu bulamayız. Bu mevzuda neşrolunan son etüd mevcut araştırmaların neticelerinin bir hülâsasından ibarettir. Bu hesap metodları ve risaleler kâfi derecede şümulü olmayıp muhtelif özel hallerde ve pratikte faydalı olmadığı dikkate alınır, belki burada boruların statik hesabı ile ilgili formülleri istihraç etmek doğru olacaktır.

Hemen bütün zemin altı işlerinde boruları silindirik olarak inşa etmek hususunda bir temayül vardır. Bu şeklin tercihi konstrüksiyonun basitliği sebebiyledir ki; dairevi borular, çapları, cidar kalınlığı ve imlâ yüksekliği ne olursa olsun çok avantajlı bir şekilde kullanılabilirler.

Dairevi boruların, aşağıda anlatılan statik hesabında hareket noktası olarak rijit çerçevelerin umumi teoremi vâz olunmuş olup bu metod boru kesitinin dairevi olmadığı hallerde dahi kullanılabilir.

A. İÇ KUVVETLER :

Zemin içindeki boru şu kuvvetlerin tesiri altındadır :

- 1 — İmlâ üstündeki hareketli yük,
- 2 — Borunun zati ağırlığı,
- 3 — İmlâ ağırlığı,
- 4 — Boru içindeki suyun basıncı.

Borular, mutad olduğu veçhile, toprakla iyice örtüldüğünde ısı değişimi tesirlerini ihmâl etmekle ehemmiyetli bir hata irtikâp edilmiş olmaz. Tulâni tesirler de gayet cüz'î olup ihmâl edilebilirler. Bundan başka, zeminin çökmesinden dolayı boru tulâni gerilmelere maruz kalabilir, bu halde ise borunun eğilmesi muayyen noktalardan mesnetlendirilmiş basit bir kiriş gibi hesaplanabilir.

1 — İmlâ üstündeki hareketli yük : Yük teşkil eden vasıtaların ağırlığı ki bu daima zemin ağırlığına çevrilebilir ve böylece h' yüksekliğinde bir imlânın üniform yayılı zâtî ağırlığı olarak nazara alınır :

$$h' = \frac{Q}{1, 1, y}$$

Burada Q nazarı itibara alınan vasıta ağırlığını, y zeminin kg/m^3 olarak kesafetini, $1, 1$ ve $1, 2$ de imlâk üst yüzeyinin yayılma sıhhatinin uzunluk ve genişlik olarak

boyutlarını ifade eder. Meselâ, hareketli yükü insan kalabalığının teşkil ettiği bir halde zemin kesafeti 1800 kg/m^3 kabul edilirse,

$$h' = \frac{400}{1800} = 0.222 \text{ m. olur.}$$

Şu halde hareketli yük daima h' yüksekliğindeki fiktif bir imlâ yüksekliği olarak ele alınır ve hakiki imlâ yüksekliğine ilâve olunur.

2 — Borunun zâtî ağırlığı : Diğer yüklere nazaran borunun zâtî ağırlığı daima önemsizdir. Bundan dolayı hareketli yükün bir imlâ yüksekliği ile ifadesi gibi bu da zemin ağırlığına çevrilir.

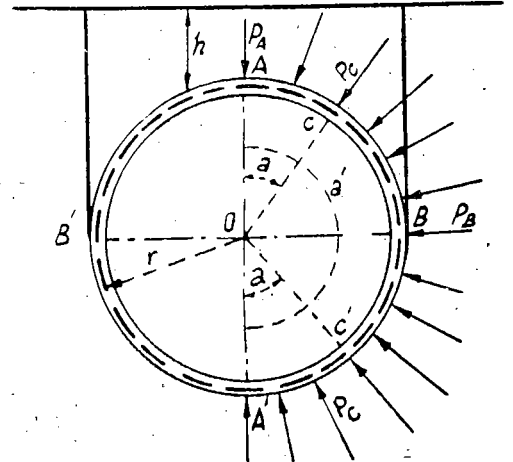
3 — İmlâ ağırlığı : İmlâ ile ilgili yük yayılımı, zemin içindeki boru için çok karışık bir mesele halindedir. Borunun dış cidarına tesir eden basınç zeminin karakteristiklerine tâbidir. (Özgül ağırlık, içsel sürtünme açısı, nemlilik, kohezyon ve imlânın yaşı v.s.)

Umumiyetle borunun üstündeki imlâ yüksekliğinin küçük veya kâfi derecede büyük olması gibi iki hal ayırt edilir.

a) İmlâ yüksek değilse, zeminin bütün ağırlığının boru cidarına tesir ettiği kabul edilebilir. Böylece borunun anahtar kesitinde. (Şekil : 1) yani A noktasında dış basınç $P = y h$ olur. B noktası civarında imlâ

yüksekliği $h+r$ olup, r boru yarıçapıdır, buradaki dış basınç bir istinat duvarındaki basınç gibi tâyin edilir, yani zeminin bu noktadaki yatay basıncı olarak hesaplanır.

Ø içsel sürtünme açısını gösterebilir. B noktasındaki yan basınç bilindiği gibi :



ŞEKİL : 1

$$P = y (h+r) \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$= y (h+r) (1-k), \text{ ki burada}$$

$$1-k = \tan^2 (45^\circ - \phi/2) ;$$

$$k = 1 - \tan^2 (45^\circ - \phi/2) \text{ dir.}$$

A ile B arasında her hangi bir C noktasında P_C basıncı ile P_A ile P_B arasında bir değeri haiz olur, bunu bir formülle ifade etmek istersek; a, AOC poler açısını göstermek üzere, görülür ki P_C, A ile B arasında tedricen değişir ve a'nın 0 ilâ 90° olmasına karşılık sırası ile P_A ve P_B = P_H değerlerini alır ve aşağıdaki formül bunu gerçekler :

$$(1) P = y (h + r \sin^2 a) (1 - k \sin^2 a) : Bu-C$$

rada dış basıncın ifadesi olarak nazarı itibara alınan kuvvetler daima radyaldır. Bu kabulün, borunun bütün cidarı üzerindeki basınçların her hangi bir toplanma meydana getirmemesi ve ayrıca değerlerinin, nazarı itibara alınan basınçların tabiatına uygunluğu halinde doğru olduğu muhakkaktır.

Şekil — 2 nin gösterdiği gibi, dış basınçlar tamamen bu mülâhazaya uygun olduğundan (1) formülü şâ-yanı kabuldür.

(C') nün poler açısı a = 180° — a olsun, basınç :

$$P = y [h + r \sin^2 (180^\circ - a)]$$

$$C' [1 - k \sin^2 (180^\circ - a)] =$$

$$y (h + r \sin^2 a) (1 - k \sin^2 a) (1 - k \sin^2 a) = P_C$$

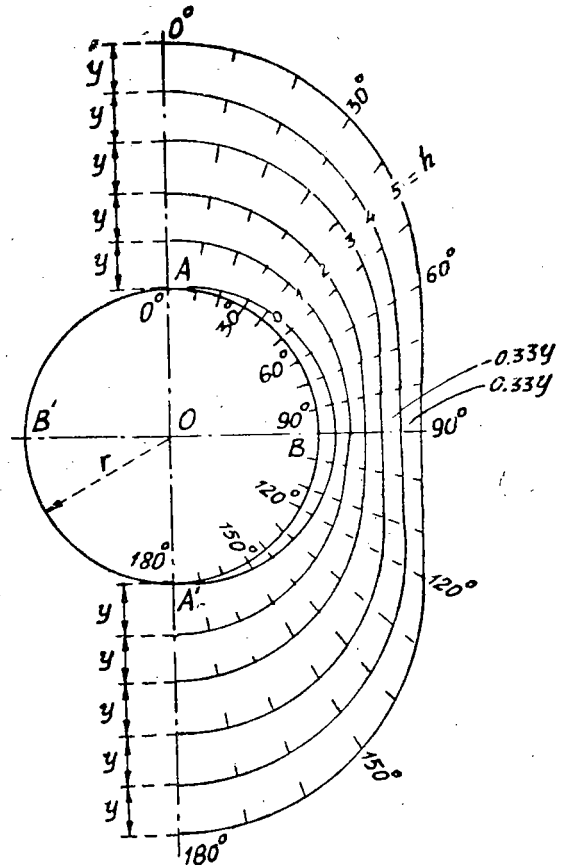
olur, yani C ve C' deki basınçlar eşittir ki şu halde borunun alt yanı ile üst yanı aynı yük altındadır demektir. Basınçların bu şekilde dağılımı dengede bir sistem teşkil eder ki imlânın husule getirdiği dış basınçlar reaksiyonlarla dengede demektir. Netice bu bakımdan gayet uygundur.

k, ortalama olarak 0,67 değerini asla ve r=1 ol-
sa; imlâ yüksekliğini h = 0,0, 1,00, 2,00, 3,00, 4,00, 5,00, ... ve poler açıları a = 0°, 10°, 20°, ... 80°, 90°, ... 170°, 180° kabul ederek dış basınçları hesaplayalım. Neticeler 1 No. lu tabloya kaydedilmiştir ve basınç eğrileri Şekil : 2 de çizilmiştir.

Görülür ki zeminden doğan basınç eğrileri pratik maksatlar için kâfi derecede tatmin edici çözüm temsil ederler.

TABLO : 1
HÂSIL OLAN DIŞ BASINÇLAR : P_C/y

a	h=0.00 m	h=1.00 m	h=2.00 m	h=3.00 m	h=4.00 m	h=5.00 m
0°	0.0000	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	5.0000
10°	0.0295	1.0093	1.9891	2.9689	3.9487	4.9285
20°	0.1078	1.0294	1.9511	2.8727	3.7943	4.7159
30°	0.2080	1.0406	1.8731	2.7056	3.5381	4.3706
40°	0.2988	1.0220	1.7451	2.4683	3.1915	3.9147
50°	0.3561	0.9629	1.5698	2.1766	2.7834	3.3903
60°	0.3731	0.8706	1.3681	1.8656	2.3631	2.8606
70°	0.3606	0.7690	1.1774	1.5858	1.9941	2.4025
80°	0.3396	0.6898	1.0400	1.3902	1.7404	2.0906
90°	0.3300	0.6600	0.9900	1.3200	1.6500	1.9800
100°	0.3396	0.6898	1.0400	1.3902	1.7404	2.0906
110°	0.3606	0.7690	1.1774	1.5858	1.9941	2.4025
120°	0.3731	0.8706	1.3681	1.8656	2.3631	2.8606
130°	0.3561	0.9629	1.5698	2.1766	2.7834	3.3903
140°	0.2988	1.0220	1.7451	2.4683	3.1915	3.9147
150°	0.2080	1.0406	1.8731	2.7056	3.5381	4.3706
160°	0.1078	1.0294	1.9511	2.8727	3.7943	4.7159
170°	0.0295	1.0093	1.9891	2.9689	3.9487	4.9285
180°	0.0000	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	5.0000



ŞEKİL : 2

b) İmlâ yüksekse, zeminin kemerlenmesini naza itibara almalıdır ki burada meydana gelen yatay dağılım basıncın değerini gayri kabili ihmal bir derecede azaltır. (Şekil : 3). Umumiyetle olduğu gibi 5.00 m ni üstündeki imlâ yüksekliklerinde basıncın daha fazla artmadığı (Şekil : 4) kabul edilebilir. Bunun neticesi olarak basıncın değeri, bir taraftan bir doğru diğere taraftan bir parabolle sınırlı (M₁, M₂, X₁, X₂) bir şekli yüzeyine eşit olduğu kabul edilerek, basıncın azaltma miktarı yani hakiki basınç durumu tayin edilebilir.

Dikkat edilmelidir ki imlâ yüksekliğinin az olması halinde basınç azaltılmaz, M₁, M₂ uzunluğu y ya eşit olur; parabolün katsayısı C ise, bu eğrinin koordinatları :

$$X_1 X_2 = C (5.00 - h)^2$$

$$M_1 M_2 = C 5.00^2 = y \text{ dir.}$$

Şu halde, C = 0.04 y ; X₁ X₂ = 0.04 (5 — h)² ye ve M₁, M₂, X₁, X₂ yüzeyi :

$$(2) P = \frac{y}{3} 5 - 0.04 (5 - h)^2 \quad \text{olu.}$$

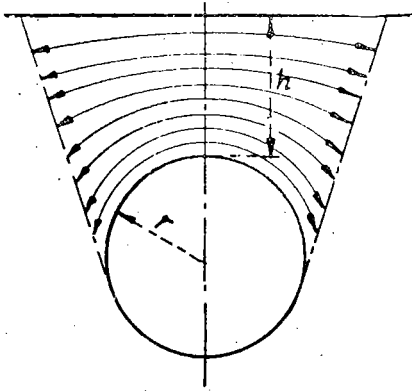
(2) formülüne göre hesaplanan azaltılmış basınçlar I No. lu tabloya yazılmıştır. Netice olarak 5.00 m yüksekliğinde bir imlânın meydana gelen dış basınçlar 5, yerine 1.667 y zemin ağırlığından fazla değildir.

Eğer (1) formülüne ile hesaplanan basıncı azaltmak istersek iki hal ayırmamız icabeder :

1°. Eğer imlâ yüksekliği 5.00 m ye eşit veya daha fazla ise dış basınç (1) formülünden neticelenen değerin üçte birine eşit olur :

$$(3) \quad P = \frac{y}{C} [5 - 0.04 (5 - h)^2] \\ (h + r \sin^2 a) (1 - k \sin^2 a)$$

Yani (1) formülü ile hesaplanan değerler, (2) denkleminde elde edilen değerlerle azaltılır.

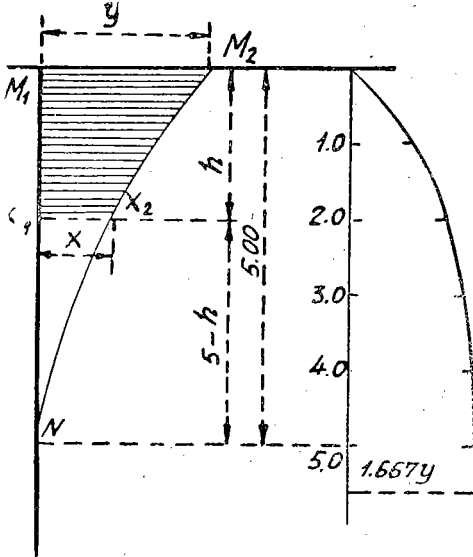


ŞEKİL : 3

TABLO : II

İmlâ yüksekliği h =	Dış basınç P = C
0.00 m	0.000 y
1.00 m	0.813 y
2.00 m	1.307 y
3.00 m	1.560 y
4.00 m	1.653 y
5.00 m	1.667 y

2° İmlâ yüksekliği küçükse azaltma yapılmaz.



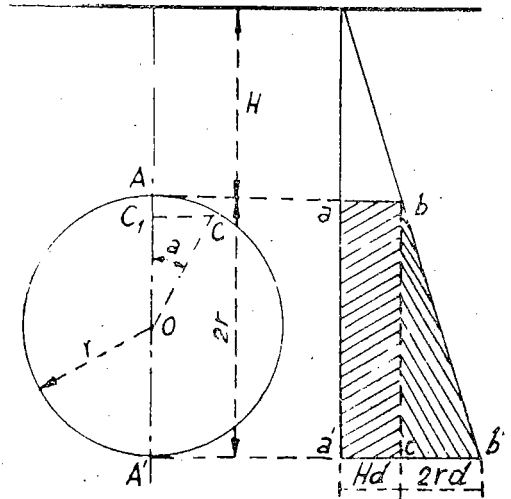
ŞEKİL : 4

4 — Boru içindeki suyun basıncı: Bu tamamen ekzakt bir şekilde hesaplanabilir. Su yüzü ile boru anahtarı arasındaki mesafeye H dersek, (Şekil - 5 7 A ve A' deki basınç sırası ile Hd ve (H+2r) d olur ki burada d suyun özgül ağırlığını 1000 kg/m³ gösterir.

Basınç diyagramını (abb'a), aba'c ve bb'c parçalarına ayıralım. Birinci kısım üniform yayılı bir basınç olup borunun bütün kesitlerinde Hd ye eşit sabit bir iç basınç meydana getirir. Diyagramın ikinci kısmından meydana gelen basınç tedricen artar, meselâ C noktasındaki basınç AC₁ su yüksekliğinden doğar. Şu halde bu iç basıncın değeri :

$$(4) \quad AC_1 d = (OA - OC_1) d = r (1 - \cos a) d \text{ dir.}$$

Üniform olarak dağılan basınç kısmı, eğilme momenti doğurmaz. Fakat cidarda sabit bir cer kuvveti hâsıl eder (Hdr), halbuki değişken olan basınç kısmı burada bir eğilme momenti meydana getirir.



ŞEKİL : 5

B. ÇÖZÜMÜN ESAS PRENSİBİ :

Evvelce bahsedildiği gibi, hareketli yük, zati ağırlık ve imlâ yükü fiktif imlâ yükseklikleri hesaba katılarak hep birlikte tâyin edilebilirler. Bunlar esas itibarıyla cidarın eğilmesini meydana getirirler. Şu halde doğrudan doğruya gelen sabit ve üniform basınçlar hâzi ehemmiyet değildir.

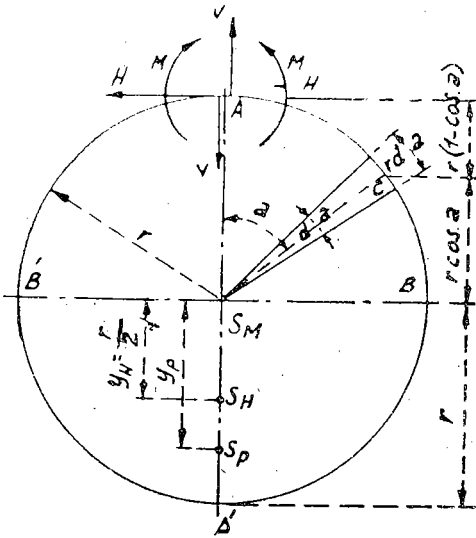
Boru içindeki suyun basıncı aynı şekilde bir eğilme doğurur, fakat eğer H büyükse husule gelen cer daha büyük ehemmiyet kesbeder.

Şu halde imlâ tarafından cidarda husule getirilen normal kuvvetleri ihmal edebiliriz, halbuki boru içindeki suyun basıncından husule gelen normal kuvvetler asla kabili ihmal değildir.

Eğilme ise ister iç ister dış kuvvetlerden hâsıl olsun, daima mühim değerler aldığından asla ihmal edilemez.

Eğilme momentlerini tâyin etmek basit değildir. Boru bir rijit çerçeve olup çözüm için umumî bir metod vâz etmek mecburiyetindeyiz.

Boru A noktasından kesilse, A kesitinde dış kuvvetlerle dengede olan düşey V reaksiyonları, H dafileları ve M momentleri kendini gösterecektir ki bunlar ikişer ikışer birbirlerine eşit ve yönleri zıttır (Şekil : 6).



ŞEKİL : 6

Yüklemeye ve konstrüksiyonun simetrik olduğu nazara alınsa, v düşey kuvveti ortadan kalkar çünkü aksi taktirde simetrik bir kuvvetler sistemi imkânsızdır. Aynı ayrı dengede bulunan diğer kuvvet ve momentler üç sınıfa ayrılabilir :

1 — Aynı yatay üzerinde tesir eden H kuvvetleri birbirine eşit ve zıt yöndedirler.

2 — A noktasında tesir eden iki reaksiyon momenti (M) birbirine eşit ve zıt yöndedir.

3 — Boruya gelen dış kuvvetler (toprak basıncı veya iç su basıncı gibi) bu reaksiyonlarla dengede bir kuvvetler sistemi teşkil ederler.

Simetriden dolayı boru ikinci dereceden hiperstatik bir sistemdir. Statik meçhuller H ve M olup bunları elde etmek için borunun deformasyonlarını tâyin etmek lâzımdır. Metodu basitleştirmek için A kesitindeki toplam deformasyonu bir defada hesaplayalım ve yukarıda gösterilen üç grubun herbirindeki kuvvetlerin hâsıl ettiği eğilme momentlerini nazara alalım (Ankastre kemerlerde takip edilen usul gibi.)

Borunun çevresi boyunca atalet momenti sabit olduğundan eğilme momenti diyagramı ile bunun açısai değişimi idantik olarak nazara alınabilir.

Birinci diyagram H kuvvetlerinin momentlerinden müteşekkil olup; herhangi bir C kesiti için eğilme momenti :

$$M = H r (1 - \cos \alpha) \text{ dir.}$$

Borunun uzunluk elemanının r da olduğu nazara alınarak açısai olarak değişen diyagramın alanı :

$$(5) \quad S_H = 2 \int_0^{\pi} H r (1 - \cos \alpha) r d\alpha = 2 H r^2, \pi$$

Bu sathın BB' çapına göre momenti :

$$(6) \quad 2 \int_0^{\pi} H r (1 - \cos \alpha) r d\alpha r \cos \alpha = - H r^3, \pi$$

Açısai olarak değişen diyagramın ağırlık merkezi ordinatı ise,

$$(6) \quad y = - H r^3, \pi \frac{1}{2 H r^2, \pi} = - \frac{r}{2} \text{ olur.}$$

İkinci diyagram M momentinden mütevellid olup bütün kesit üzerinde sabit olduğu göz önünde tutularak, alanı :

$$(7) \quad S_M = 2 r \pi M \text{ dir.}$$

ve bundan dolayı ağırlık merkezi daireninki ile çakışır:

$$y_M = 0.$$

Üçüncü diyagram, S alanını ve y ağırlık merkezinin tâyin edecek diğer açısai değişimli tazyiklerdir.

Her iki A kesiti birbirlerine nazaran ne dönebilir ne de öteleme yapabilir. Her hangi iki kesit arasında açısai olarak değişen diyagram alanlarının, A kesitlerinin birbirine nazaran dönmesini temsil ettiklerini dikkate alırsak :

$$(8) \quad S_H + S_M + S_P = 0 \text{ olduğu aşıkârdır.}$$

S_H, S_M, S_P alanlarının statik momentleri A kesitlerindeki deplasmanları vereceğinden ve bu momentler toplamı sıfır olacağından, dairenin merkezine nazaran bu alanların momentleri :

$$(9) \quad S_H y_H + S_M y_M + S_P y_P = 0 \text{ dir.}$$

Yani (8) ve (9) formülleri, kendi ağırlık merkezlerine tatbik edilen üç alanın dengede bir kuvvetler sistemi teşkil ettiğini ifade eder.

(5) ve (7) denklemlerini (8) ve (9) da yerine koyarsak :

$$(10) \quad 2 H r^2 \pi + 2 r \pi M + S_P = 0$$

$$(11) \quad - H r^2 \pi + S_P y_P = 0 \text{ olur.}$$

Bunlar dairevî boruların hesabı için esas denklemleri teşkil ederler.

C. DIŞ KUVVETLER :

Dış kuvvetler hareketli yük, zati ağırlık ve imlâ yükünden müteşekkil olup hepsi birden fiktif bir imlâ yüksekliği şeklinde ifade olunur. (Şekil : 2) de görüldüğü gibi reaksiyonlarla tamamlanan bu yükler AA' ve BB' eksenlerine nazaran simetrik, yani borunun her dörtte biri idantik bir şekilde yüklenmiştir.

Bu çifte simetriden dolayı (10) ve (11) denklemleri çok basitleşir. A—B—A' boru yarısının dengesini düşünersek (Şekil : 7) H ve H' yatay reaksiyonları eşit olurlar ve değerleri de A ve B ile B ve A' arasında dış tazyik muhassalasının yatay bileşenine eşittirler.

Dış basınçların yatay ve düşey bileşenleri, (1) formülüne göre, sırası ile şunlardır :

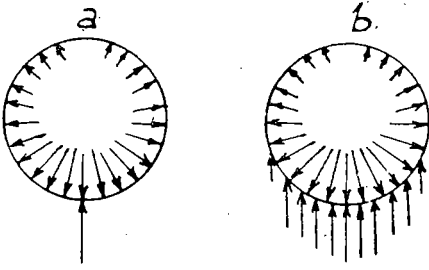
$$\text{Yatay} = y (h + r \sin^2 \alpha') (1 - k \sin^2 \alpha') \sin \alpha'$$

$$\text{Düşey} = y (h + r \sin^2 \alpha') (1 - k \sin^2 \alpha') \cos \alpha'$$

Şu halde yatay H reaksiyonu :

$$(12) \quad H = y \int_0^{\pi/2} (h + r \sin^2 \alpha') (1 - k \sin^2 \alpha') d\alpha'$$

$$\sin \alpha' r d\alpha' = \frac{1}{15} y r [10 r + 15 h - 2 k (4r + 5h)]$$



ŞEKİL : 8

$$+ 2Hr^2 \pi + 2r \pi M + r^3 \pi d = 0$$

$$- Hr^3 \pi - 3/4 r^3 \pi d = 0 \text{ elde edilir}$$

Bu denklemler iki bilinmeyeni verirler :

$$H = - 3/4 r^2 d ; M = + 1/4 r^3 d$$

Bunlarla formül (19) un değeri tamamlanırsa, borunun herhangi bir noktasındaki eğilme momenti :

$$(20) M = r^3 d [(2 - \cos a - 1/2 a \sin a) + 1/4 a^2 r d - 3/4 r^2 (1 - \cos a)] = 1/4 r^3 d (2 - \cos a - 2 a \sin a)$$

Bu hesap boyunca A dan A' ye kadar olan iç basınçları reaksiyonsuz olarak nazara aldık demek değildir. Aşıkardır ki iç basınçlarla dengede bir sistem teşkil eden reaksiyonu A' ya tatbik edebiliriz. Şu halde (20) denklemi 8a şekline göre mesnetlenmiş bir borunun eğilme momentini gösterir 8b şekline göre mesnetlenmiş bir borunun momentlerini istihraç için ise iç basıncın yalnız yatay bileşenlerini düşünüp düşey bileşenlerini ihmâl ederek eğilme momentlerini hesap etmek gerekir. Suyun düşey basıncı doğrudan doğruya alt yan cidardan toprağa geçer ve bunlar herhangi bir moment doğurmazlar, fakat üst yanın düşey basınç bileşenleri tabiidir ki moment doğururlar, fakat bu ekseriya kabili ihmâl olup A noktasında sıfır değerini haizdir, ve B noktasında da o kadar ehemmiyet kesbetmez. Şu halde üst yan kısmında iç basınç düşey bileşenleri ihmâl edilirse, yalnız yatay bileşenlerin D noktasına göre momentleri :

$$(21) rd \int_{a'=0}^a (1 - \cos a') \sin a' (\cos a' - \cos a)$$

$$r^2 da' = 1/6 r^3 d (1 - \cos a + 3 \cos^2 a - \cos^3 a)$$

Bu moment diyagramının alanı :

$$S = 1/3 r^3 d \int_{a=0}^{\pi} (1 - 3 \cos a + 3 \cos^2 a - \cos^3 a) r da = 5/6 r^4 \pi d$$

Ve bu alanın boru merkezine göre statik momentleri :

$$S_P y_P = 1/3 r^3 d \int_{a=0}^{\pi} (1 - 3 \cos a + 3 \cos^2 a - \cos^3 a) r \cos a r da = 5/8 r^5 \pi d$$

Buna göre :

$$y_P = - 5/8 r^5 \pi d / 5/6 (1/r^4 \pi d) = - 3/4 r$$

bulunur.

(10) ve (11) formüllerine S_P ve y_P nin değerleri ni koyarsak :

$$2Hr^2 \pi + 2r \pi M + 5/6$$

$$r^4 \pi d = 0 - Hr^3 \pi - 5/8 r^3 \pi d = 0 \text{ elde edilir.}$$

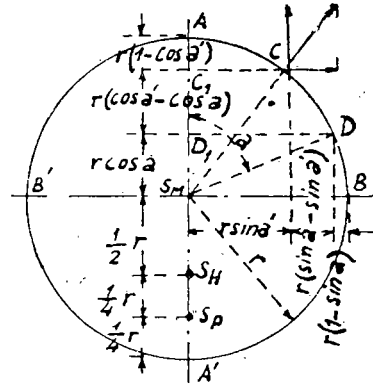
Şu halde hiperstatik bilinmeyenler :

$$H = - 5/8 r^2 d \text{ ve } M = 5/24 r^3 d \text{ olarak bulunur.}$$

İfade edilen iç basınç momentlerini (21) formülü ile toplayarak tamamlarsak, borunun herhangi bir noktasındaki eğilme momentleri :

$$(22) Mb = 1/6 r^3 d (1 - 3 \cos a + 3 \cos^2 a - \cos^3 a) + 5/24 r^3 d - 5/8 r^2 d r (1 - \cos a) = 1/24 r^3 d (6 \cos^2 a - \cos^3 a)$$

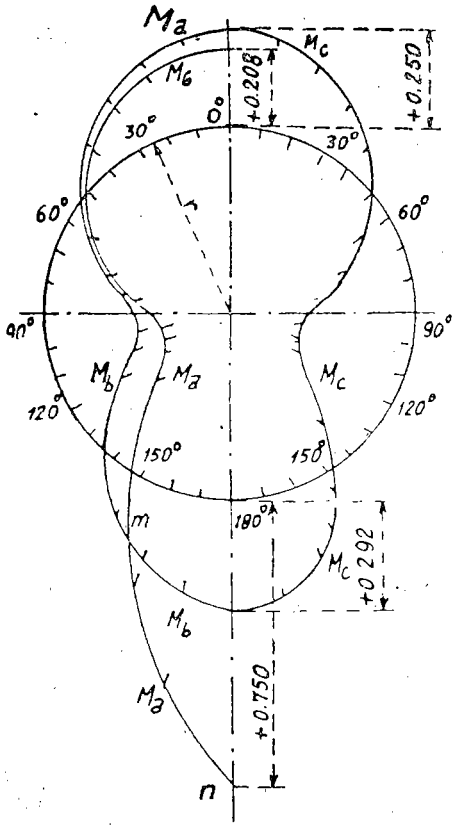
Evvelce de zikredilmiş olduğu gibi (20) ve (22) formülleri mümkün olan mesnetleme hallerinin iki limit durumunda momentleri verir. Yalnız a açısı ve r yarıçapına tâbi olan bu momentlerin değerlerini tayin etmek istiyelim : Poler açısının 0° 10° 20° 80° 90° 100° 170° 180° olmasına göre hesaplanan momentler III. No. lu tabloya yazılmış olup (Şekil : 10) da çizilmiştir. Bu eğriler iki limit halin arasındaki farkın mühim olmadığını gösterir. Yalnız A' noktası bundan müstesna olup burada reaksiyonlar bir noktaya toplanmıştır ve moment çok büyüktür. (Şekil : 8a) nın gösterdiği limit duruma erişilemeyeceğine dikkat edilirse a eğrisinin mn kısmı terk edilir, bunun yerine c eğrisi kabul edilir. (Şekil : 10) ve III. No. lu tablo.



ŞEKİL : 9

TABLO No. III

Poler açısı a	İç su basıncından doğan eğilme momentleri Ma/r ³	Mb/r ³	Mc/r ³
0°	+0.25000	+0.20833	+0.25000
10	+0.23864	+0.19884	+0.23864
20	+0.20538	+0.17068	+0.20538
30	+0.15259	+0.12500	+0.15259
40	+0.08412	+0.06425	+0.08412
50	+0.00506	-0.00733	+0.00506
60	-0.07845	-0.08333	-0.07845
70	-0.15953	-0.15543	-0.15953
80	-0.23094	-0.21409	-0.23094
90	-0.28540	-0.25000	-0.28540
100	-0.31600	-0.25576	-0.31600
110	-0.31653	-0.22759	-0.31653
120	-0.28190	-0.16667	-0.28190
130	-0.20835	-0.07950	-0.20835
140	-0.09381	+0.02258	-0.09381
150	+0.06201	+0.12500	+0.06201
160	+0.25737	+0.21234	+0.21234
170	+0.48859	+0.27101	+0.27101
180	+0.75000	+0.29167	+0.29167



ŞEKİL : 10.

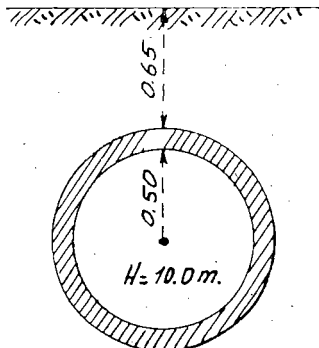
E. NÜMERİK MİSAL :

0.50 m. iç çapında, cidar kalınlığı 10 cm olan bir dairevi boru 65 cm lık bir imlâ altında bulunsun. Hareketli yük 400 kg/m² ye eşit insan kalabalığı yüküne müsavi ve iç su basıncı da 10.00 m olsun. Cidar-daki eğilme momentleri ve gerilmeler tayin edilmek isteniyor. (Şekil : 11).

Fiktif imlâ yüksekliği şunlardan müteşekkildir :
 Hareketli yük 400/1800 = 0.22 m
 Zati ağırlık (0.10×2400/1800) = 0.13 m
 İmlâ 0.65 m

Toplam : 1.00 m

Burada toprak ağırlığı 1800 kg/m³ ve malzemenin



ŞEKİL : 11

ağırlığı da 2400 kg/m³ kabul edilmiştir. İmlâ yüksekliği fazla olmadığından dış basıncı azaltmaya lüzum yoktur. İçsel sürtünme açısı $\phi = 30^\circ$ ise dış tesirlerden husule gelen momentleri hesaplamak için (18) formülünü tatbik edelim :

$k = 1 - \tan^2 (45 - 30/2) = 0.667$, ortalama yarı çap :

$$r = 0.50 + 0.10/2 = 0.55 \text{ m.}$$

$$B_1 = -0.667 \times 0.55 = -0.3667$$

$$B_2 = 6 \times 0.667 \times 0.55 + 5 \times 0.667 - 5 \times 0.55 = +2.2833$$

$$B_3 = 2.625 \times 0.667 \times 0.55 - 2.5 \times 0.667 + 2.5 \times 0.55 = -1.2542$$

Böylece momentler :

$$M_1 = 1/15 \times 1800 \times 0.55^2 (-0.3667 \cos^4 a + 2.2833 \cos^2 a - 1.2542)$$

Suyun tesiri ile meydana gelen moment, (20i ile (22) formüllerine göre :

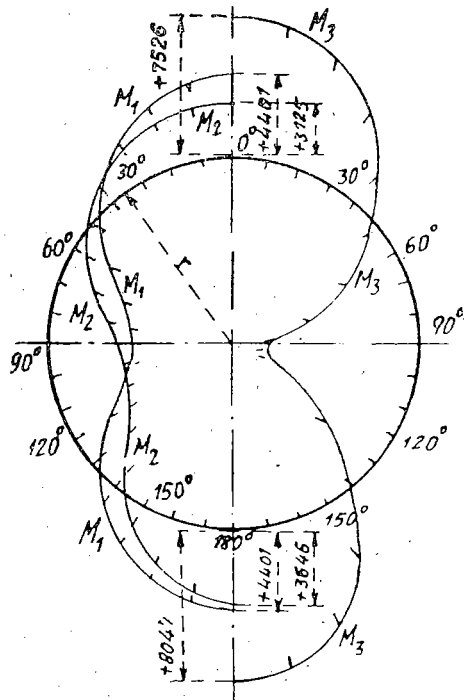
$$M'_2 = 1/4 \times 0.50^3 (2 - \cos a - 2a \sin a) \times 1000 \text{ veya}$$

$$M''_2 = 0.50^3/24 (6 \cos^2 a - \cos^3 a) \times 1000$$

(M₂ için (10) No. lu şeklin c eğrisi nazara alınmıştır.)

0° 10° 20° 180° ye kadar poler açılar için M₁ ve M₂ momentlerini hesaplayalım ve toplam moment olarak M₃ = M₁ + M₂ yi teşkil edelim. Bu M₁, M₂ ve M₃ momentleri IV. No. lu tabloya yazılmış ve (12) No. lu şekilde de çizilmiştir.

İç su basıncından dolayı cidarda husule gelen sabit cer kuvveti ise evvelce hesapladığımız momentlerden hariç olarak, $F = 10.00 \times 50 \times 1000 = 5000 \text{ kg/m}$ dir ki boru boyunca bütün kesitlere üniform olarak tesir eder.



ŞEKİL : 12

TABLO IV

Poler açısı a	Basıncılardan doğan eğilme momenti (kg cm) Dış (M ₁)	İç (m ₂)	Toplam (M ₃)
0	+4401	+3125	+7526
10	+3994	+2983	+6977
20	+3331	+2567	+5898
30	+2276	+1907	+4183
40	+ 918	+1052	+1970
50	— 605	+ 63	— 542
60	—2110	— 981	—3091
70	—3389	—1994	—5383
80	—4249	—2887	—7136
90	—4553	—3568	—8121
100	—4249	—3950	—8199
110	—3389	—3957	—7346
120	—2110	—3524	—5634
130	— 605	—2604	—3209
140	+ 918	—1173	— 255
150	+2276	+ 775	+3051
160	+3331	+2654	+5985
170	+3994	+3388	+7382
180	+4401	+3646	+8047

TABLO V

a	Cos a	Cos ² a	Cos ⁴ a
0	1.00000	1.00000	1.00000
10	0.98481	0.96985	0.94061
20	0.93969	0.88302	0.77972
30	0.86603	0.75000	0.56250
40	0.76604	0.58682	0.34436
50	0.64279	0.41318	0.17072
60	0.50000	0.25000	0.06250
70	0.34202	0.11697	0.01368
80	0.17365	0.03015	0.00909
90	0.00000	0.00000	0.00000
100	—0.17365	0.03015	0.00909
110	—0.34202	0.11697	0.01368
120	—0.50000	0.25000	0.06250
130	—0.64279	0.41318	0.17072
140	—0.76604	0.58682	0.34436
150	—0.86603	0.75000	0.56250
160	—0.93969	0.88302	0.77972
170	—0.98481	0.96985	0.94061
180	—1.00000	1.00000	1.00000

80

Senedenberi tanınan

EMERGÉ Taşıyıcı kolonları

Bütün sanayi kollarında temayüz etmiştir

- Uzun ömür
- Darbelere ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet
- Her türlü çalışma şartlarında malzemenin tam emniyetle taşınması

Tafsilâtli bilgi almak için

Türkiye Mümessili:

H. KRANZFELD

P.K. 9 Galata İSTANBUL

veya



Société Hongroise Pour le Commerce de
Produits Chimiques
BUDAPEST 4, B.P. 51 - HONGRIE

