

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Tek Açık Ver, Mas. Bet. Plak Köp.
Soni Ele. Yön. İle Sta. Etü. ve
Don. Yer. Bak. Öner.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tulay Aksu

1987

117
2000/1

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK AÇIKLIKLI VEREV MASİF BETONARME PLAK KÖPRÜLERİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ETÜDÜ VE
DONATI YERLEŞTİRİLMESİ BAKIMINDAN ÖNERİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Tülay AKSU

İSTANBUL-1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R. 150
Alındığı Yer : Ten. Bil. Ens. 115
Tarih : 24.12.1988
Fatura :
Fiatı : 5500 TL
Ayniyat No : 1/24
Kayıt No : 45927
UDC : 378.242
Ek : 624.2/8

x

YILDIZ
ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE
19

17

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK AÇIKLIKLI VEREV MASİF BETONARME PLAK KÖPRÜLERİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ETÜDÜ VE
DONATI YERLEŞTİRİLMESİ BAKIMINDAN ÖNERİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÖNETEN: Prof.Dr. Hüseyin S. CELASUN

HAZIRLAYAN: İnş. Müh. Tülay AKSU

İSTANBUL-1987

ÖZET	1
YERİNE	2
Tezde Kullanılan Kısaltmalar	3
GİRİŞ	4
BİRİNCİ KISIM	
1.2.5. Bu Tezde Kullanılan Semboller ve Kısaltmalar	
1.1. Giriş	1
Bu tezin hazırlanmasında yol gösteren hocam Prof.Dr. Hüseyin S.Celâsun' a, bilgisayar çalışmalarında yardımcı olan Öğr.Gör. Mete Karakoç' a saygı ve şükranlarımı sunarım.	4
1.2. Temel Kavramlar	6
1.3. Anal Kavramlar	8
1.4. Temel Kavramlar	9
1.5. Temel Kavramlar	11
1.6. Temel Kavramlar	12
1.7. Temel Kavramlar	13
1.8. Temel Kavramlar	14
İKİNCİ KISIM	
2.1. Giriş	
2.2. Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	15
2.2.1. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	16
2.2.2. Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	17
2.3. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	22
2.4. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	23
2.5. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	24
2.6. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	31
2.7. Çok Katmanlı Veri Plakalarının Temel Kavramları ve Özellikleri	33

İÇİNDEKİLER

Sahife

ÖZET	
VORWORT	1 40
Hesaplarda Kullanılan Notasyonlar	40
GİRİŞ	42
BÖLÜM 1	44
İNCE PLAK TEORİSİNE GENEL BİR BAKIŞ	
1.1.İnce Plak Teorisi	1
1.2.Deformasyon Şartları	2
1.3.İç Kuvvetler	4
1.4.İç Kuvvetlerin Elastik Yüzeyin Türevlerine Bağlı Olarak Elde Edilmesi	6
1.5.Asal Momentler	8
1.6.Mesnet Reaksiyonları.....	9
1.7.Kenardaki Burulma Momentleri ve Köşe Kuvvetleri	11
1.8.Plağın Şekil Değiştirme İşi	12
1.9.Virtüel Yer Değiştirmeler Prensibi	13
1.10. Potansiyel Enerjinin Minimum Olması Prensibi	14
BÖLÜM 2	
VEREV PLAKLAR	
2.1.Genel Bilgi	15
2.2.Verev Plakların Elastik Yüzeyinin Elde Edilmesi	16
2.2.1. Eğik Kartezyen Koordinatlı Plak Teorisinin Ana Denklemleri..	17
2.2.2. Verev Plaklara Uygulama	22
2.3. Tek Açıklıklı Verev Plak Köprüler	23
2.4. Eğilme Momentleri	24
2.5. Serbestçe Dönebilecek Şekildeki Mesnetlenmede İki Kenarından Mesnetlenmiş Verev Plakların Moment Değerlerinin Tahmini İçin Kurallar	31
2.6. Serbestçe Dönebilecek Şekildeki Mesnetlenmede Dört Kenarından Mesnetlenmiş Verev Plakların Moment Değerlerinin Tahmini İçin Kurallar	33

2.7. Mesnet Tepkileri, Mesnetlenme, Kesme Kuvvetleri	34
--	----

BÖLÜM 3

VEREV PLAKLARDA DONATI YERLEŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ ÖNERİLER

3.1. Verev Plaklarda Donatı Durumunun ve İlave Donatının Belirlenmesi	40
3.2. Dik Açılılı Donatı Ağı	40
3.3. Verev Donatı Ağı	42
3.4. Verev Plakların Donatı Düzeni ile İlgili Öneriler	44

BÖLÜM 4

ÇÖZÜM METODLARINA KISA BİR BAKIŞ ve SONLU ELEMAN METODU

4.1. Çözüm Metodları	48
4.2. Sonlu Eleman Metodu	49
4.3. Genel Bağıntılar	50
4.3.1. Deformasyonlar	52
4.3.2. Gerilmeler	52
4.3.3. Deplasman Fonksiyonu.....	53
4.4. Plak Probleminin Yer Değiştirme Durumu	53
4.5. Plaklarda Üçgen Sonlu Eleman	56
4.6. Çözüm İçin Kullanılan Üçgen Sonlu Eleman	58

BÖLÜM 5

TESİR YÜZEYLERİ ve BİLGİSAYARLA ÇÖZÜM

5.1. Tesir Yüzeylerinin Tanımlanması	60
5.2. Bilgisayarla Çözüm	60
5.2.1. Düğüm Noktası Koordinatlarını Veren Alt Program	61
5.2.2. Eleman Rijitlik Matrisini Veren Alt Program	62
5.2.3. Program Çalışma Şeması	66
5.3. Bilgisayar Sonuçları ve Sonuçlara Göre Elde Edilen Tesir Yüzeyleri	67

BÖLÜM 6

Sonuçların Karşılaştırılması	106
Özgeçmiş	107
Yararlanılan Kaynaklar	108

ÖZET

Bu çalışmada birinci bölümde, genel plak teorisi kısaca gözden geçirilmiştir. Bu genel bilgidен hareketle sonraki bölümde verev plak diferansiyel denklemi elde edilmiştir. Tek açıklıklı betonarme verev plak köprülerde eğilme momentleri için hesap kuralları, mesnetlenme şekilleri de belirtilmiştir. Ayrıca verev plakların donatı düzeni ile ilgili bilgiler de verilmiştir.

Örnek olarak, tek açıklıklı bir verev plak için tekil hareketli yük altında eğilme momentleri, burulma momenti ve kesme kuvvetleri üçgen sonlu eleman kullanılarak çözülmüştür. Çözüm için hazırlanan programlarda Multitech 500 bilgisayarını kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre moment tesir yüzeyleri çizilmiştir.

HESAPLAMA KULLANILAN NOTASYONLAR

h : Plak Kalınlığı

x, y, x', y' : Şekil Değiştirme Değişkenleri

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{x}', \bar{y}'$: Gerilme Değişkenleri

w_1 : Düşey Deplasman

$\sigma_{x1} = \left(\frac{\partial w_1}{\partial x}\right)$: x Eksenine Karşındaki Gerilme

VORWORT

$\sigma_{y1} = \left(\frac{\partial w_1}{\partial y}\right)$: y Eksenine Karşındaki Gerilme

In dieser wissenschaftlichen Arbeit wird Grundlagen der Plattentheorie in der 1. Teilung erwähnt. In der folgenden Teilung wird nach diesen Kenntnissen Differenzengleichung der schiefwinkligen Platte erreicht. In den schiefwinkligen einfeldrigen Plattenbrücken werden auch Berechnungsgrundlagen für Biegemomente, Auflagerkräfte und Lagerung bestimmt. Ausserdem wird auch Bewehrung schiefer Platten untergesucht.

Biegemomente, Drillmomente und Querkräfte werden, in einer schiefwinkligen einfeldrigen Platte für die Punktlast $F = 1$, durch Methode der finiten Elemente berechnet. Die Ergebnisse werden mit Computerhilfe Multitech 500 erhalten. Nach diesen Ergebnissen werden die Einflussfläche für Momente gezeichnet.

M : Moment Potansiyelleri

$(F)^e$: Eleman Düşey Noktası Kuvvetleri

$(\delta)^e$: Eleman Düşey Noktası Deplasmanları

$[k]$: Eleman Rijitlik Matrisi

$[N]$: Şekil Potansiyelleri

HESAPLARDA KULLANILAN NOTASYONLAR

- h : Plak Kalınlığı
- $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$: Şekil Değiştirme Bileşenleri
- $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$: Gerilme Bileşenleri
- W_i : Düşey Deplasman
- $\theta_{xi} = \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_i$: x Eksenine Etrafındaki Dönme
- $\theta_{yi} = \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_i$: y Eksenine Etrafındaki Dönme
- M_x, M_y : Eğilme Momentleri
- M_{xy} : Burulma Momenti
- Q_x, Q_y : Kesme Kuvvetleri
- D : Plakın Eğilme Rijitliği
- M_1, M_2 : Asal Moment Değerleri
- α : Asal Moment Doğrultusu
- A_i : Plakın Şekil Değiştirme İşi
- \emptyset : Verevlik Açısı
- b : Köprü Esenine Dik Olan Plak Genişliği
- l : Mesnet Hatları Arasındaki Açıklık
- n : Moment Katsayıları
- $\{F\}^e$: Eleman Düşüm Noktası Kuvvetleri
- $\{\delta\}^e$: Eleman Düşüm Noktası Deplasmanları
- $[k]^e$: Eleman Rijitlik Matrisi
- $[N]$: Şekil Fonksiyonları

-GİRİŞ-

Bir çok pratik uygulamalarda yüzeysel taşıyıcı sistemlerin kalınlığı ortalama yüzeyin boyutlarına nazaran küçük olduğundan gerilme hali idealize edilebilir. Bundan başka malzemenin homogen, izotrop olduğu farzedilir ve HOOKE kanunu esas alınır, pratikte önemli olan bir çok problemi kesin olarak çözmek mümkün olur.

Şekli, sınır şartları ve üzerindeki yükü belli olan bir plak problemini çözmek demek $w(x,y)$ elastik yüzey ifadesini bulmaktır. Bu çalışmada, bu amaç için sonlu eleman metodu kullanılmıştır.

Sonlu eleman metodunda plak sonlu sayıda elemana bölünmüş farzedilip eleman kenarları üzerinde yayılı iç kuvvetleri elemanların birleştiği ve düğüm noktası denen noktalara etkileyen bir fiktif kuvvetler sistemi ile temsil edilir. Bu denklem takımının çözümü ile çökmeler ve iç kuvvetler hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada üçgen sonlu eleman seçilerek plak kesit tesirleri bilgisayar programı yardımı ile elde edilmiş ve plağa ait moment tesir yüzeyleri verilmiştir.

Şekil: 1.1

Plakın noktaları (x,y) eksenlere orta düzlem içinde ve z ekseninde doğrultüsünde olan bir kartezyen koordinat eksen takımına nispet edilecektir. (Şekil: 1.1)

BÖLÜM 1

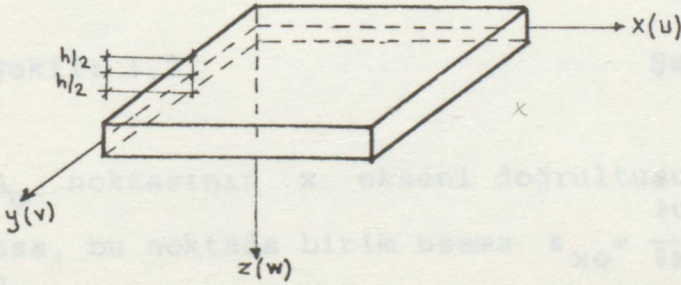
İNCE PLAK TEORİSİNE GENEL BİR BAKIŞ

1.1. İNCE PLAK TEORİSİ

Ortalama yüzeyinde bir eğilme meydana getirecek şekilde yüklenmiş, ince ve düzlem taşıyıcılara plak ismi verilir.

İnce plaklar yukarıda da belirtildiği gibi,

- Kalınlığı diğer iki boyutu yanında çok küçük olan,
- Kalınlığın orta noktalarının geometrik yeri düzlem olan,
- Taşıdığı yükler bu orta düzleme dik olan, iki boyutlu düzlemsel taşıyıcı elemanlardır. İnce plaklarda deformasyonlar sonsuz küçük olabildiği gibi sonlu da olabilir. Burada deformasyonlar sonsuz küçük ve w çökme-leri h plak kalınlığı yanında küçük olan plâkların hesabı incelenecektir.

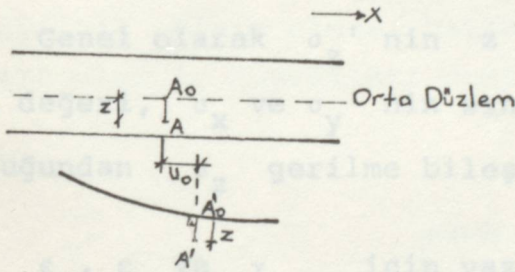


Şekil: 1.1

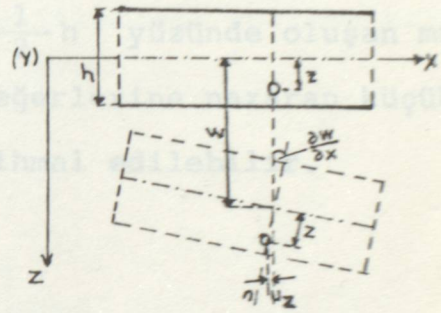
Plâğın noktaları, (x, y) eksenleri orta düzlem içinde ve z eksenini yük doğrultusunda olan bir kartezyen koordinat eksen takımına nisbet edilecektir. (Şekil: 1.1)

1.2. DEFORMASYON ŞARTLARI

Plaçın z yükseklikli bir A noktasının (x, y, z) eksenleri doğrultusundaki deplasman bileşenleri sırası ile u, v, w olsun. Buna göre A noktasında meselâ ϵ_x deformasyonu aransın. Bunun için plaçın bu noktada geçen ve xz düzlemine paralel bir düzlemle kesiti gözönüne alınmalıdır. Bu kesitle plastik yüzeyin aynı düzlemle ara kesiti ve A ile A' nin orta düzlemde izdüşümü olan A_0 noktalarında deformasyondan sonraki A', A_0' konumları Şekil: 1.2' de gösterilmiştir.



Şekil: 1.2



Şekil: 1.3

A_0 noktasının x eksenini doğrultusundaki deplasmanı u_0 mevcutsa, bu noktada birim uzama $\epsilon_{x0} = \frac{\partial u_0}{\partial x}$ dir. Ancak, $\epsilon_{x0} = \frac{\sigma_{x0}}{E} = 0$ olduğundan $u_0 = f(y)$ şeklinde olur. Böyle bir hareket yatay doğrultuda bir katı cisim hareketidir. Plakta böyle bir hareket olmadığına göre $u_0 = 0$ ve benzer şekilde $v_0 = 0$ olmalıdır. Şu halde orta düzlemdeki noktalar, yalnız kuvvet doğrultusunda deplasman yapabilmektedir.

Şekil: 1.3' de görüldüğü gibi orta düzleme ait bir $(x, y, 0)$ noktası z doğrultusunda bir w yer değişimine maruz kalır ve bu anda bu noktadan geçen, orta düzleme dik olan

normal bir miktar eğilir. Bu eğilme $\frac{\partial w}{\partial x}$ ve $\frac{\partial w}{\partial y}$ açıları yardımı ile belirtilebilir. Plâğın uz, vz, wz yer değişimleri,

$$w_z \approx w, \quad u_z = -z \cdot \frac{\partial w}{\partial x}, \quad v_z = -z \cdot \frac{\partial w}{\partial y} \dots\dots\dots (1.1)$$

Şekil değiştirme bileşenleri,

$$\epsilon_x = \frac{\partial u_z}{\partial x} = -z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \epsilon_y = \frac{\partial v_z}{\partial y} = -z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial x} = -2z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \cdot \partial y} \dots\dots\dots (1.2a)$$

Genel olarak σ_z ' nin $z = \mp \frac{1}{2} h$ yüzünde oluşan mutlak değeri, σ_x ve σ_y ' nin sınır değerlerine nazaran küçük olduğundan σ_z gerilme bileşeni ihmal edilebilir.

ϵ_x , ϵ_y ve γ_{xy} için yazılan

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \cdot \sigma_y)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \cdot \sigma_x) \dots\dots\dots (1.2 b)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

bağıntılarından yararlanarak σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilme bileşenleri şekil değiştirme fonksiyonları olarak ifade edilir.

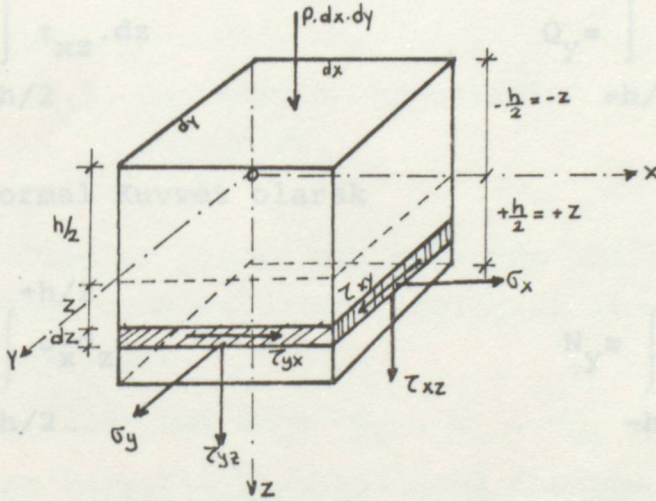
$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \cdot \epsilon_y) = - \frac{E \cdot z}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \cdot \epsilon_x) = - \frac{E \cdot z}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \dots \dots \dots (1.3)$$

$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} = - \frac{E \cdot z}{1+\nu} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

1.3. İÇ KUVVETLER

Plaktan alınmış $dx \cdot dy$ boyutlu bir plak elemanının yüzlerindeki gerilmeler Şekil: 1.4' de gösterilmiştir. $dx \cdot dy$ ' nin birim olması halinde kesitlerdeki gerilme bileşenlerine plak iç kuvvetleri denir.



Şekil: 1.4 Öne sürülen varsayımlar altında $dx \cdot dy \cdot h$ boyutlu bir plak elemanındaki gerilmeler.

Buna göre plakta,

a) Eğilme momentleri olarak

$$M_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \cdot z \cdot dz$$

$$M_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y \cdot z \cdot dz$$

b) Burulma momentleri olarak

$$M_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xy} \cdot z \cdot dz$$

$$M_{yx} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yx} \cdot z \cdot dz \quad (1.4)$$

c) Kesme (Enine) Kuvveti olarak

$$Q_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xz} \cdot dz$$

$$Q_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yz} \cdot dz$$

d) Normal Kuvvet olarak

$$N_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \cdot dz$$

$$N_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y \cdot dz$$

e) Kayma Kuvveti olarak

$$N_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xy} \cdot dz$$

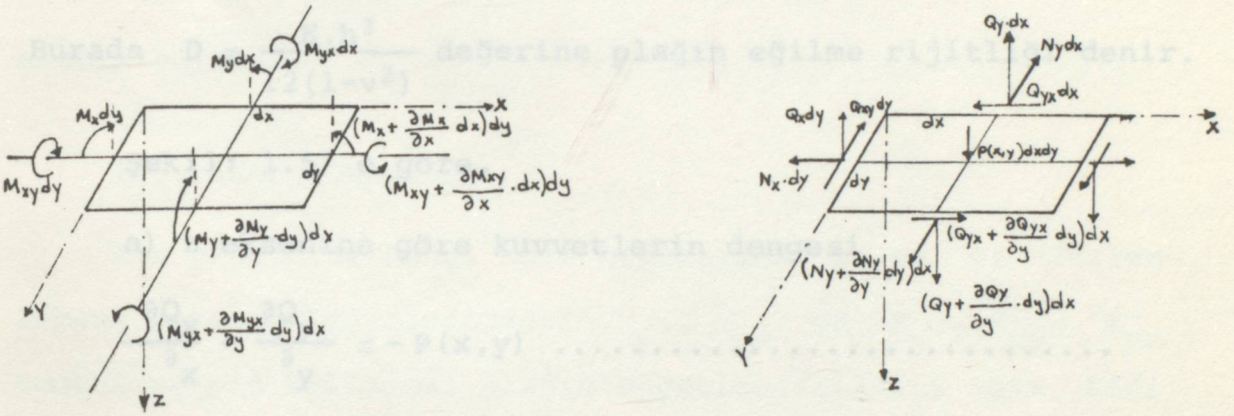
$$N_{yx} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yx} \cdot dz$$

İç kuvvetleri mevcuttur. $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ olduğu için $N_{xy} = N_{yx}$ ol-

duğu ve burulma momentleri için $M_{xy} = -M_{yx}$ olduğu görülebilir. Şekil: 1.5' e göre yatay izdüşüm denklemleri,

$$x \text{ doğrultusunda} \quad , \quad \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} = 0$$

$$y \text{ doğrultusunda} \quad , \quad \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} = 0$$



Şekil: 1.5 Öne sürülen varsayımlar altında plaktaki iç kuvvetler.

Bu denklemler yalnız sınırlarında yüklü olabilen bir levhanın denge denklemleridir. Dolayısı ile N_x , N_y , $N_{xy} = N_{yx}$ kuvvetleri sıfırdır.

Geriye kalan beş adet M_x , M_y , $M_{xy} = M_{yx}$, Q_x , Q_y iç kuvvetlerine karşılık yazılabilecek denklem sayısı üç tane olduğuna göre iç kuvvetlerinin tayini hiperstatik bir problem-dir.

1.4. İÇ KUVVETLERİN ELASTİK YÜZEYİN TÜREVLERİNE BAĞLI OLARAK ELDE EDİLMESİ

Gerilmelerin (1.3) ifadeleri tanımlanmış olan (1.4) iç kuvvet ifadelerine götürülür ve kalınlık üzerine integrasyon

ifadeleri yazılırsa,

$$M_x = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \dots\dots\dots$$

$$M_y = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \dots\dots\dots (1.5)$$

$$M_{xy} = -M_{yx} = D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \dots\dots\dots$$

Burada $D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)}$ değerine plağın eğilme rijitliği denir.

Şekil: 1.5' e göre,

a) z eksenine göre kuvvetlerin dengesi

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -P(x,y) \dots\dots\dots$$

b) x eksenine göre moment denge denklemi

$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial M_y}{\partial y} + Q_y = 0 \dots\dots\dots (1.6)$$

c) y eksenine göre moment denge denklemi

$$\frac{\partial M_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} - Q_x = 0 \dots\dots\dots$$

(b) ve (c)' den Q_x ve Q_y elde edilip (a)' da yerine konursa,

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P(x,y)}{D} \dots\dots\dots (1.7)$$

Bu denklem plağın $w(x,y)$ elastik yüzeyini karakterize eder ve plak denklemi adını alır. Q_x ve Q_y 'ye gelince (1.6) b ve c denklemlerine momentlerin (1.5) ifadeleri konunca,

$$Q_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$Q_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (1.8)$$

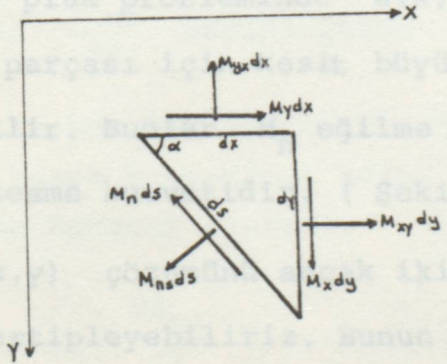
olarak bulunur.

1.5. ASAL MOMENTLER

Bir plağın herhangi bir noktasında xz ve yz düzlemlerine paralel kesitlerindeki M_y , M_{yx} ve M_x , $M_{xy} = -M_{yx}$ momentlerinin bilinmesi plağın boyutlandırılması için kâfi değildir. Çünkü bu noktada, başka doğrultulardaki kesitlerde bulunan moment değerleri x ve y eksenlerine paralel kesitlerdeki moment değerlerinden büyük olabilir. En büyük momentlerin doğrultusu da donatı doğrultusu bakımından önemlidir.

1.6. MESNET REAKSİYONLARI

Bir plak probleminde $w(x,y)$ çözümüne yardımcı olarak, kenarın her bir parçası için kesit büyüklüklerinin üç sınır değeri elde edilir. Bu üç sınır değeri, burulma momenti, M_n burulma momenti ve Q_n kesme kuvveti olarak tanımlanır. (Şekil: 1.7 a) $w(x,y)$ çözümüne yardımcı olarak, kenarın her bir parçası için kesit büyüklüklerinin üç sınır değeri elde edilir. Bu üç sınır değeri, burulma momenti, M_n burulma momenti ve Q_n kesme kuvveti olarak tanımlanır. (Şekil: 1.7 a)



Şekil: 1.6

Bunun için bahis konusu nokta civarında x, y eksenleri paralel kesitlerle, mesela x eksenini ile α açısı yapan herhangi bir kesitin belirttiği sonsuz küçük bir plak elemanının dengesini düşünmek kâfidir. (Şekil: 1.6) M_n' e paralel ve dik olan iki doğrultuda moment denge denklemleri yazılırsa,

$$M_n = M_y \cdot \cos^2 \alpha + M_x \cdot \sin^2 \alpha - M_{yx} \cdot \sin 2\alpha \dots\dots\dots (1.9)$$

$$M_{ns} = \frac{1}{2} (M_y - M_x) \cdot \sin 2\alpha + M_{yx} \cdot \cos 2\alpha \dots\dots\dots (1.10)$$

olarak α açısı ile belirli bir kesitteki momentler bulunmuş olur. Buna göre,

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2M_{yx}}{M_x - M_y} = - \frac{2M_{xy}}{M_x - M_y} \dots\dots\dots (1.11)$$

olarak eğilme momentlerinin ekstrem oldukları dik iki doğrultuyu veren α açısı bulunur.

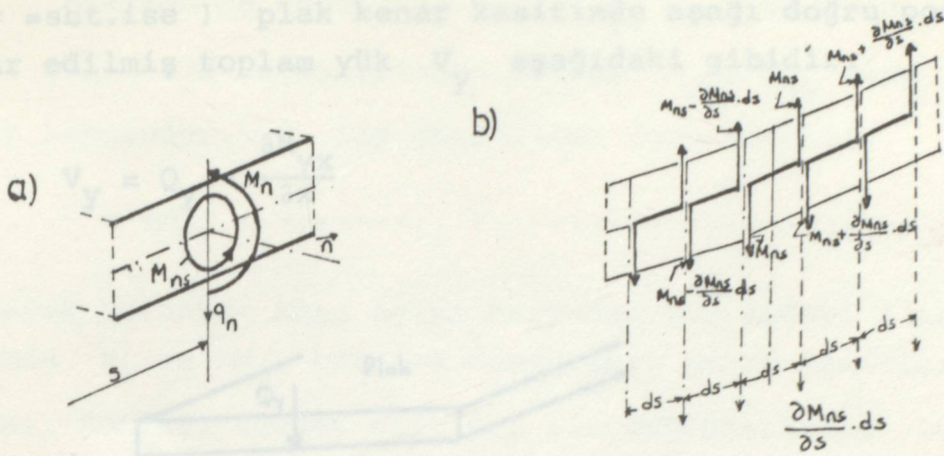
Ekstrem Moment Değerleri

$$M_{1,2} = \frac{1}{2} (M_x + M_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2} \dots\dots\dots (1.12)$$

1.6. MESNET REAKSİYONLARI

Bir plak probleminde $W(x, y)$ çözümü yardımı ile, kenarın her parçası için kesit büyüklüklerinin üç sınır değeri elde edilir. Bunlar M_n eğilme momenti, M_{ns} burulma momenti ve Q_n kesme kuvvetidir. (Şekil: 1.7 a)

$W(x, y)$ çözümünü ancak iki sınır şartını sağlayacak şekilde tertiplebiliriz. Bunun için kenar burulma momentleri, bunlara statik bakımdan eşdeğer olan ve sürekli olarak yayılan eşdeğer kesme kuvvetlerine dönüştürülür. Bunlar kenara



Şekil: 1.7

tesir eden kesme kuvvetleriyle birleştirilir. Bu takdirde burulma momentleri ve kesme kuvvetlerinin, plak kenarının münferit noktalarındaki sınır değerleri, bu noktalardaki dış momentler ile karşılanacağı yerde, eşdeğer kesme kuvvetleriyle birleşmiş olan kesme kuvvetleriyle denge yapmalıdır. Eşdeğer kesme kuvvetlerinin burulma momentleri yardımı ile ifade edilebilmesi için Şekil: 1.7 b' de görülen plak kenarı eşit büyüklükteki ds parçalarına ayrılır. Sonuçta burulma momenti sebebi ile plak kenar kesitinde aşağı doğru yayılı

$\frac{\partial M_{ns}}{\partial s} \cdot ds$ kuvvetleri kalacaktır. Bu kuvvetler kenarın birim boyu için $\frac{\partial M_{ns}}{\partial s}$ büyüklüğünde olacaktır.

Kenar burulma momentine statik bakımdan eşdeğer olan ve eşdeğer kesme kuvvetleri adını olan bu kuvveti asıl kesme kuvvetine katacak olursak,

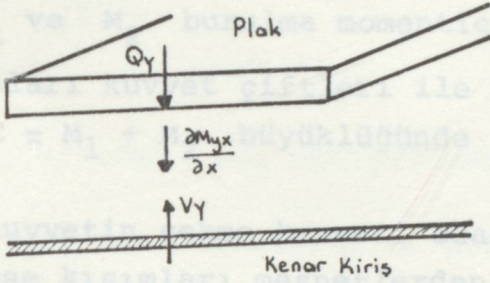
$$V_n = Q_n + \frac{\partial M_{ns}}{\partial s} \dots \dots \dots (1.13)$$

elde edilir. Serbestçe müstenit kenar x eksenine paralelse

(y = sbt.ise) plak kenar kesitinde aşağı doğru pozitif itibar edilmiş toplam yük V_y aşağıdaki gibidir.

$$V_y = Q_y + \frac{\partial M_{yx}}{\partial x}$$

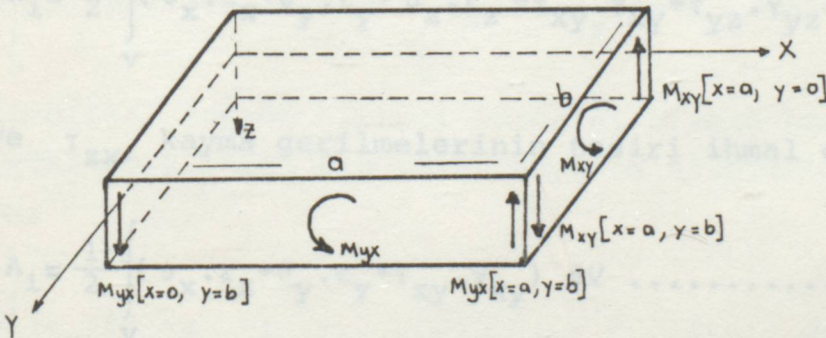
olarak bulunur. Köşe açısı herhangi bir değeri alırsa bu durumda M_x ve M_y burulma momentleri kenar kesitlerine etki eder. Burulma momentleri ile deđiŝtirilerek bu takdirde köşede $C = M_x + M_y$ burulma momentleri köşe kuvveti husule gelir.



şekil: 1.8

1.7. KENARDAKİ BURULMA MOMENTLERİ ve KöşE KUVVETLERİ

Ankastre kenarlarda burulma momentinin sıfır olduğu , serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş kenarlarda ise, burulma momentlerinin mevcut olduğu biliniyor.



şekil: 1.9

Şekilde de görüldüğü gibi $M_{yx} \cdot dx$ momentini M_{yx} kuvvet çifti ile değiştirirsek köşede $M_{xy} = -M_{yx}$ olan kuvvetler söz konusudur. C ile gösterilen köşe kuvveti,

$$C = 2M_{xy} \dots\dots\dots (1.14)$$

olarak bulunur. Köşe açısı herhangi bir değeri alırsa bu durumda M_1 ve M_2 burulma momentleri kenar kesitlere etki eder. Bunları kuvvet çiftleri ile değiştirirsek bu takdirde köşede $C = M_1 + M_2$ büyüklüğünde köşe kuvveti husule gelir.

Bu kuvvetin çekme kuvveti olarak elde edildiği hallerde plağın köşe kısımları mesnetlerden kalkmaya zorlanacaktır. Bu oynamaya mani olmak için plak köşe kısımlarından sıkıca ankre edilir. Eğer mesnet elemanları bu C kuvvetini temin edemezlerse köşeler kalkar ve plağın kesit tesirleri değişir.

1.8. PLAĞIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME İŞİ

Yüklenmiş bir cismin deformasyonu esnasında, tesir eden dış kuvvetler bir iş yaparlar. Bu işin, cismin bütün hacmi boyunca şekil değiştirme enerjisi olarak depo edildiği farzedilmektedir.

$$A_i = \frac{1}{2} \int_V (\sigma_x \cdot \epsilon_x + \sigma_y \cdot \epsilon_y + \sigma_z \cdot \epsilon_z + \tau_{xy} \cdot \gamma_{xy} + \tau_{yz} \cdot \gamma_{yz} + \tau_{zx} \cdot \gamma_{zx}) dV$$

τ_{yz} ve τ_{zx} kayma gerilmelerinin tesiri ihmal edilerek,

$$A_i = \frac{1}{2} \int_V (\sigma_x \cdot \epsilon_x + \sigma_y \cdot \epsilon_y + \tau_{xy} \cdot \gamma_{xy}) dV \dots\dots\dots (1.15)$$

bulunur. Burada integral plağın bütün hacmi boyunca alınır.

Gerilme bileşenleri w yer değişimi ile ifade edilirse ve $dV = dF \cdot dz$ konularak $Z = \pm \frac{1}{2}h$ sınırları arasında z' e göre integrasyon yapılırsa,

$$A_i = \frac{E \cdot h^3}{24(1-\nu^2)} \iint \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (1.16)$$

1.9. VİRTÜEL YER DEĞİŞTİRMELER PRENSİBİ

Virtüel yer değiştirmeler prensibi şunu ifade eder : Dengede bulunan bir cisme, denge konumunu bozacak şekilde bir virtüel yer değiştirme verilirse bu takdirde dış kuvvetlerin yapacağı iş. (yükler ve hacim kuvvetleri), iç kuvvetlerin δA_i işine eşit olur. Birim hacme isabet eden hacim kuvvetlerinin bileşenleri x, y, z , dış yüzeyin birim alanına isabet eden yüzey kuvvetlerinin bileşenleri P_x, P_y, P_z , cisme ait noktaların virtüel yer değiştirme yolunun bileşenleri $\delta u, \delta v, \delta w$ ile ve yüzey kuvvetlerinin tatbik noktalarına ait virtüel yer değiştirme yolunun bileşenleri $\delta \bar{u}, \delta \bar{v}, \delta \bar{w}$ ile gösterilecek olursa,

$$\delta A_i = \int_V (x \cdot \delta u + y \cdot \delta v + z \cdot \delta w) dV + \int_O (P_x \cdot \delta \bar{u} + P_y \cdot \delta \bar{v} + P_z \cdot \delta \bar{w}) dO \dots \dots (1.17)$$

yazılabilir. Burada birinci integral cismin hacmi, ikincisi ise yüklenmiş bütün dış yüzey boyunca alınmaktadır. Bundan başka,

$$\delta A_i = \int_V (\sigma_x \cdot \delta \epsilon_x + \sigma_y \cdot \delta \epsilon_y + \dots \dots \dots + \tau_{zx} \cdot \delta \gamma_{zx}) dV \dots \dots (1.18)$$

yazılabilir.

1.10. POTANSİYEL ENERJİNİN MİNİMUM OLMASI PRENSİBİ

Virtüel yer değiştirme prensibi aşağıdaki gibi yazılabilir.

2.1. GENEL BİLGİ

$$\delta \left\{ A_1 - \int_V (x.u + y.v + z.w) dv - \int_O (p_x \cdot \bar{u} + p_y \cdot \bar{v} + p_z \cdot \bar{w}) do \right\} = 0 \dots\dots\dots (1.19)$$

Eğri parantez içindeki ifadeye sistemin potansiyel enerjisi denir. Yüzey kuvvetleri için $P_x=0, P_y=0, P_z=p$, hacim kuvvetleri için $x = y = z = 0$ konularak aşağıdaki ifade elde edilir.

Sonuçta;

$$\delta \left(A_1 - \int_V p \cdot w \cdot dF \right) = 0 \dots\dots\dots (1.20)$$

şeklini alır.

NIELSEN iki tarafından ve dört tarafından mesnetlenmiş plakları uniform yük için, plak ortasındaki ve serbest kenarların ortasındaki tekil yükler için diferansiyel hesap yardımı ile incelemiştir.

VOGT iki tarafından ve dört tarafından mesnetlenmiş, varevlik açısı $\pm 45^\circ$ ve 60° olan plakları uniform yük altında diferansiyel hesap yardımı ile incelemiştir. Dikdörtgen yani dik açılı plaklar için elde edilen değerlerden yararlanarak varev plak momentlerinin tahmini ile ilgili hesap kurallarını vermiştir.

LARDY genel halde dört kenarı serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş varev plakları uniform yük altında incelemiştir.

BÜSCHER varev, dört kenarı serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş plakların tesir yüzeylerini elde edebilmek için

BÖLÜM 2

VEREV PLAKLAR

2.1. GENEL BİLGİ

Plak teorisinin esasları üzerine yapılan çalışmalarda en önemli açıklamalar verev plaklar üzerinedir. Verev köprü sayısı oldukça fazladır, küçük ve orta açıklıklı köprülerde (20m.), genişlik, açıklıkla aynı merteye civarında bulunduğundan verevlik hesapta büyük önem kazanmaktadır.

H.FAVRE U, V eğik koordinatlarını bu plakların hesabına tatbik ederek plâk denklemini bu koordinatlar cinsinden ifade etmiştir. Bu takdirde denklem $\frac{\partial^4 w}{\partial u^3 \cdot \partial v}$ ve $\frac{\partial^4 w}{\partial v^3 \cdot \partial u}$ karışık türevlerini de ihtiva etmekte olup neticede integrasyon zorlaşmaktadır. Bu durumda sınır şartlarının sağlanması daha güçtür. FAVRE tarafından bulunmuş olan genel bağıntıları kullanmak suretiyle LARDY matematik kesin çözüm için bir metod geliştirmiştir.

NIELSEN iki tarafından ve dört tarafından mesnetlenmiş plakları üniform yük için, plak ortasındaki ve serbest kenarların ortasındaki tekil yükler için diferansiyel hesap yardımı ile incelemiştir.

VOGT iki tarafından ve dört tarafından mesnetlenmiş, verevlik açısı $\phi = 45^\circ$ ve 60° olan plakları üniform yük altında diferansiyel hesap yardımı ile inceledi. Dikdörtgen yani dik açılı plaklar için elde edilen değerlerden yararlanarak verev plak momentlerinin tahmini ile ilgili hesap kurallarını vermiştir.

LARDY genel halde dört kenarı serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş verev plakları üniform yük altında incelemiştir.

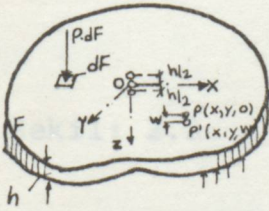
BÜSCHER verev, dört kenarı serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş plakların tesir yüzeylerini elde edebilmek için

Singülariteler Metodunu kullanmıştır.

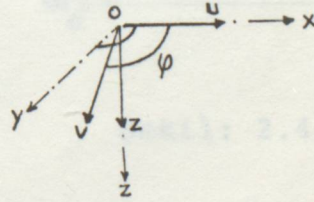
RÜSCH tarafından dikdörtgen plaklarda olduğu gibi, tesis yüzeylerinden yararlanabilmek için ön çalışmalar düzenlenmiştir. En büyük momentlerin seçiminde gözönünde tutulması icabeden hususlar RÜSCH tarafından belirtilmiştir. Burada herşeyden önce hesapta esas olan durumları seçebilmek için momentlerin sınır değerlerinin mümkün olduğunca belirlenmesi önemlidir.

2.2. VEREV PLAKLARIN ELASTİK YÜZEYİNİN ELDE EDİLMESİ

Plakların çekme gerilmeleri ve daire, elips veya dikdörtgen şeklinde olmaları bir çok teorik çalışmanın konusu olmuştur. Verev plakların gerilme problemi şimdiye kadar çok az araştırmacı tarafından incelenmiştir. Verev plakların diferansiyel denklemini elde edebilmek için sınır koşulları belli olan plakta eğik kartezyen koordinat sistemi kullanılır. Bu kartezyen koordinat sisteminde iki eksen paralel kenarın kenarlarına paralel, üçüncüsü ise yüzeye diktir. Şekil:2.1'de de görüldüğü gibi $P(x,y)$ noktasında z eksenine paralel deplasman $W = \bar{p}p'$ olsun. $P^1(x,y,w)$ noktalarının yeri elastik yüzeydir.



Şekil: 2.1



Şekil: 2.2

Dikdörtgen plak teorisinde (xyz) noktasında $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ gerilmeleri deplasmana bağlı olarak (1.3) bağıntısında ve-

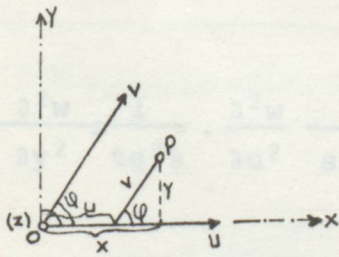
rilmiştir. $w(x,y)$ belirlendikten sonra bu formüller sayesinde gerilmeler bulunur. Sınır şartlarını sağlayan W' nın δW değişiminin belirttiği bir deformasyon için virtüel iş prensibi (1.20) bağıntısında olduğu gibi şöyle yazılır:

$$\int_{(F)} p \cdot \delta W \cdot dF - \delta A_i = 0 \dots\dots\dots (1.20)$$

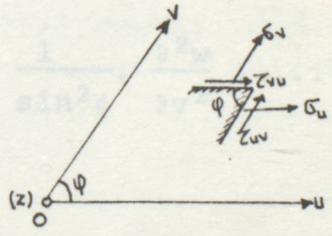
2.2.1. EĞİK KARTEZYEN KOORDİNATLI PLAK TEORİSİNİN ANA DENKLEMLERİ

Bu denklemleri elde etmek için yukarıda belirtilen bağıntılar kullanılır ve koordinatlarda bir değişim yapılır.

x,y,z sistemi önceden belirlenmiş sistem olsun. Burada u, v, z ikinci sistemi alınır. Öyle ki (u,z) eksenleri (x,z) eksenleri ile aynı doğrultuda olsun. v eksenini (xy) düzleminde olsun ve u eksenini ϕ açısını yapsın. (Şekil: 2.2)



Şekil: 2.3



Şekil: 2.4

Değişim formülleri aşağıdaki gibidir. (Şekil: 2.4)

$$x = u + v \cdot \cos \phi \quad y = v \cdot \sin \phi \quad z = z$$

(2.3), (2.4), (2.5) nolu bağıntılardan yararlanılarak (1.3) gerilme bağıntıları aşağıdaki gibi yazılır:

Buradan,

$$u = x - \frac{Y}{\operatorname{tg}\phi}, \quad v = \frac{Y}{\operatorname{Sin}\phi}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\operatorname{tg}\phi}, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\operatorname{sin}\phi}$$

elde edilir.

$$W = W[u(x,y), v(x,y)]$$

Bundan dolayı değişim formülleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial \omega}{\partial u} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = -\frac{1}{\operatorname{tg}\phi} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial u} + \frac{1}{\operatorname{Sin}\phi} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial v} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \omega}{\partial u^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2\phi} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - \frac{2}{\operatorname{sin}\phi \cdot \operatorname{tg}\phi} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} + \frac{1}{\operatorname{sin}^2\phi} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \dots\dots (2.4)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x \cdot \partial y} = -\frac{1}{\operatorname{tg}\phi} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} + \frac{1}{\operatorname{sin}\phi} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\Delta W = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{1}{\operatorname{Sin}^2\phi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - 2\operatorname{Cos}\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} + \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right) \dots (2.6)$$

(2.3), (2.4), (2.5) nolu bağıntılardan yararlanarak (1.3) gerilme bağıntıları aşağıdaki gibi yazılır:

$$\sigma_x = -\frac{E.z.v}{(1-\nu^2)\sin^2\phi} \left[(\cos^2\phi + \frac{1}{\nu}\sin^2\phi) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - 2\cos\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \partial v} + \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right] \dots\dots\dots$$

$$\sigma_y = -\frac{E.z.v}{(1-\nu^2)\sin^2\phi} \left[(\frac{1}{\nu}\cos^2\phi + \sin^2\phi) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - \frac{2}{\nu}\cos\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \partial v} + \frac{1}{\nu} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right]$$

(1.3)'

$$\tau_{xy} = \frac{E.z}{(1+\nu)\sin\phi} \cdot (\cos\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot dv}) \dots\dots\dots$$

$$\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

Virtüel iş prensibi (1.20) aşağıdaki şekli alır.

(2.6) nolu bağıntıya,

$$\Delta\Delta W = (\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}) (\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} \cdot P \dots\dots\dots (2.7)$$

bağıntısı uygulanırsa şu şekli alır :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 w}{\partial u^4} + \frac{\partial^4 w}{\partial v^4} - 4\cos\phi (\frac{\partial^4 w}{\partial u^3 \cdot \partial v} + \frac{\partial^4 w}{\partial u \cdot \partial v^3}) + 2(1+2\cos^2\phi) \frac{\partial^4 w}{\partial u^2 \cdot \partial v^2} = \\ = \frac{12(1-\nu^2) \cdot \sin^4\phi \cdot P}{E \cdot h^3} \dots\dots\dots (2.7)' \end{aligned}$$

Eğik koordinatlı elastik yüzeyin diferansiyel denklemi yukarıdaki gibidir.

dF = Sinφ.du.dv alınarak Şekil değiştirme işi ifadesi(1.16) şu şekilde yazılır:

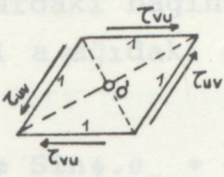
$$A_i = \frac{E \cdot h^3}{24(1-\nu^2) \text{Sin}^3\phi} \cdot \iint_F \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial u^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right)^2 + 2(\text{Cos}^2\phi + \nu \cdot \text{Sin}^2\phi) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} + \right. \\ \left. + 2 \left[2 \cdot \text{Cos}^2\phi + (1-\nu) \cdot \text{Sin}^2\phi \right] \left(\frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} \right)^2 - 4 \cdot \text{Cos}\phi \left(\frac{\partial^2 w}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} \right] du \cdot dv \quad (1.16)'$$

Virtüel iş prensibi (1.20) aşağıdaki şekli alır.

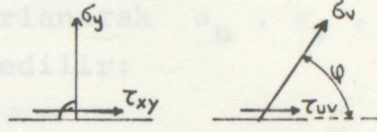
$$\text{Sin}\phi \iint_F p \cdot \delta w du \cdot dv - \delta A_i = 0 \quad \dots\dots\dots (1.20)'$$

(1.3)' formüllerine dönelim. Bu formüller (1.3) formüllerinin u,v,z değişkenleri ile yazılmış şeklidir. Buna rağmen (1.3)' formüllerindeki gerilmeler x,y,z indisleri ile ifade edilmiştir. Gerilmeleri u, v, z cinsinden belirlemek için eğik koordinatlardaki gerilme bileşenlerini saptayalım.

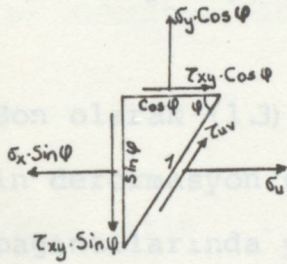
Bu amaçla Şekil: 2.5' de görüldüğü gibi u,z ve v,z eksenlerine paralel iki yüzey elemanı alınır. Kenarlardan birindeki toplam gerilme u ve v doğrultusundaki τ_{uv} ve σ_v bileşenlerine ayrılır. İkinci kenardaki toplam gerilme de σ_u ve τ_{uv} bileşenlerine ayrılır. σ_u ve σ_v genellikle yüzey normali doğrultusunda değildir. Ayrıca φ değeri için τ_{uv} = τ_{vu} olduğu görölür. (Şekil: 2.6)



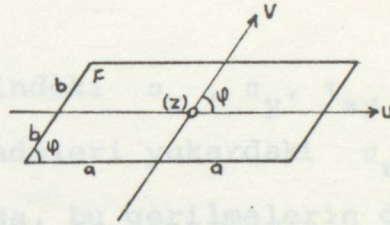
Şekil: 2.5



Şekil: 2.6



Şekil: 2.7



Şekil: 2.8

$\sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ gerilmelerine gelince, bu gerilmelere karşı gelen $\sigma_z, \tau_{vz}, \tau_{zu}$ değerleri ile değiştirilir. Eski ve yeni gerilmeler arasındaki ilişkileri arayalım. Şekil:2.7'de görüldüğü gibi gerilmeler arasındaki bağıntı şu şekilde gösterilir:

$$\sigma_y = \sigma_v \cdot \sin\phi \quad , \quad \tau_{xy} = \tau_{uv} + \sigma_v \cdot \cos\phi$$

Şekil: 2.8' de gösterilen hacim elemanı üzerindeki kuvvetlerin u eksenine göre denge denklemi yazılırsa toplam kuvvet sıfır olmalıdır.

$$\sigma_u + \tau_{uv} \cdot \cos\phi + \tau_{xy} \cdot \cos\phi - \sigma_x \cdot \sin\phi = 0$$

Aşağı yukardaki bağıntılardan yararlanarak σ_u , σ_v , τ_{uv} gerilmeleri aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\sigma_u = \sin\phi \cdot \sigma_x + \frac{\cos^2\phi}{\sin\phi} \cdot \sigma_y - 2\cos\phi \cdot \tau_{xy}$$

$$\sigma_v = \frac{1}{\sin\phi} \cdot \sigma_y$$

$$\tau_{uv} = \tau_{xy} - \frac{1}{\tan\phi} \cdot \sigma_y$$

Son olarak (1.3)' formüllerindeki σ_x , σ_y , τ_{xy} değerlerinin deformasyon cinsinden ifadeleri yukardaki σ_u , σ_v , τ_{uv} bağıntılarında yerine konursa, bu gerilmelerin değerleri aşağıdaki gibi olur.

$$\sigma_u = -\frac{E \cdot z}{(1-\nu^2) \sin^3\phi} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - 2\cos\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} + (\cos^2\phi + \nu \cdot \sin^2\phi) \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right]$$

$$\sigma_v = -\frac{E \cdot z}{(1-\nu^2) \sin^3\phi} \left[(\cos^2\phi + \nu \cdot \sin^2\phi) \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - 2\cos\phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} + \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right] \quad (1.3)''$$

$$\tau_{uv} = \frac{E \cdot z}{(1-\nu^2) \cdot \sin^3\phi} \left[\cos\phi \left(\frac{\partial^2 w}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} \right) + \{(1+\nu) \cdot \sin^2\phi - 2\} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} \right]$$

$$\sigma_z = \tau_{vz} = \tau_{zu} = 0$$

2.2.2 VEREV PLAKLARA UYGULAMA

Kenarları 2a, 2b ve paralelkenar olan ayrıca yatayla ϕ açısı yapan bir plak alalım. Yüzeyin ortasından geçecek

şekilde u, v sistemini seçelim. (Şekil: 2.8) Bu koordinatların seçimi sayesinde sınır şartları zorlanmaksızın yazılır. Aşağıda verilen iki durumda görüldüğü gibi.

a) Dört Kenarından Mesnetlenmiş Plak

$$u=\pm a \text{ için} : w=0 \text{ ve } \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} - 2 \cdot \text{Cos} \phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} = 0 \dots\dots (2.8)$$

$$v=\pm b \text{ için} : w=0 \text{ ve } \frac{\partial^2 w}{\partial v^2} - 2 \text{Cos} \phi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial u \cdot \partial v} = 0 \dots\dots$$

b) Ankastre Plak

$$u=\pm a \text{ için} : w=0 \text{ ve } \frac{\partial w}{\partial u} = 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$v=\pm b \text{ için} : w=0 \text{ ve } \frac{\partial w}{\partial v} = 0 \dots\dots\dots$$

Eğer $P(u,v)$ yükü verilseydi problemin kesin sonucu (2.8) ve (2.9) sınır şartlarını sağlayarak, sadece (2.7)' integrallini bulmaktan ibaret olacaktır.

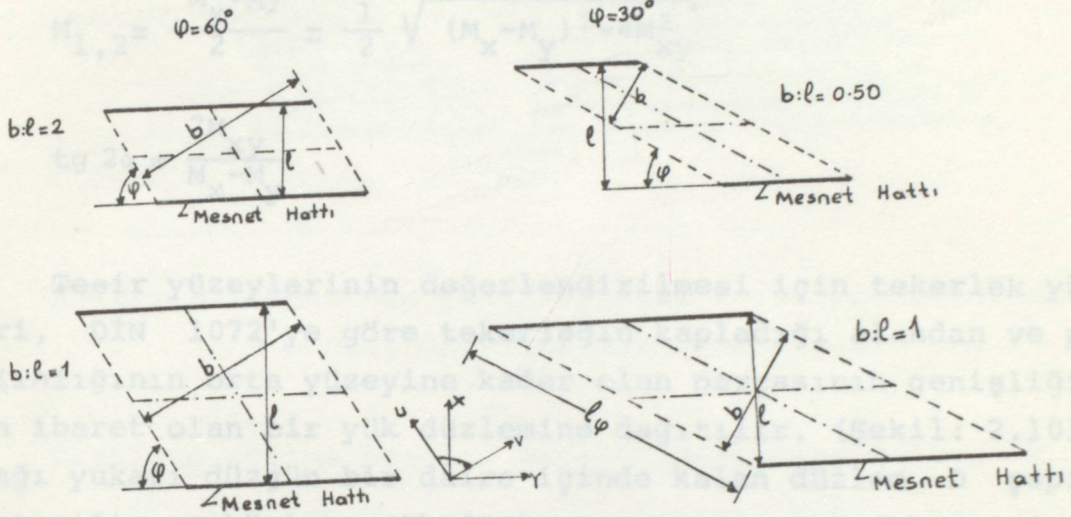
2.3. TEK AÇIKLIKLI VEREV PLAK KÖPRÜLER

Masif plaklar verev kesişmeler için bir çok avantaj sağlar: Masif plaklar kolaylıkla kalıplanır, çok küçük yapı yüksekliğine müsaittir, yükleri en kısa yoldan en yakın mesnete aktarır, ayrıca ana donatının doğrultusu ya da asal momentlerin doğrultusundaki gerilme kablolarının doğrultusu kolaylıkla ama yaklaşık olarak belirlenebilir.

Kesit tesirlerinin bulunması bilgisayar sayesinde problem değildir. Aşağıda gösterilen verev plaklarda çözüme gitmek için sonlu eleman programları bulunmaktadır.

Tasarlanırken ve projesi yapılırken, verev plakların

taşıma etkisinin esası açıkça belirtilmelidir. Taşıyıcı elemanın davranışı ile ilgili en önemli tesir büyüklükleri Şekil: 2.9' da görülüyor.



Şekil: 2.9. Verev Plaklar, Önemli Büyüklükler

1) Verevlik açısı ϕ yaklaşık 20° ile 70° arasında değerler alır. $\phi > 70^\circ$ için verevlik etkisi ihmal edilebilir.

2) b/l bağıntısındaki b köprü eksenine dik olan plak genişliğini, l ise mesnet hatları arasındaki açıklığı belirtir.

3) Mesnetlenme şekilleri: Mesnet hattının doğrultusunda dönebilen çizgisel mesnet ya da her yöne dönebilen münferit mesnetler. Bu takdirde bu mesnetler arasındaki mesafe bilinmelidir. İzlenen çözüm yolunda dönebilen çizgisel mesnet seçilmiştir.

2.4. EĞİLME MOMENTLERİ

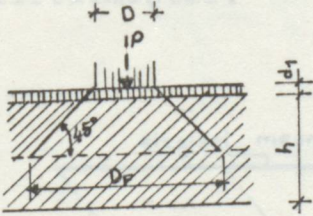
Eğilme tesirleri için değişik yük durumlarında farklı değerler alan M_1 ve M_2 asal momentlerinin değişimi açıkça belirtilmelidir. Plak elemanlarda tesir yüzeyini elde edebilmek

için, M_1 ve M_2 asal momentleri ile asal momentlerin doğrultusunu M_x , M_y ve M_{xy} 'den yararlanarak buluyoruz.

$$M_{1,2} = \frac{M_x + My}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}$$

$$\text{tg } 2\alpha = \frac{2M_{xy}}{M_x - M_y}$$

Tesir yüzeylerinin değerlendirilmesi için tekerlek yükleri, DİN 1072'ye göre tekerleğin kapladığı alandan ve plak kalınlığının orta yüzeyine kadar olan parçasının genişliğinden ibaret olan bir yük düzlemine dağıtılır. (Şekil: 2.10) Aşağı yukarı düzgün bir daire içinde kalan düzlem D çapı ile gösterilir ve böylece yük düzleminin çapı aşağıdaki gibi elde edilir.



$$D_F = D + 2\left(\frac{h}{2} + d_1\right)$$

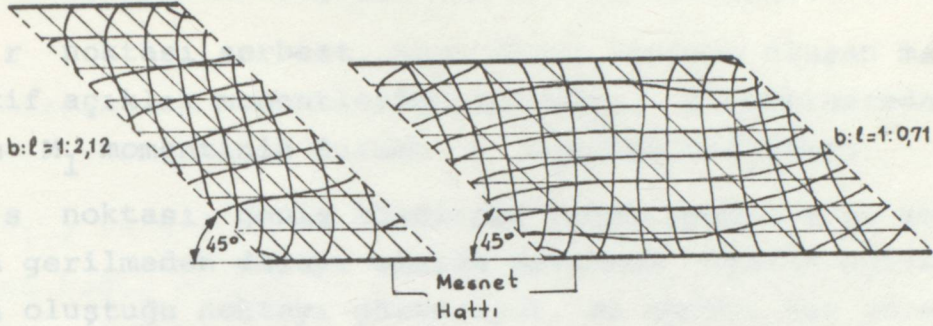
h = plak kalınlığı

d_1 = yol kaplama kalınlığı

D = DİN 1072'ye göre düzgün bir daire içinde kalan yük düzleminin çapı.

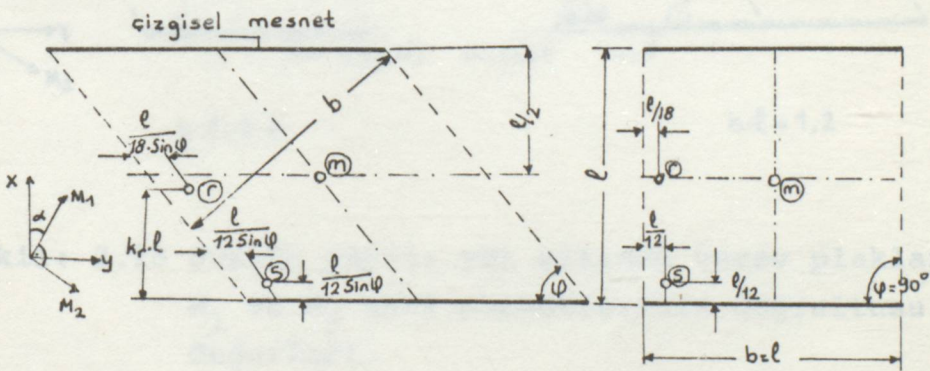
Şekil: 2.10 Tesir yüzeylerinin elde edilmesinde tekerlek yükleri için yük düzleminin bulunması.

Şekil: 2.11, verevlik açısı $\phi = 45^\circ$ olan plaklarda uniform yük altında, asal momentlerin değişimini farklı b:l değerleri için gösteriyor.



Şekil: 2.11 Üniform yük altındaki verev plaklarda asal moment doğrultularının değişimi.

Pratikte eğilme hesabı, yapılan denemeler sonucu M_1 ve M_2 momentlerinin büyük değerlere ulaştığı bilinen az sayıda ki noktada olacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Bu noktalar Şekil: 2.12' de tek açıklıklı, paralel kenarlı verev plaklar için belirtilmiştir.



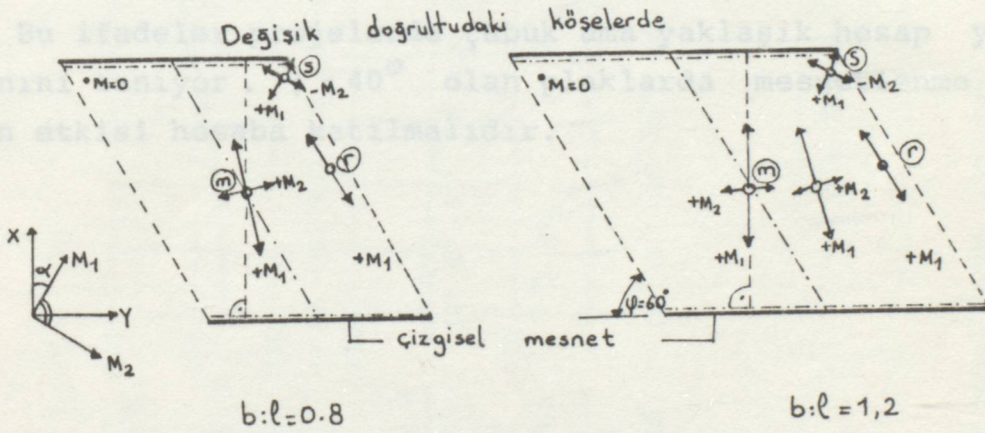
Şekil: 2.12 Homberg' e göre verev plaklarda hesap için gerekli esas noktaların yeri α açısına göre asal momentlerin doğrultusunun tespiti.

m noktası iç tesir sahasındaki maksimum, pozitif açıklık momentlerinin oluştuğu noktayı gösteriyor.

r noktası serbest, uzun kenar boyunca oluşan maksimum, pozitif açıklık momentlerine maruzdur. r noktasındaki maksimum M_1 momentinin durumu ϕ açısına bağlıdır.

s noktası, geniş köşelerde kenar çökmelerine sebebiyet veren gerilmeden dolayı oluşan maksimum negatif eğilme momentinin oluştuğu noktayı gösteriyor. Bu moment her tarafta dönebilen münferit mesnetlenme sayesinde azaltılabilir. Kenardaki bu noktaların mesafeleri Şekil: 2.12' de belirtilmiştir.

Uniform yük etkisi altında 60° eğimli bir plak için M_1 ve M_2 asal momentlerinin doğrultusu ve değerleri Şekil:2.13' deki örnekte görüldüğü gibi hesap noktalarında belirtilmiştir.



Şekil: 2.13 Düzgün yayılı yük altında verev plakların M_1 ve M_2 asal momentlerinin doğrultusu ve değerleri.

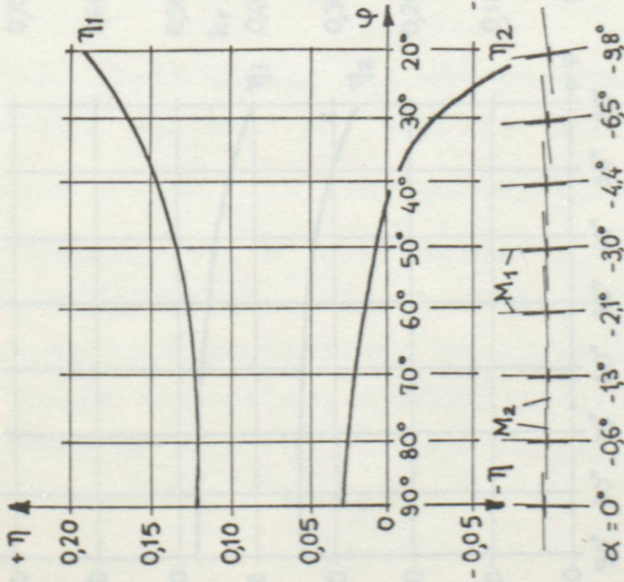
İç tesir sahasındaki M_1 momentinin doğrultusunun $b:l$ değerine bağlı olarak değiştiği görülüyor. Geniş köşelerdeki M_2 ankastrelik momentinin değeri $\phi = 60^\circ$ için küçüktür. 60° den daha küçük ϕ açısı için M_2 momenti daha büyük değer -

ler alır. Böyle durumlarda plağın hesabında, donatısında ve gerilme kablosunun gidişinde daha büyük zorluklarla karşılaşılır.

Düzgün verev plaklarda yani paralel kenarlı plaklarda çizgisel mesnetlenme için q üniform yükünden dolayı oluşan $M_{1,2} = \eta \cdot q \cdot l^2$ bağıntısındaki η değerleri ϕ verevlik açısına bağlı olarak $b:l = 1$ için elde edilmiştir. Ve bu değerler Şekil: 2.14' de gösterilmiştir. (Homberg- Marx) Adı geçen noktada asal momentlerin doğrultusu da gösterilmiştir. Şekil: 2.15' de aynı ifadeler $F = 1$ tekil yükü için daha önce bahsedilen m, r ya da s noktasında gösterilmiştir. Ayrıca yük alanının D_F çapının, köprü istinat noktaları arasındaki açıklık l 'e bağlı olan ve ortalama narinliklere (l/h) uyan bir değeri kabul edilmiştir.

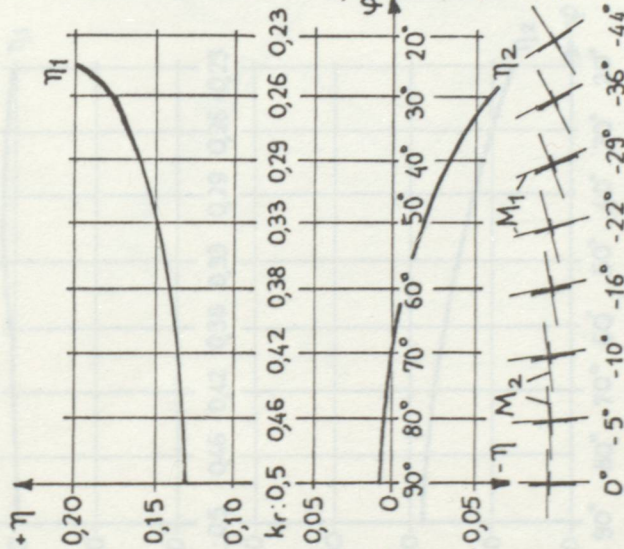
Bu ifadeler projelerde çabuk ama yaklaşık hesap yapma imkânını tanıyor. $\phi < 40^\circ$ olan plaklarda mesnetlenme türlerinin etkisi hesaba katılmalıdır.

m. Nok.



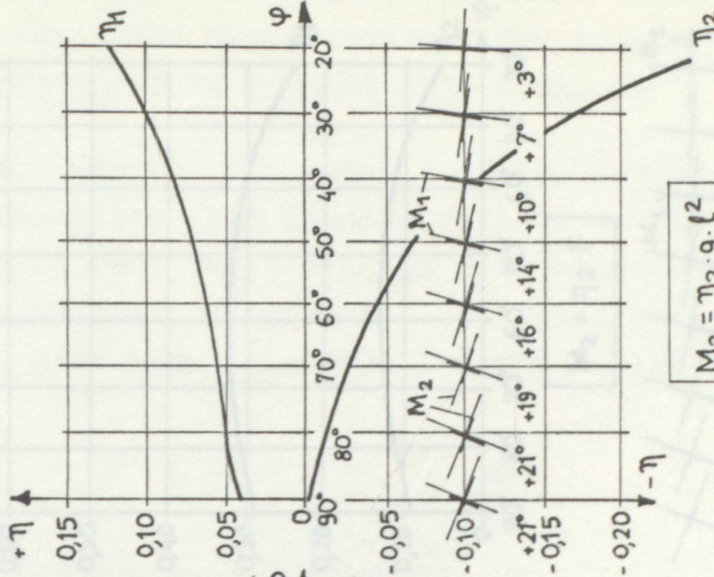
$$M_1 = \eta_1 \cdot q \cdot \ell^2$$

r Nok.



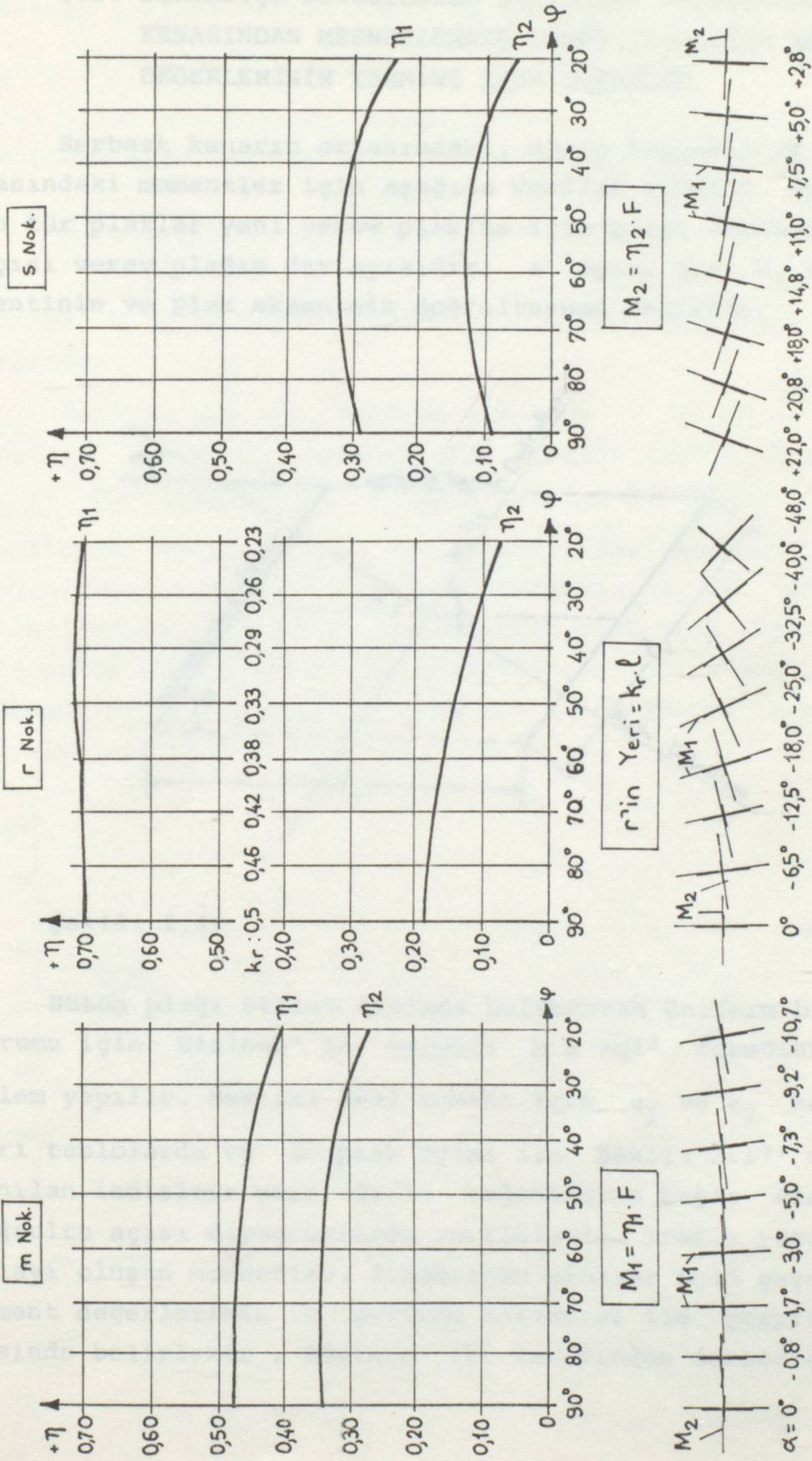
$$r \text{ 'in } \gamma \text{ eri} = k_r \cdot \ell$$

s Nok.



$$M_2 = \eta_2 \cdot q \cdot \ell^2$$

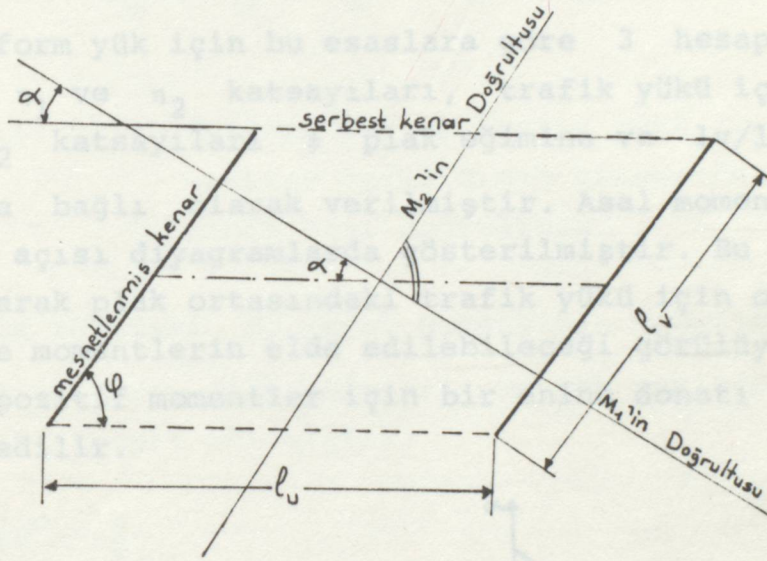
Şekil: 2.14 Sabit çizgisel mesnetlenme durumunda q üniform yükünün etkisi altındaki bütün verev plaklarda $b:l=1$ değeri için η moment faktörleri M_1 ve M_2 asal momentlerinin doğrultusu. Şekil: 2.13'deki α' nın tarifi.



Şekil: 2.15 Şekil:2.15' de bahsedilen m,r ve s noktasında F tekil yükü için η moment faktörleri. Şekil:2.13' deki α 'nın tarifi.

2.5. SERBESTÇE DÖNEBİLECEK ŞEKİLDEKİ MESNETLENMEDE İKİ KENARINDAN MESNETLENMİŞ VEREV PLAKLARIN MOMENT DEĞERLERİNİN TAHMİNİ İÇİN KURALLAR

Serbest kenarın ortasındaki, geniş köşedeki ve plak ortasındaki momentler için aşağıda verilen tahmini değerler bu tür plaklar yani verev plaklar için bilgi vermektedir. ϕ açısı verev plağın dar açısıdır, α açısı ise M_1 asal momentinin ve plak ekseninin doğrultusunu belirtir.



Şekil: 2.16

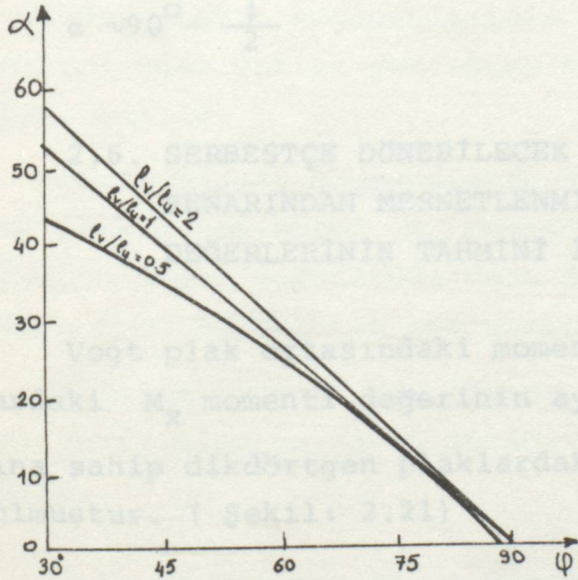
Bütün plağı etkisi altında bulunduran üniform bir yük durumu için Nielsen' in verdiği $M = \eta_1 q l^2$ formülüne göre işlem yapılır. Her iki asal moment için η_1 ve η_2 katsayıları tablolarda ve ϕ plak eğimi ile Şekil: 2.17' de kullanılan indislere göre lv/lu bağıntısına bağlı olarak α doğrultu açısı diyagramlarda verilmiştir. Trafik yükünden dolayı oluşan momentler, dikdörtgen plaklar için geçerli olan moment değerlerinin c çevirme katsayısı ile çarpılması sayesinde belirlenir. Böylece iki tarafından serbestçe döne-

bilecek şekilde mesnetlenmiş dikdörtgen plaklar, $l_y=l_v$ ve $l_x=l_u$ alınması ile mukayese plağı olarak kullanılır ve bu plak için M^D momenti hesaplanır. Verev plakların asal momentleri aşağıdaki çevirme hesabına göre elde edilir:

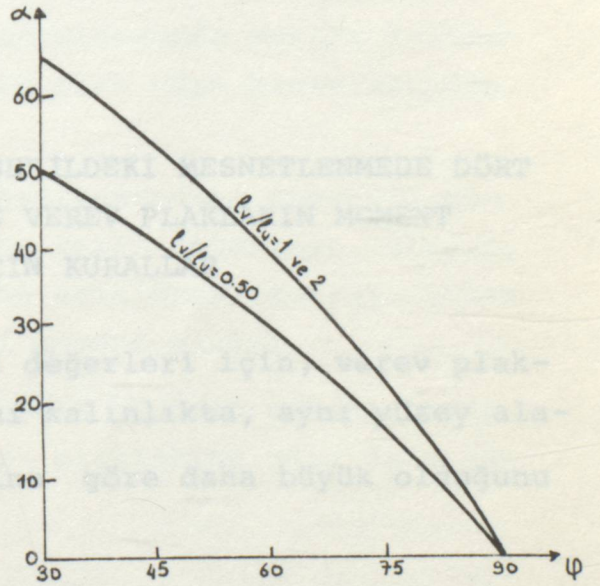
$$M_1 = C_1 \cdot M^D \quad \text{ve} \quad M_2 = C_2 M^D \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

burada M^D trafik yükünden dolayı oluşan momentleri belirtmektedir.

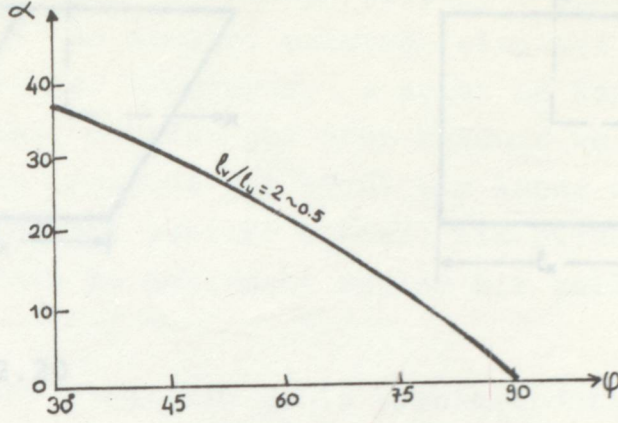
Üniform yük için bu esaslara göre 3 hesap yeri için verilen η_1 ve η_2 katsayıları, trafik yükü için verilen C_1 ve C_2 katsayıları ϕ plak eğimine ve l_v/l_u kenar bağıntısına bağlı olarak verilmiştir. Asal momentlerin α doğrultu açısı diyagramlarda gösterilmiştir. Bu tablolardan yararlanarak plak ortasındaki trafik yükü için oluşan negatif enine momentlerin elde edilebileceği görülüyor. Ve her durumda pozitif momentler için bir enine donatı konulması tavsiye edilir.



Şekil: 2.17 Üniform yük için plak ortasındaki M_1 momentinin asal doğrultuları.



Şekil: 2.18 Trafik yükü için plak ortasındaki M_1 momentinin asal doğrultuları.



Şekil: 2.19 Üniform yük ve trafik yükü için kenarın gerilme açıklığının ortasındaki M_1 momentinin asal doğrultusu.

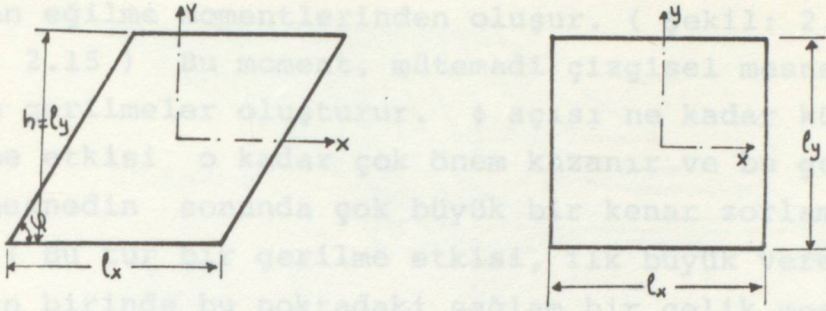
Geniş köşedeki M_1 asal momentinin doğrultusu bütün kenar bağıntıları, plak eğimleri ve yük çeşitleri için aşağıdaki gibi tespit edilmiştir:

$$\alpha \sim 90^\circ - \frac{\phi}{2}$$

2.6. SERBESTÇE DÖNEBİLECEK ŞEKİLDEKİ MESNETLENMEDE DÖRT KENARINDAN MESNETLENMİŞ VEREV PLAKLARIN MOMENT DEĞERLERİNİN TAHMİNİ İÇİN KURALLAR

Vogt plak ortasındaki moment değerleri için, verev plaklardaki M_x momenti değerinin aynı kalınlıkta, aynı yüzey alanına sahip dikdörtgen plaklardakine göre daha büyük olduğunu bulmuştur. (Şekil: 2.21)

M_x momentinin yukarıda bahsedilen büyüklüğü kenar bağıntısına ve plak eğimine bağlıdır. Şekildeki indislere göre $h/l_x = 1$ ve $\phi = 60^\circ$ ortalama eğim için bu büyüklük miktarı



Şekil: 2.20

yaklaşık %5 civarındadır. Daha küçük kenar bağıntısı ve artan eğim ile bu miktar artar, meselâ $h/l_x = 0,30$ ve $\phi = 30^\circ$ için bu değer yaklaşık %20 civarındadır. Plak ortasındaki M_y momentinin, aynı yüzey alanına sahip dikdörtgen plaklardakine göre biraz daha küçük olduğu Vogt tarafından belirtilmiştir. Genelde fark azdır ve $h/l_x = 1$, $\phi = 60^\circ$ için yaklaşık %6 civarındadır. $h/l_x = 0,30$ ve $\phi = 30^\circ$ gibi büyük eğimi olan plaklar için bu fark tamamıyla kaybolur.

Köşelerde ortaya çıkan momentler özellikle önemlidir. Bu yüzden plağın köşegenlerinin doğrultusunda yukarı kalkmasına yol açan etkiyi yok etmek için plak köşe kısımlarından ankre edilir.

Geniş köşede köşegenlerin doğrultusundaki negatif moment plak ortasındaki M_x momentine yakın değerlere ulaşır. İlâveten düşey doğrultuda daha önce açıklanan ankraj etkisinden aynı büyüklükte bir pozitif moment oluşur.

Burulma momenti dar köşede, geniş köşenin yakınlarında aynı yüzey alanına sahip dikdörtgen plaktakine göre daha büyüktür.

2.7. MESNET TEPKİLERİ, MESNETLENME, KESME KUVVETLERİ

S noktasının bulunduğu geniş köşelerde verevlik açısı $\phi < 40^\circ$ için maksimum pozitif momenti geçen M_2 negatif

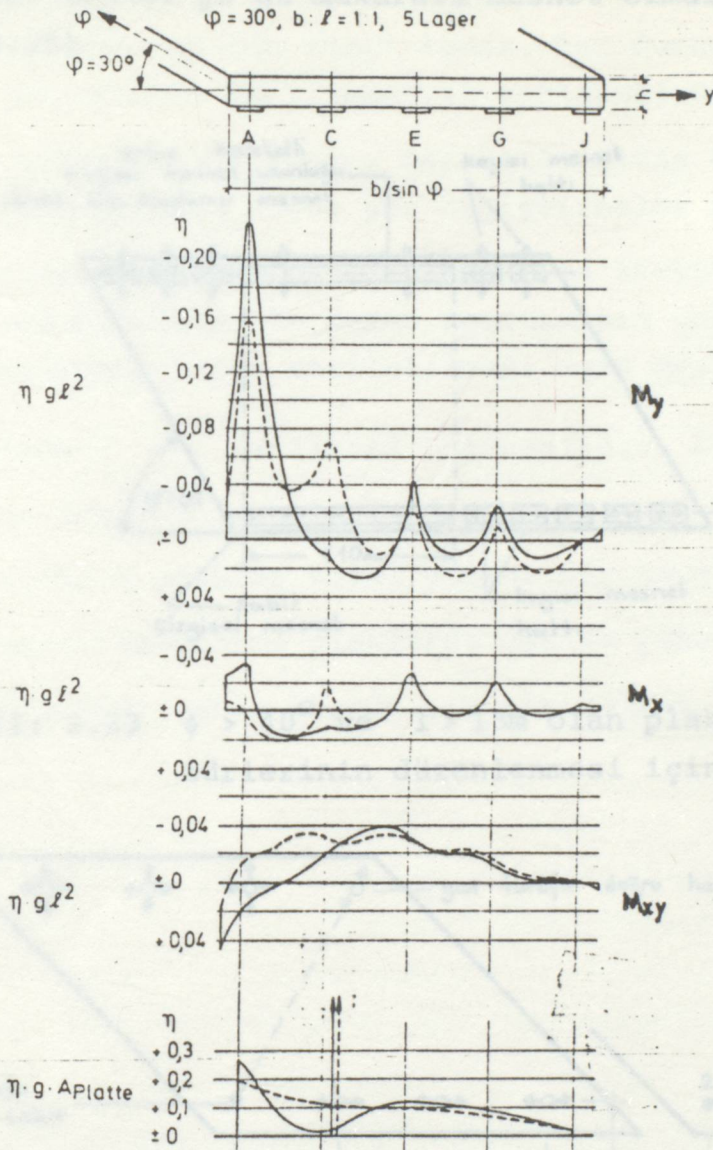
asal moment değerleri, dönebilen çizgisel mesnetlenme için bulunan eğilme momentlerinden oluşur. (Şekil: 2.14 ve Şekil: 2.15) Bu moment, mütemadi çizgisel mesnetlenmede plakta gerilmeler oluşturur. ϕ açısı ne kadar küçükse bu gerilme etkisi o kadar çok önem kazanır ve bu gerilme etkisi mesnedin sonunda çok büyük bir kenar zorlamasına yol açar. (Bu tür bir gerilme etkisi, ilk büyük verev plak köprülerinin birinde bu noktadaki sağlam bir çelik mesnedi parçalamıştır.)

Çok verev plakların geniş köşelerindeki büyük ankastrelik momentlerinden ve büyük kenar zorlamasından kaçınmak için, ankastrelik derecesi az olan mesnet teşkil edilir. Bu aşağıdaki gibi iki şekilde yapılabilir.

- 1.) Ara mesafesi büyük olan münferit mesnetlerin seçimi sayesinde.
- 2.) Elâstiki, sağlam olmayan yapı temelinde münferit mesnet sayesinde.

Birinci çözüm, W.Andrö ve F.Leonhardt tarafından 1960 yılında araştırılmıştır. Büyük mesnet açıklıklarının etkisi Şekil: 2.22' de görüldüğü gibi A_1 mesnet tepkisinin tesir yüzeylelerinin mukayesesi sayesinde ispat edilmiştir. 12 mesnedin yerine sadece 4 mesnet seçilirse, maksimum ordinatlar +1,8' den +1,1 değerine ve -0,3' den -0,2 değerine düşer. Tesir yüzeyleleri aynı zamanda köşeleri yukarı kaldıran kuvvetlerin oluşabileceğini gösteriyor, bu özellikle dar açılı plaklardaki mesnet için geçerlidir.

A.Mehmel mesnedin gevşemesinin elverişli etkisini 1964' de tesbit etmiştir. Başka bir açıklama gerektirmeyen sonuç karakteristik bir durum için Şekil: 2.23' de gösteriliyor.



— $N = 0 \cong$ sabit mesnetlenme

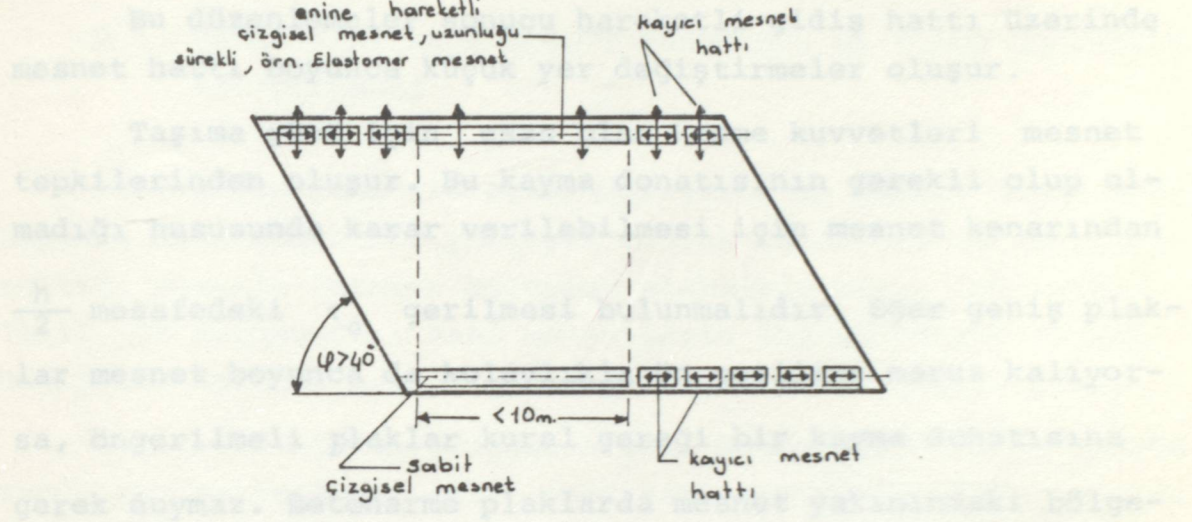
..... $N = 0,2 \cong$ Esnek kauçuk mesnetli köprülerde elâstikiyetin ortalama değeri

$$N = c \cdot \frac{E_c \cdot h^3}{(b \cdot \sin \varphi)^2}, \quad c = \text{yay katsayısı} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{N}} \right]$$

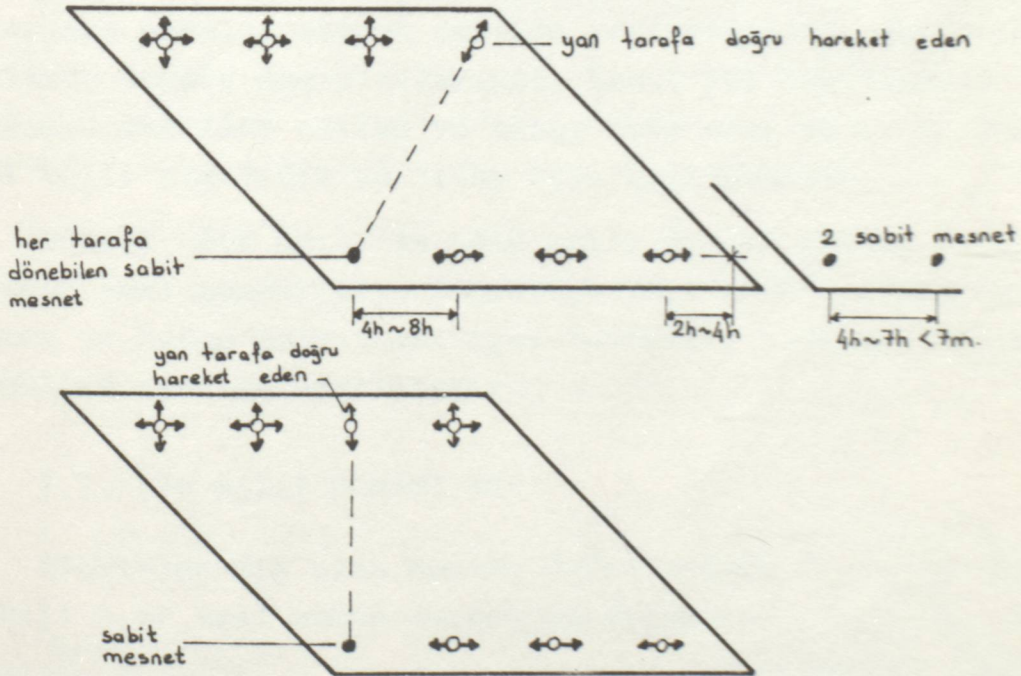
Şekil: 2.22 5 mesnetten oluşan mesnet hattı boyunca ve rev bir plağın mesnet tepkilerinin ve momentlerinin değişimi, bunlar elâstikiyet N' e bağlıdır. (Mehmel' e göre)

tusunda hareketli olmalıdır, yani yan tarafa doğru hareket eden kayıcı mesnet ya da makaralı mesnet olmalıdır. (Şekil: 2.25)

mesnet bu kuvvetlere karşı emniyet sağlanmalıdır.



Şekil: 2.23 $\phi > 40^\circ$ ve $l > 15\text{m}$ olan plaklarda mesnet türlerinin düzenlenmesi için tavsiyeler.



Şekil: 2.24 $\phi < 40^\circ$ olan plaklarda mesnetlerin düzenlenmesi için tavsiyeler.

c) Köşeyi yukarı kaldıran kuvvetlerden kaçınmak için mesnetler dar köşeye kenardan itibaren $2h'$ dan $4h'$ a kadar mesafede olacak şekilde içeri konur, her durumda yukarı kaldıran bu kuvvetlere karşı emniyet sağlanmalıdır.

Bu düzenlemeler sonucu hareketli gidiş hattı üzerinde mesnet hattı boyunca küçük yer değiştirmeler oluşur.

Taşıma gücü için esas olan kesme kuvvetleri mesnet tepkilerinden oluşur. Bu kayma donatısının gerekli olup olmadığı hususunda karar verilebilmesi için mesnet kenarından $\frac{h}{2}$ mesafedeki τ_0 gerilmesi bulunmalıdır. Eğer geniş plaklar mesnet boyunca da kolaylıkla ön gerilime maruz kalıyorsa, öngerilmeli plaklar kural gereği bir kayma donatısına gerek duymaz. Betonarme plaklarda mesnet yakınındaki bölgelerde, özellikle geniş köşede bir etriyeleme işlemi gerekli olabilir.

Scholz dik açılı ve eğik açılı donatıların esas momentlerin doğrultularında, tekil yük durumlarda momentlerden elde edilen ve hesap için esas olan momentleri belli olmalıdır ve hesap için kullanılabilir.

3.2. DİK AÇILI DONATI AÇI

Birbirine dik olan donatıların esas momentleri (Şekil: 3.1) esas momentlerin doğrultularında, tekil yük momentleri ve M_x momentleri için formüller aşağıdaki gibidir.

BÖLÜM 3

VEREV PLAKLARDA DONATI YERLEŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ ÖNERİLER

3.1. VEREV PLAKLARDA DONATI DURUMUNUN VE İLÂVE DONATININ BELİRLENMESİ

Dikdörtgen yani dik açılı plâklarda en önemli ölçüm noktasında asal momentler yaklaşık olarak kenarlara paralel doğrultuda olmakla beraber bu verev plaklarda böyle değildir. Tekil yük durumundaki asal momentlerin doğrultusunun biraz değişmesi halinde hesap için başka bir zorluk ortaya çıkar .

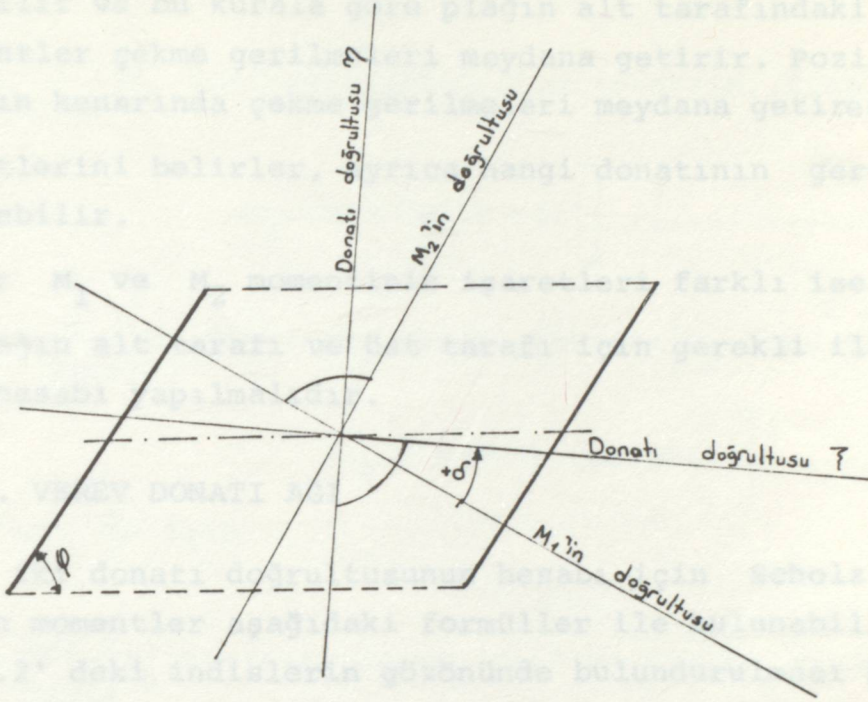
Donatının mümkün olduğunca asal momentlerin doğrultusuna uygun yerleştirilmesi çelik sarfiyatı bakımından ekonomik ve kullanışlıdır, bu suretle bazı durumlarda bundan farklı doğrultuda donatı yerleştirilecek ise bir takım pratik düşünceler ileri sürülecektir. Bazen dik açılı bir donatı açısından ayrılan ilâve donatıya da gerek duyulacaktır ve ilâve donatı kenarlara paralel olacak şekilde yerleştirilir. Bütün bu durumlarda donatı doğrultularında, tekil yük durumundaki asal momentlerden elde edilen ve hesap için esas olan \bar{M} momentleri belli olmalıdır ve hesap için toplanmalıdır.

Scholz dik açılı ve eğik açılı donatı ağırları için hangisinin asal momentlerin doğrultusundan farklı olduğunu bulmuştur ve hesap momentleri için formüller oluşturulmuştur. Bu formüller aşağıda verilmiştir.

3.2. DİK AÇILI DONATI AĞI

Birbirine dik olan donatı doğrultuları ξ ve η için (Şekil: 3.1) asal momentlerden yararlanarak M_{ξ} , M_{η} eğilme momentleri ve $M_{\xi\eta}$ burulma momenti belirlenebilir. Gerilmeler arasındaki bağıntılarda olduğu gibi momentlerde de aynı bağıntılar geçerlidir, öyle ki momentlerde Mohr dairesi bi-

le kullanılabilir. (Mohr gerilme dairesi =Moment dairesi)



Şekil: 3.1

Eğer hesapta M_{ξ} ve M_{η} eğilme momenti esas alınırsa , donatı üzerinde burulma momentinin etkisi dikkate alınmaz . Asal doğrultulardan sapma donatı miktarını çoğaltmaz. Burulma momentinden oluşan gerilmeler ihmal edilmelidir. M_{ξ} ve M_{η} burulma momentinden dolayı çoğaltılarak elde edilir. Bundan dolayı hesap için esas olan momentler şöyledir.

$$\bar{M}_{\xi} = M_{\xi} + |M_{\eta\xi}| = (M_1 \cdot \cos^2 \delta + M_2 \cdot \sin^2 \delta) + |M_1 - M_2| \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta \quad (3.1)$$

$$\bar{M}_{\eta} = M_{\eta} + |M_{\xi\eta}| = (M_1 \cdot \sin^2 \delta + M_2 \cdot \cos^2 \delta) + |M_1 - M_2| \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta \quad (3.2)$$

İşaret Kuralları:

M_1 ve M_2 momentinin işareti ile formülde konulmasına dikkat edilmelidir. (3.1) ve (3.2)'e göre bulunan \bar{M} momen-

tinin teşkilinde, aşağıda anlatılan işaret kuralına göre hareket edilir ve bu kurala göre plağın alt tarafındaki pozitif momentler çekme gerilmeleri meydana getirir. Pozitif işaret plağın kenarında çekme gerilmeleri meydana getiren M_1 ve M_2 momentlerini belirler, ayrıca hangi donatının gerektiği belirlenebilir.

Eğer M_1 ve M_2 momentinin işaretleri farklı ise bu durumda plağın alt tarafı ve üst tarafı için gerekli ilâve donatının hesabı yapılmalıdır.

3.3. VEREV DONATI AĞI

Her iki donatı doğrultusunun hesabı için Scholz' a göre esas olan momentler aşağıdaki formüller ile bulunabilir. Şekil: 3.2' deki indislerin gözönünde bulundurulması halinde donatı durumunun muhtelif kolaylıkları için aşağıdaki formüller geçerlidir.

$\frac{\psi}{2} - 90^\circ \leq \delta < \psi - 135^\circ$ için:

$$\bar{M}_\xi = \frac{1}{\sin\psi} \left[M_1 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos\delta + M_2 \cdot \cos^2(\psi - \delta) + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \cos\delta - M_2 \cdot \cos\delta \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\bar{M}_\eta = - \frac{1}{\sin\psi \cdot \text{tg}(\psi - \delta)} \left[M_1 \cdot \sin^2\delta + M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos\delta + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \sin(\psi - \delta) - M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.4)$$

$\psi - 135^\circ \leq \delta \leq 45^\circ$ için :

$$\bar{M}_\xi = \frac{1}{\sin\psi} \left[M_1 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos\delta + M_2 \cdot \cos^2(\psi - \delta) + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \cos\delta - M_2 \cdot \cos\delta \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\bar{M}_\eta = \frac{1}{\sin\psi} \left[M_1 \cdot \sin^2\delta + M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cos\delta + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \sin(\psi - \delta) - M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.6)$$

$45^\circ < \delta \leq \frac{\phi}{2}$ için

$$\bar{M}_\xi = \frac{\text{tg}\delta}{\sin\psi} \left[M_1 \cdot \sin(\psi - \delta) \cos\delta + M_2 \cdot \cos^2(\psi - \delta) + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \cos\delta - M_2 \cdot \cos\delta \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.7)$$

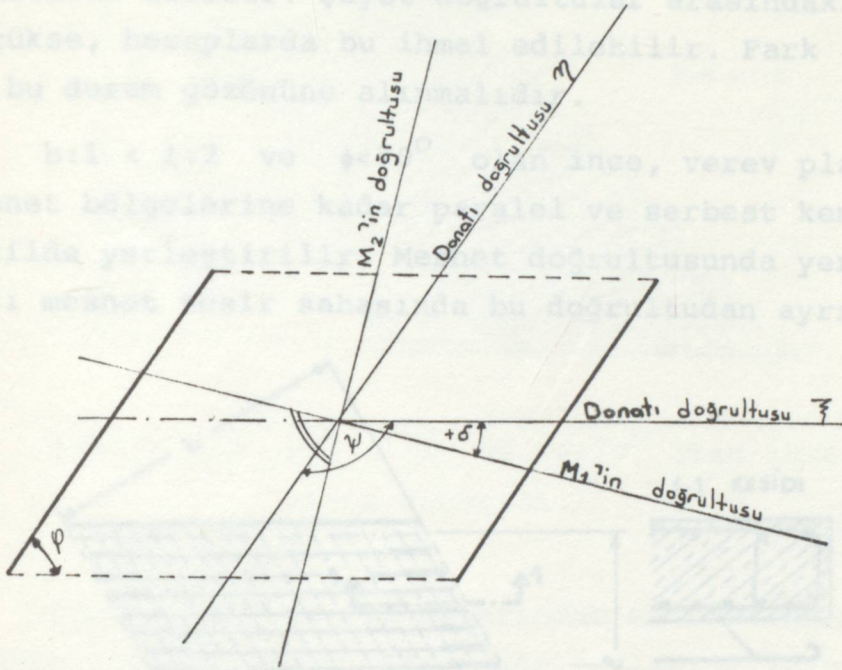
$$\bar{M}_\eta = \frac{1}{\sin\psi} \left[M_1 \cdot \sin^2\delta + M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos\delta + \left| M_1 \cdot \sin\delta \cdot \sin(\psi - \delta) - M_2 \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \cos(\psi - \delta) \right| \right] \dots\dots\dots (3.8)$$

İşaret Kuralları:

Bu formüllerdeki işaret kuralları için (3.1) ve (3.2) formülleri için söylenenler geçerlidir. Bu denklemlerin kullanılması işaretleri farklı olan asal momentlerde, bazı durumlarda meselâ basınç momenti ihmal edildiği zaman daha büyük hesap momentleri verir. Bu gibi durumlarda incelenen plâk kenarında basınç meydana getiren asal moment hangisi ise bunun ihmal edilmesi ile işlemler kolaylaşır.

Eğer bu formüller herhangi bir donatı ağı için doğru bir hesabı mümkün kılarsa, bu durumda donatı mümkün olduğunca

asal momentlerin doğrultusuna uyar. Asal momentlerin doğrultusuna göre donatı doğrultularının büyük bir sapması çelik sarfiyatını çok artırmaz.



Şekil: 3.2

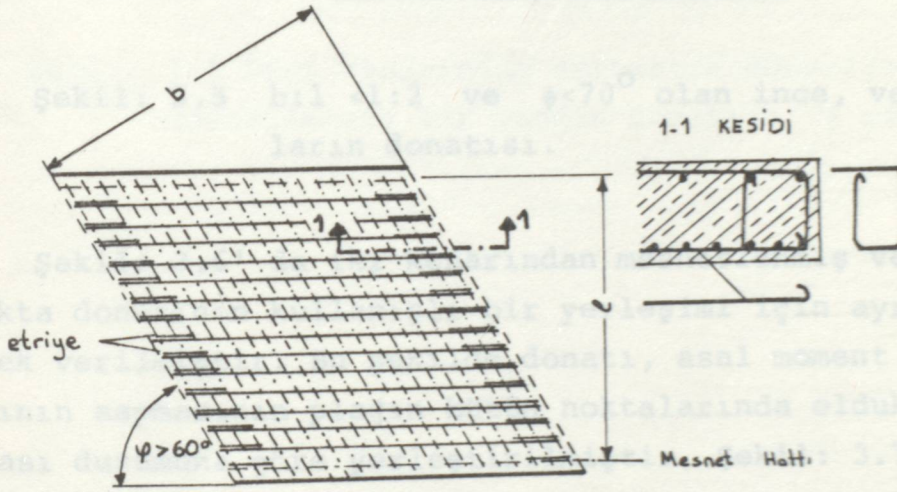
3.4. VEREV PLAKLARIN DONATI DÜZENİ İLE İLGİLİ ÖNERİLER

$\phi > 60^\circ$ ve $b:l \geq 1:2$ olan plaklarda boyuna ve enine donatı kenarlara paralel olacak şekilde yerleştirilir, serbest kenarlar etriyelerle çevrilir. (Şekil: 3.3) $\phi < 60^\circ$ olan plaklarda açıklıktaki boyuna donatı mesnetlere diktir, enine donatı ise mesnet hatlarına paralel olarak yerleştirilir. Serbest kenarlarda, çubuklarla kuvvetlendirilmiş $b_f \approx h$ genişliğinde olan bir çubuk etriyelerin arasında kalacak ve kenara paralel olacak şekilde yerleştirilir. Ankastrelik-köşe momentlerini karşılamak için, geniş köşelerde mesnet hattının doğrultusunda yerleştirilmiş olan üstteki kenar çubuk donatı bükülür. Geniş köşelerin tesir sahasında etriyeler daha sıkı yerleştirilir ve mesnet hattının üzerinde de mesnete kadar devam ettirilir. (Şekil: 3.4)

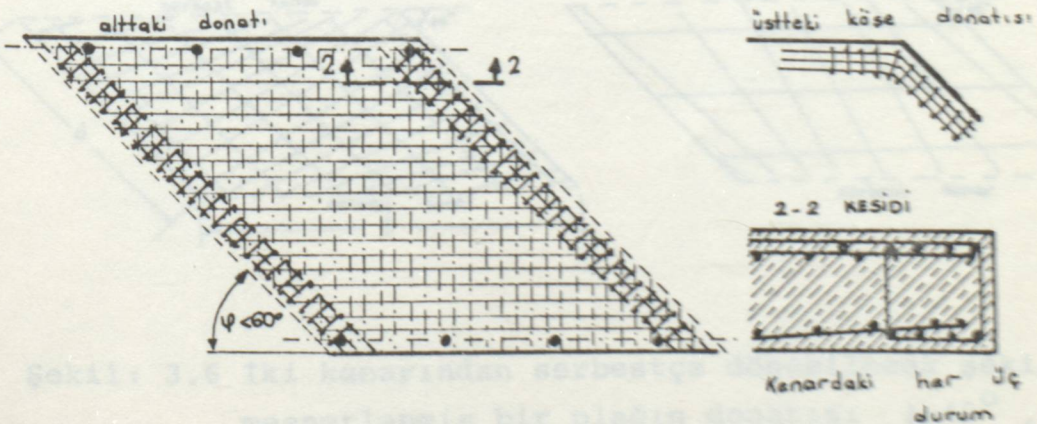
Şekil: 3.4 Verrevlik açıları $\phi > 60^\circ$ olan plaklarda üstteki ve alttaki donatıların doğrultuları.

Pratik sebeplerden dolayı 2 ya da 3 tane olacak şekilde tavsiye edilen donatıların doğrultuları tabii ki bir çok durumda asal momentlerin doğrultusunda olmayacağından bu donatılar kırılır. Şayet doğrultular arasındaki fark 20° 'den küçükse, hesaplarda bu ihmal edilebilir. Fark 20° 'den büyükse bu durum gözönüne alınmalıdır.

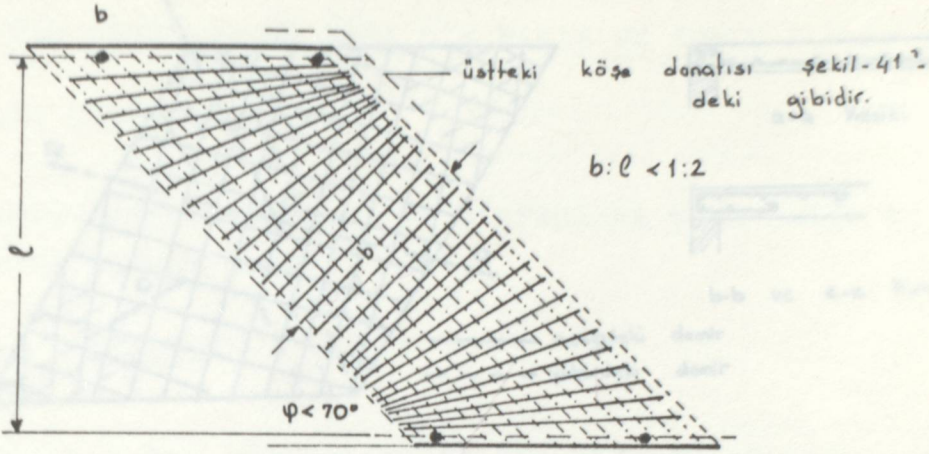
$b:l < 1:2$ ve $\phi < 70^{\circ}$ olan ince, verrev plaklarda donatı mesnet bölgelerine kadar paralel ve serbest kenara dik olacak şekilde yerleştirilir. Mesnet doğrultusunda yerleştirilen donatı mesnet tesir sahasında bu doğrultudan ayrılır. (Şekil:3.5)



Şekil: 3.3. Verevlik açısı $\phi > 60^{\circ}$ olan plaklarda üstteki ve alttaki donatıların doğrultuları (yaklaşık değerler).

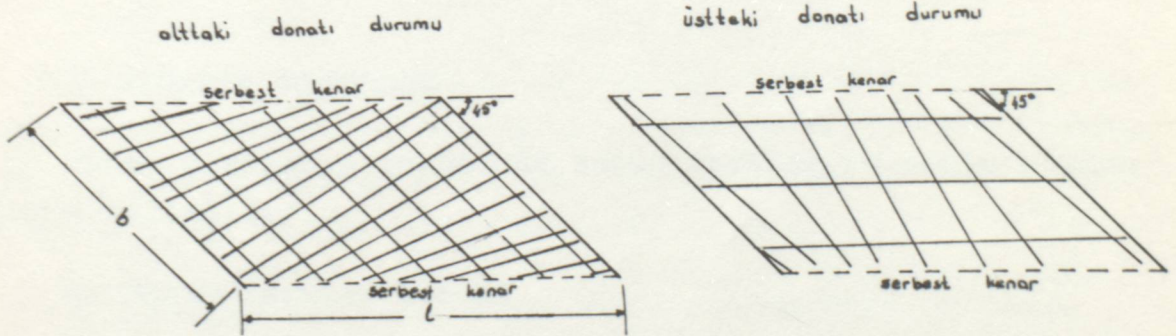


Şekil: 3.4 Verevlik açısı $\phi < 60^{\circ}$ olan plaklarda üstteki ve alttaki donatıların doğrultuları.

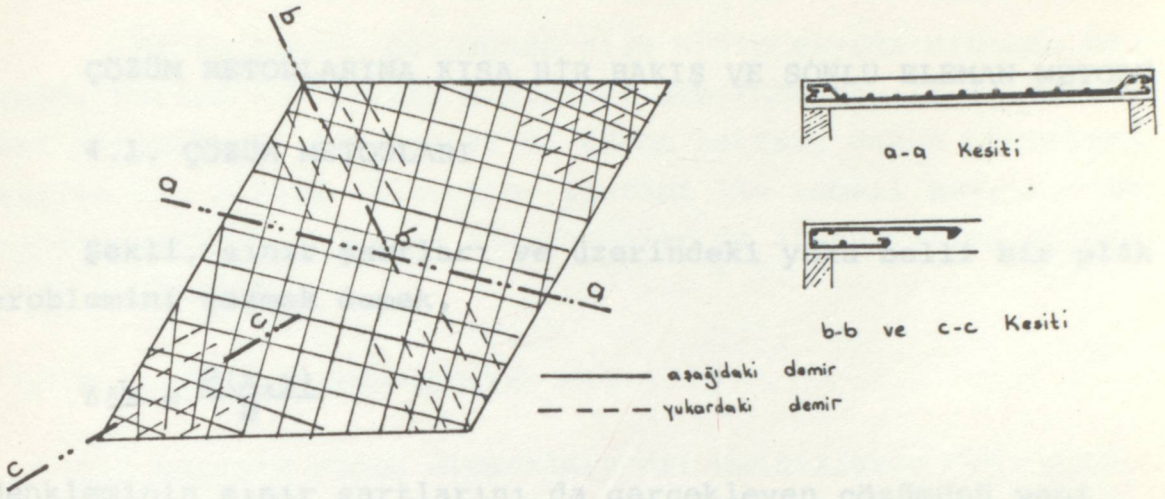


Şekil: 3.5 $b:l < 1:2$ ve $\phi < 70^\circ$ olan ince, verem plakların donatısı.

Şekil: 3.6' da iki kenarından mesnetlenmiş verem bir plâkta donatının kullanışlı bir yerleşimi için ayrıca bir örnek verilmiştir. Bu şekilde donatı, asal moment doğrultularının sapmasının plağın bütün noktalarında oldukça küçük olması durumuna göre yerleştirilmiştir. Şekil: 3.7' de ise dört kenarından mesnetlenmiş verem bir plağın basit donatısı gösterilmiştir.



Şekil: 3.6 İki kenarından serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş bir plağın donatısı $\phi = 45^\circ$, $b/l = 0,667$.



Şekil: 3.7 Dört kenarından serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş bir plağın donatısı $\phi = 60^\circ$, $b/l=1.00$

1-ANALİTİK METODLAR

Trigonometrik, hiperbolik seriler yardımı ile yükler ve deplasmanlar seriyeye açılarak denklem sağlatılmaya çalışılır. Sıvır şartları hayli karmaşık olan verev plaklarının bu tip kesin çözümde elde edilememektedir.

2-NÜMERİK METODLAR

verev plakların çözümünde sonlu farklar ve sonlu elemanlar metodu kullanılır.

a) Sonlu Farklar Metodu

Sonlu farklar metodunun esasını, plak üzerinde belirli bir bölgeyi ele alarak bu bölgeyi bir dizi düğüm noktasına bölmek ve her düğüm noktasında bir denge denklemleri yazarak bu denklemleri çözerek her düğüm noktasındaki yer değiştirmeleri bulmaktır.

BÖLÜM 4

ÇÖZÜM METODLARINA KISA BİR BAKIŞ VE SONLU ELEMAN METODU

4.1. ÇÖZÜM METODLARI

Şekli, sınır şartları ve üzerindeki yükü belli bir plâk problemini çözmek demek,

$$\Delta\Delta W = \frac{P(x,y)}{D}$$

denkleminin sınır şartlarını da gerçekleyen çözümünü yani $W = W(x,y)$ elâstik yüzey ifadesini bulmaktır. Bunu yaparken elbette ki plâk şekline uygun bir koordinat sistemi kolaylık sağlar. Bununla beraber $W(x,y)$ elâstik yüzey ifadesini elde etmek her zaman kolaylıkla olmaz. Onun içindir ki, analitik metodların yanında yaklaşık metodlar da vardır.

1-ANALİTİK METODLAR

Trigonometrik, hiperbolik seriler yardımı ile yükler ve deplasmanlar seriye açılarak denklem sağlatılmaya çalışılır. Sınır şartları hayli karmaşık olan verev plâkların bu tip kesin çözümü elde edilememektedir.

2- NÜMERİK METODLAR

Verev plakların çözümünde sonlu farklar ve sonlu eleman metodu kullanılır.

a) Sonlu Farklar Metodu

Sonlu farklar metodunun esasını, plak üzerinde teşkil edilen bir ağ sistemiyle düğüm noktalarının sehimlerinin belirlenip bunlar yardımı ile diğer iç kuvvetlerin bulunması teşkil eder.

b) Sonlu Eleman Metodu

Sonlu eleman metodunda plak sonlu sayıda elemana bölünmüş farzedilip eleman kenarları üzerinde yayılı iç kuvvetleri elemanların birleştiği ve düğüm noktası denen noktalara etkiyen bir fiktif kuvvetler sistemi ile temsil edilir. Bu denklem takımının çözümü ile çökmeler ve iç kuvvetler hesaplanabilmektedir.

4.2. SONLU ELEMAN METODU

Bir boyutlu sonlu elemanlara ait matrislerin değerlerinin kesin olarak tayin edilebilmesine karşılık, iki ve üç boyutlu sonlu elemanlarda bunların tayin edilebilmesi önemli bir fark olarak ortaya çıkmaktadır. Bu matrislerin tayini için aşağıda açıklanan birbirinden farklı iki yoldan biri uygulanabilir.

- İncelenen sistem ortamına eşdeğer bir ortamda sonlu elemanlar alma,
- İncelenen sistem ortamında sonlu elemanlar alma. İncelenen sistem ortamında sonlu eleman alınarak hesap yapılırken birbirinden farklı iki yol izlenebilir:

a) Sistem Boyutunu Bir Mertebe Düşürerek Sonlu Elemanlar Kullanma.

Bir çok halde yükler ve deplasmanlar sınır şartlarını sağlayacak şekilde aynı koordinat fonksiyonlarına göre seriye açılarak sistemin boyutu bir mertebe düşürülür ve sonlu elemanlar bu yeni sistem üzerinde alınır.

b) İncelenen Sistem Ortamında Doğrudan Doğruya Sonlu Elemanlar Kullanma

Doğrudan sistem ortamında sonlu elemanlar kullanıldığında,

- Eleman içinde geçerli iç kuvvet alanı seçerek,
- Eleman içinde geçerli deplasman fonksiyonu seçerek çö-

zümeye gitmek şeklinde iki yol sözkonusudur . Bunlardan ikincisi, direkt deplasman metodunun iki ve üç boyutlu sürekli ortamlara uygulamasından başka bir şey değildir. Sonlu eleman metodunda,

- Gerçekte sürekli olan elemanlar arası bağlantılar yalnızca belli sayıda düğüm noktasında toplanmaktadır.

- Düğüm noktası deplasmanlarına bağlı olarak seçilen deplasman fonksiyonu sadece o eleman için geçerlidir.

Eğrisel sınırlar, verevlik v.b. haller sözkonusu ise, üçgen elemanların kullanılması dikdörtgen elemanlara göre kolaylık sağlar. Üçgen sonlu elemanlar kullanıldığında, sonlu elemanlar yöntemi tatbikatta karşılaşılan plakların tümüne kolayca uygulanabilmesi açısından büyük bir esneklik gösterir.

Bir düğüm noktasındaki parametre sayısına o düğüm noktasının serbestlik derecesi denir. Bir elemanda düğüm noktalarının serbestlik dereceleri toplamına elemanın serbestlik derecesi denir.

4.3. GENEL BAĞINTILAR

Sürekli ortam, hayali çizgiler veya yüzeylerle, belirli sayıda " sonlu elemanlar" a ayrılır. Bilindiği gibi elemanların davranışı her elemana bağlı özel eksen takımlarında daha kolay hesaplanır. Sonra sisteme ait tek bir eksen takımına dönüşüm yapılır. Eleman için kuvvetler ve tekabül eden deplasmanlar, ortak bir koordinat sisteminde uygun bileşenleri ile tarif edilirler. Düğüm noktalarının deplasmanları, problemin esas bilinmeyen parametrelerini teşkil edecektir. Bir e elemanı için $\{F\}^e, \{\delta\}^e$ aşağıdaki gibidir.

Her sonlu elemanın bünyesinde, kendi düğüm noktaları deplasmanları cinsinden, deplasman durumunu tarif etmek üzere bir fonksiyon veya fonksiyonlar seçilir. Deplasman fonksiyon-

$$\{ F \}^e = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_m \end{bmatrix} \quad \{ \delta \}^e = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta_m \end{bmatrix}$$

ları bir eleman içinde düğüm noktaları cinsinden, deformasyon durumunu tarif ederler.

Düğüm noktalarında sınır gerilmelerini ve bazı yayılı yükleri dengeleyen ve

$$\{ F \}^e = [k]^e \cdot \{ \delta \}^e + \{ F \}_p^e + \{ F \}_{\epsilon_0}^e \dots \dots \dots (4.1)$$

formunda bir rijitlik bağıntısına müncer olan bir kuvvet sistemi tayin edilir. $\{ F \}_p^e$ elemana tesir eden herhangi yayılı yükü dengelemek için gerekli düğüm noktası kuvvetlerini ve $\{ F \}_{\epsilon_0}^e$ ısı değişiminden ileri gelen deformasyon gibi çeşitli ilkel deformasyonları dengelemek için gerekli düğüm noktası kuvvetlerini temsil ederler. Elemanın herhangi bir noktasındaki gerilmeleri $\{ \sigma \}^e$ ile tarif edersek,

$$\{ \sigma \}^e = [s]^e \cdot \{ \delta \}^e + \{ \sigma \}_p^e + \{ \sigma \}_{\epsilon_0}^e \dots \dots \dots (4.2)$$

şeklinde bir bağıntı elde edilir. Burada son iki terim sırasıyla, eleman dış yüzeyine yayılı yüklerden ileri gelen gerilmelerden ve ilkel gerilmelerden ibarettir. $[k]^e$ eleman rijitlik matrisi, $[s]^e$ matrisi de eleman gerilme matrisi olarak adlandırılır.

Toplam denge şartları bir eleman içinde zaten sağlanmış bulunduğundan, gerekli bütün iş, yapı sisteminin düğüm noktalarında denge şartlarını tesis etmektir. Sonuçta elde edilen denklemler bilinmeyen olarak deplasmanları ihtiva edecek ve bir kere bunlar çözüldüncü yapı problemi belirlenmiş olacaktır.

Eleman rijitlik matrisinin alt matrisleri kullanılarak ve yalnız uygun F_i kuvvetleri gözönünde tutularak sistem için,

$$\{R_i\} = \sum_{m=1}^{m=n} \sum [k_{im}]^e \{\delta_m\}^e + \sum \{F_i\}_p^e + \sum \{F_i\}_{\epsilon_0}^e \dots \dots \dots (4.3)$$

yazılabilir. Bu denklem sistemi basit olarak

$$[K] \cdot \{\delta\} = \{R\} - \{F\}_p - \{F\}_{\epsilon_0} \dots \dots \dots (4.4)$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.1. DEFORMASYONLAR

Eleman içindeki bütün noktalarda deplasmanlar bilince herhangi bir noktadaki deformasyonlar tayin edilebilir. Bu deformasyonlar matris formunda,

$$\{\epsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}^e \dots \dots \dots (4.5)$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.2. GERİLMELER

Eleman sınırları içindeki malzeme, ısı değişimi, rötne, kristal büyümesi gibi sebeplerden oluşan $\{\epsilon_0\}$ ile gösterilen ilkel deformasyonlara maruz bulunabilir. Bu durumda,

$$\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\}) \dots\dots\dots (4.6)$$

dır. Burada $[D]$, malzemeye özgü özellikleri ihtiva eden bir elastisite matrisidir.

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu/2 \end{bmatrix}$$

4.3.3 DEPLASMAN FONKSİYONU

Eleman içindeki deplasman bileşenlerinin uç deplasmanlarına bağlı ifadelerini elde edebilmek amacıyla, önce deplasman bileşenleri için koordinatlara bağlı fonksiyonlar seçilir. Bunun için polinomlardan faydalanılır. Bu amaçla seçilecek polinomun terim sayısının uç deplasman sayısına eşit olması gerekmektedir. Bundan başka deplasman fonksiyonlarının ayrıtlar boyunca komşu elemanların , deplasmanlarını ve bunların türevlerini eşitlemeleri özelliği de önemlidir. Eleman içindeki herhangi bir noktada deplasmanların bir $\{w(x,y)\}$ kolon vektörü olarak tarif edildiğini farzedelim.

$$\{w\} = [N] \cdot \{\delta\}^e = \begin{bmatrix} N_i & N_j & N_m & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_i \\ \delta_j \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.7)$$

4.4. PLAK PROBLEMİNİN YER DEĞİŞTİRME DURUMU

Bir plağın yer değiştirme durumu, eğer W deplasmanı bütün noktalarda biliniyorsa ince plaklar teorisinin esas alınmasına göre kolaylıkla belirlenebilir. İnce plaklar teorisine göre:

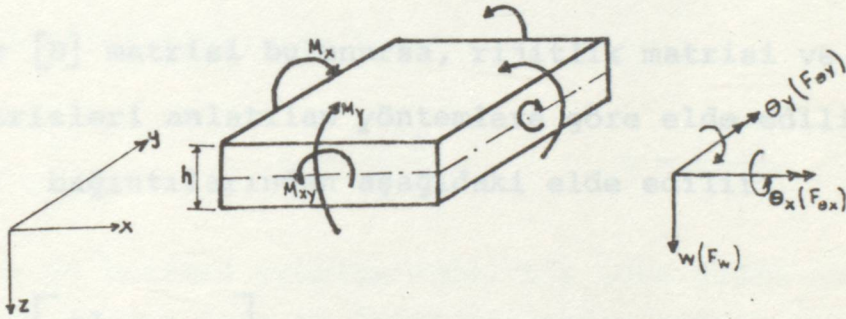
Deplasman matrisi:

$$\{\delta_i\} = \begin{bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_i \\ -\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)_i \\ \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.8)$$

Bunu genel olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\{W\} = [N] \cdot \{\delta\}^e$$

Burada [N] Şekil fonksiyonları x,y kartezyen koordinatlarına bağlıdır. $\{\delta\}^e$ ise düğüm noktası parametrelerini içerir.



Şekil: 4.1 Plaklardaki gerilme büyüklükleri

Genelleştirilmiş şekil değiştirmeler ve gerilmeler ince plak teorisinde de bahsedildiği gibi aşağıdaki şekilde belirlenebilir. Deformasyon vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4.9)$$

Oluşan gerilmeler birim eğilme ve burulma momentleridir.

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.10)$$

Yer değiştirmeleri oluşturan düğüm noktası kuvvetleri bir kuvvet ve iki moment şeklinde yazılabilir.

$$\{F_i\} = \begin{bmatrix} F_{wi} \\ F_{\theta xi} \\ F_{\theta yi} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.11)$$

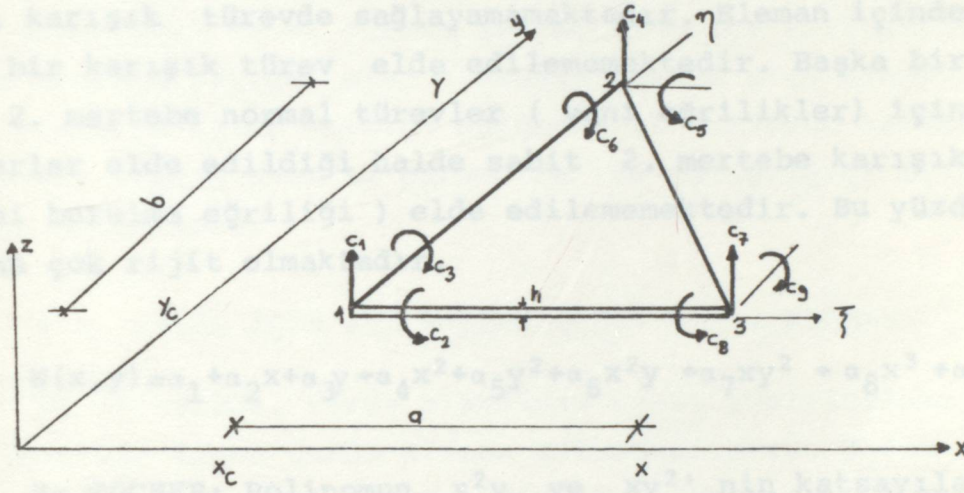
Eğer [B] matrisi bulunursa, rijitlik matrisi ve elemanın diğer matrisleri anlatılan yöntemlere göre elde edilir. (4.7) ve (4.9) bağıntılarından aşağıdaki elde edilir.

$$[B_i] = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2}{\partial x^2} [N_i] \\ -\frac{\partial^2}{\partial y^2} [N_i] \\ 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} [N_i] \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.12)$$

$$\{\sigma\} = \{M\} = [D] \cdot (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\}) + \{\sigma_0\}$$

4.5. PLAKLARDA ÜÇGEN SONLU ELEMAN

Pratik tatbik alanı özellikle üçgen elemanların kullanımında çok büyüktür. Temel plakları, köprü plakları kolaylıkla üçgen elemanlarla incelenir.



Şekil: 4.2 Plaklarda üçgen sonlu eleman.

$$x - x_c = a$$

$$y - Y_c = b$$

$$\xi = \frac{x - x_c}{a}$$

$$\eta = \frac{y - Y_c}{b}$$

Plak ve benzeri problemlerde, bir köşe düğüm noktasında serbestlik derecesinin ve düğüm parametrelerinin en az 3 olması gerektiği bilinmektedir.

Bu durumda yalnız köşe düğüm noktası ihtiva eden bir üçgen elemenda serbestlik derecesi 9 olacaktır. Deplasman fonksiyonlarının polinomlarla teşkilinin hesap kolaylığı ve tamlık şartının temininde çok faydalı olduğu bilinmektedir. 3. dereceden bir tam polinom 10 terim içermektedir.

$$W(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 xy + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 x^3 + \alpha_8 x^2 y + \alpha_9 xy^2 + \alpha_{10} y^3$$

Elde 9 şart olması ve geometrik izotropi bakımından hiç bir terimin atılamaması α_i katsayılarının tayininde

güçlük yaratmaktadır. Bu güçlüğü yenmek için muhtelif çözümler teklif edilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1- ADINI : (xy) terimini atarak polinomu 9 terime indirmiş ve simetriği korumuştur. Ancak bu çözüm tamlik şartını karışık türevde sağlayamamaktadır. Eleman içinde sabit bir karışık türev elde edilememektedir. Başka bir deyişle 2. mertebe normal türevler (yani eğrilikler) için sabit değerler elde edildiği halde sabit 2. mertebe karışık türev (yani burulma eğriliği) elde edilememektedir. Bu yüzden eleman çok rijit olmaktadır.

4.5. ÇÖZÜM İÇİN KULLANILAN ÜÇGEN ŞEKLİ ELEMAN

$$W(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 y^2 + \alpha_6 x^2 y + \alpha_7 x y^2 + \alpha_8 x^3 + \alpha_9 y^3$$

2- TOCHER: Polinomun $x^2 y$ ve $x y^2$ ' nin katsayılarını eşit kabul etmiştir. Böyle bir eleman bir çok problemde iyi sonuç vermekle beraber elemanın kenarlarının bazı doğrultuları için düğüm parametrelerini α_i ' lere bağlayan [G] yer değiştirme matrisinin singular olabileceği TOCHER tarafından belirtilmiştir.

$$\{\delta\}^e = [G] \cdot \{\alpha_i\}$$

$$W(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 (x^2 y + x y^2) + \alpha_8 x^3 + \alpha_9 y^3$$

3- TOCHER ve BELL: Elemanın içinde bir noktada w_0 değerini Ritz metodu ile tayin ederek 10 katsayıyı 9'a indirmektedir. Yani buradaki işlem on terimli polinomla hesaba başlamak ve daha sonra bunlardan bir tanesini elemektir.

4- O.C. ZIENKIEWICZ : Alan koordinatlarını kullanarak iyi sonuç veren 9 serbestlik dereceli elemanın ZIENKIEWICZ tarafından teşkil edildiği bilinmektedir. Fakat kartezyen

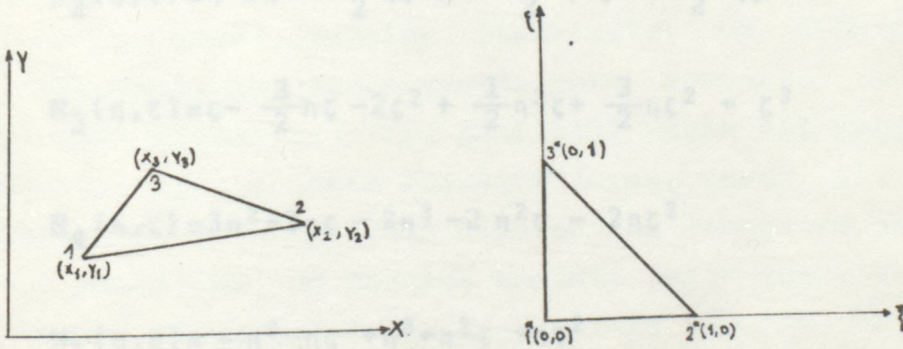
koordinatlarla böyle bir eleman eldesi bölgelere göre mevcut görülmemektedir.

5- SERBESTLİK DERECESE YÜKSEK ELEMENLAR

T21, T18 gibi serbestlik derecesi yüksek üçgen elemanlar mevcuttur. Fakat eleman sayısı arttıkça serbestlik derecesi minimum sayıda olan elemanla yüksek olan elemanların çok yakın sonuçlar verdiği düşünülürse minimum serbestlik dereceli eleman daha az parametre ile çalışıldığı için kullanışlı olmaktadır.

4.6. ÇÖZÜM İÇİN KULLANILAN ÜÇGEN SONLU ELEMEN

Bu çalışmada, verev plakların kesit tesirlerinin elde edilmesinde üçgen sonlu eleman kullanılmıştır. Üçgen sonlu eleman için TOCHER' in önerdiği deplasman fonksiyonundan yararlanılmıştır.



Şekil: 4.3

Şekil: 4.3' e göre elde edilen aşağıdaki dönüşümlerden yararlanılmıştır.

$$x = x_1 + (x_2 - x_1)\eta + (x_3 - x_1)\zeta$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)\eta + (y_3 - y_1)\zeta$$

TOCHER'in önerdiği deplasman fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$W(\eta, \zeta) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \eta + \alpha_3 \cdot \zeta + \alpha_4 \cdot \eta^2 + \alpha_5 \cdot \eta\zeta + \alpha_6 \cdot \zeta^2 + \alpha_7 \cdot \zeta^3 + \alpha_8 (\eta^2\zeta + \eta\zeta^2) + \alpha_9 \cdot \zeta^3$$

G.P.BAZELEY, Y.K. CHEUNG, B.M.IRONS ve ZIENKIEWICZ' ın ortak çalışmaları sonucunda, TOCHER' in önerdiği deplasman fonksiyonundan da faydalanarak elde edilen aşağıdaki deplasman fonksiyonu kullanılmıştır.

$$W(\eta, \zeta) = \alpha_1 + 0,5\eta + \alpha_3 \cdot \zeta + \alpha_4 \cdot \eta^2 + \alpha_5 \cdot \eta\zeta + \alpha_6 \cdot \zeta^2 + \alpha_7 \cdot \eta^3 + \alpha_8 \cdot \eta^2 \cdot \zeta + \alpha_9 \cdot \eta\zeta^2 + \alpha_{10}\eta^3$$

Burada α_2 katsayısı 0,5'e eşit alınarak polinom 9 terime indirilmiştir. Böylece eldeki şartlarla bilinmeyen α_i katsayıları belirlenebilir. BAZELEY, ZIENKIEWICZ ve arkadaşlarının önerdiği bu çalışmada şekil fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$N_1(\eta, \zeta) = 1 - 3\eta^2 - 4\eta\zeta - 3\zeta^2 + 2\eta^3 + 4\eta^2\zeta + 4\eta\zeta^2 + 2\zeta^3$$

$$N_2(\eta, \zeta) = \eta - 2\eta^2 - \frac{3}{2}\eta\zeta + \eta^3 + \frac{3}{2}\eta^2\zeta + \frac{1}{2}\eta\zeta^2$$

$$N_3(\eta, \zeta) = \zeta - \frac{3}{2}\eta\zeta - 2\zeta^2 + \frac{1}{2}\eta^2\zeta + \frac{3}{2}\eta\zeta^2 + \zeta^3$$

$$N_4(\eta, \zeta) = 3\eta^2 + 2\eta\zeta - 2\eta^3 - 2\eta^2\zeta - 2\eta\zeta^2$$

$$N_5(\eta, \zeta) = -\eta^2 - \eta\zeta + \eta^3 + \eta^2\zeta + \eta\zeta^2$$

$$N_6(\eta, \zeta) = \frac{1}{2}\eta\zeta + \frac{1}{2}\eta^2\zeta - \frac{1}{2}\eta\zeta^2$$

$$N_7(\eta, \zeta) = 2\eta\zeta + 3\zeta^2 - 2\eta^2\zeta - 2\eta\zeta^2 - 2\zeta^3$$

$$N_8(\eta, \zeta) = \frac{1}{2}\eta\zeta - \frac{1}{2}\eta^2\zeta + \frac{1}{2}\eta\zeta^2$$

$$N_9(\eta, \zeta) = -\eta\zeta - \zeta^2 + \eta^2\zeta + \eta\zeta^2 + \zeta^3$$

BÖLÜM 5

TESİR YÜZEYLERİ ve BİLGİSAYARLA ÇÖZÜM

5.1. TESİR YÜZEYLERİNİN TANIMLANMASI

Tesir yüzeyleri esas itibarıyla tesir çizgisi kavramının yüzeysel taşıyıcı sistemlere teşmil edilmiş şeklidir. Köprü plakları için en gayri müsait yükleme şekli tekerlek veya dingil yükleri gibi münferit yük biçimidir.

$A(u,v)$ noktası plak üzerinde kritik nokta olarak ele alınıp, $P = 1$ ton hareketli yükünün değişik $P(x,y)$ noktalarında gezerken bu noktada hasıl ettiği tesirler ve aynı tesirlerin bulunduğu noktaların birleştirilmesiyle meydana gelen eğriler bize tesir yüzeyinin plandaki görünümünü verirler. Tesir yüzeyleri referans noktasının yerine, plak şekline, sınır şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

5.2. BİLGİSAYARLA ÇÖZÜM

Bu çalışmada, Bazeley, Zienkiewicz ve arkadaşlarının önerdiği deplasman fonksiyonuna göre Schwartz tarafından geliştirilen eleman rijitlik matrisini veren alt program kullanılmıştır. Ayrıca nokta koordinatlarını veren alt program da yapılmıştır. Bilgisayardan elde edilen sonuçlara göre çizilen eğilme momentleri ve burulma momenti tesir yüzeyleri, RÜSCH tarafından oluşturulan tesir yüzeyleri ile ve Doç.İng.Tibor Ja'vor tarafından sonlu farklarla çözümü yapılmış tesir yüzeyi tabloları ile karşılaştırılmıştır.

5.2.1. DÜĞÜM NOKTASI KOORDİNATLARINI VEREN ALT PROGRAM

```
10 REM "AKSU"  
20 REM "NOKTA KOORD. BELIRLENMESI"  
30 GOTO 85  
40 PRINT "BOS KENARIN UZUNLUGU(ACIKLIK) L=.....? m ":INPUT L:CLS  
50 PRINT "MESNETLENMIS KENARIN UZUNLUGU(GENISLIK) B=.....? m":INPUT B:CLS  
60 PRINT "VEREVLIK ACISI ALFA=.....? ":INPUT ALFA:CLS  
70 PRINT "X YONUNDEKI NOKTA SAYISI M=.....?adet ":INPUT M:CLS  
80 PRINT "Y YONUNDEKI NOKTA SAYISI N=.....?adet ":INPUT N:CLS  
85 B=B: L=20: M=9: N=11: ALFA=60  
90 PAR=M*N  
100 DIM X(PAR) :DIM Y(PAR)  
110 ADET=(M-1)*(N-1)*2  
120 AR1=L/(M-1)  
130 AR2=B/(N-1)  
140 ALFA=ALFA*3.1415927#/180  
150 CALFA=COS(ALFA)  
160 SALFA=SIN(ALFA)  
170 SAY=0  
180 MI=M  
190 NI=0  
200 A=1  
210 CAR=0  
220 FOR I=A TO MI  
230 X(I)=(B-NI*AR2)*CALFA+AR1*CAR  
240 Y(I)=(B-NI*AR2)*SALFA  
250 CAR=CAR+1  
260 NEXT I  
270 A=MI+1  
280 MI=MI+M  
290 SAY=SAY+M  
300 NI=NI+1  
310 IF SAY<PAR THEN GOTO 210  
320 PRINT "VERILER :"  
330 PRINT "-----"  
340 PRINT "NOKTA" TAB(20) "X(I)-XKOORD." TAB(50) "Y(I)-Y KOORD."  
350 PRINT "=====  
360 FOR I=1 TO PAR  
370 PRINT I TAB(20) "X(";I;")=";X(I) TAB(50) "Y(";I;")=";Y(I)  
380 NEXT I  
390 END
```

5.2.2. ELEMAN RIJITLIK MATRISINI VEREN ALT PROGRAM

```
900 REM "TULAY"
910 REM "ELEMAN RIJITLIK MATRISINI VEREN ALTPROGRAM"
920 REM "XK,YK:UCGEN ELEMANIN KOSE KOORD."
930 REM "E:ELASTISITE MODULU NU:POISSON SAYISI H:ELEMANIN KALINLIGI"
940 REM "P:ELEMANIN YUKU "
950 DIM S1(45),S2(45),S3(45),S4(45),S5(45),S6(45),S7(45),S8(45)
960 DIM SE(9,9),ME(9,9),BE(9)
970 XK(1)=9:XK(2)=10:XK(3)=10
980 YK(1)=15.588:YK(2)=15.588:YK(3)=17.32
990 H=.5:NU=.2:E=3E+07
1000 DATA 80,28,4,-64,40,4,-16,-4,8,30,-4,-44,10,-4,16,4,-8,2,4,2,2,-8,-2,4,80,-
32,4,-16,-4,8,24,2,-8,-2,4,2,-8,-2,4,32,8,-16,2,-4,8
1010 DATA 64,12,8,-32,24,8,-32,-4,16,11,2,-12,5,-2,0,-4,0,1,-4,1,1,-4,1,2,16,-12
,-4,16,8,-8,8,5,-12,-1,6,1,-4,1,2,16,-4,-8,-3,2,4
1020 DATA 64,12,12,-32,20,0,-32,0,20,-1,11,0,2,1,-12,-1,0,-1,-12,0,-1,0,1,2,16,-
16,0,16,0,-4,12,-2,-4,2,6,-1,0,1,2,16,0,-16,-1,-2,12
1030 DATA 64,8,8,-32,16,8,-32,8,16,5,1,-4,2,1,-4,-3,2,5,-4,2,-3,-4,1,2,16,-8,-4,
16,-4,-8,4,2,-8,2,4,5,-4,1,2,16,-4,-8,5,2,4
1040 DATA 64,8,12,-32,16,-4,-32,8,24,1,2,-4,2,1,-4,1,1,11,0,0,-4,-12,-2,5,16,-8,
-4,16,-4,-12,4,2,-8,2,6,-3,8,1,-1,16,-4,-12,1,5,8
1050 DATA 80,4,28,-16,8,-4,-64,4,40,2,-4,-8,4,-2,4,2,2,30,16,-8,4,-44,-4,10,32,-
16,8,-16,-8,-8,8,-4,8,4,4,2,-4,-2,-2,80,4,-32,2,2,24
1060 DATA 1936,208,208,712,-212,76,712,76,-212,31,19,136,-38,13,76,11,-24,31,76,
-24,11,136,13,-38,1936,-416,208,712,136,-212,100,-50,-212,-38,62,31,136,25,-38,1
936,208,-416,31,-50,100
1070 DATA 8,1,1,8,-2,1,8,1,-2
1080 FOR I=1 TO 45: READ S1(I): NEXT I
1090 FOR I=1 TO 45: READ S2(I): NEXT I
1100 FOR I=1 TO 45: READ S3(I): NEXT I
1110 FOR I=1 TO 45: READ S4(I): NEXT I
1120 FOR I=1 TO 45: READ S5(I): NEXT I
1130 FOR I=1 TO 45: READ S6(I): NEXT I
1140 FOR I=1 TO 45: READ S7(I): NEXT I
1150 FOR I=1 TO 9: READ S8(I): NEXT I
1160 X21=XK(2)-XK(1)
1170 X31=XK(3)-XK(1)
1180 Y21=YK(2)-YK(1)
1190 Y31=YK(3)-YK(1)
1200 D=E*H*H*H/(12*(1-NU*NU))
1210 DET=X21*Y31-X31*Y21
1220 IF DET<=0 THEN PRINT"DATATA YANLIS VAR"
1230 DET3=DET*DET*DET*24/D
1240 H1=X31*X31+Y31*Y31
1250 H2=X21*X31+Y21*Y31
1260 H3=X21*X21+Y21*Y21
1270 A1=H1*H1/DET3
```

```
1280 A2=-4*H2*H1/DET3
1290 A3=2*(H2*H2+NU*DET*DET)/DET3
1300 A4=(4*H2*H2+2*(1-NU)*DET*DET)/DET3
1310 A5=-4*H2*H3/DET3
1320 A6=H3*H3/DET3
1330 IJ=0
1340 FOR I=1 TO 9
1350 FOR J=I TO 9
1360 IJ=IJ+1
1370 SE(I,J)=A1*S1(IJ)+A2*S2(IJ)+A3*S3(IJ)+A4*S4(IJ)+A5*S5(IJ)+A6*S6(IJ)
1380 SE(J,I)=SE(I,J)
1390 NEXT J
1400 BE(I)=F*DET*S8(I)/48#
1410 NEXT I
1420 FOR J=2 TO 8 STEP 3
1430 FOR I=1 TO 9
1440 H1=X21*SE(I,J)+X31*SE(I,J+1)
1450 SE(I,J+1)=Y21*SE(I,J)+Y31*SE(I,J+1)
1460 SE(I,J)=H1
1470 NEXT I
1480 NEXT J
1490 FOR I=2 TO 8 STEP 3
1500 FOR J=1 TO 9
1510 H1=X21*SE(I,J)+X31*SE(I+1,J)
1520 SE(I+1,J)=Y21*SE(I,J)+Y31*SE(I+1,J)
1530 SE(I,J)=H1
1540 NEXT J
1550 H1=X21*BE(I)+X31*BE(I+1)
1560 BE(I+1)=Y21*BE(I)+Y31*BE(I+1)
1570 BE(I)=H1
1580 NEXT I
1590 RETURN
1600 END
```

SE(1 , 1)= 2213469
SE(1 , 2)= 943860.1
SE(1 , 3)= 112116.4
SE(1 , 4)=-2046427
SE(1 , 5)= 1104640
SE(1 , 6)= 83183.31
SE(1 , 7)=-167042.5
SE(1 , 8)= 164969.7
SE(1 , 9)= 94017.91
SE(2 , 1)= 943860.1
SE(2 , 2)= 672393.6
SE(2 , 3)=-95841.92
SE(2 , 4)=-1223677
SE(2 , 5)= 276683.7
SE(2 , 6)=-88607.04
SE(2 , 7)= 279817
SE(2 , 8)=-5217.305
SE(2 , 9)=-300194
SE(3 , 1)= 112116.4
SE(3 , 2)=-95841.91
SE(3 , 3)= 335141.5
SE(3 , 4)= 318276.3
SE(3 , 5)= 144666.8
SE(3 , 6)= 50109.21
SE(3 , 7)=-430392.7
SE(3 , 8)= 63291.44
SE(3 , 9)= 360189.1
SE(4 , 1)=-2046427
SE(4 , 2)=-1223677
SE(4 , 3)= 318276.3
SE(4 , 4)= 3090554
SE(4 , 5)=-806037.3
SE(4 , 6)= 528065
SE(4 , 7)=-1044127
SE(4 , 8)=-16712.5
SE(4 , 9)= 962086.2

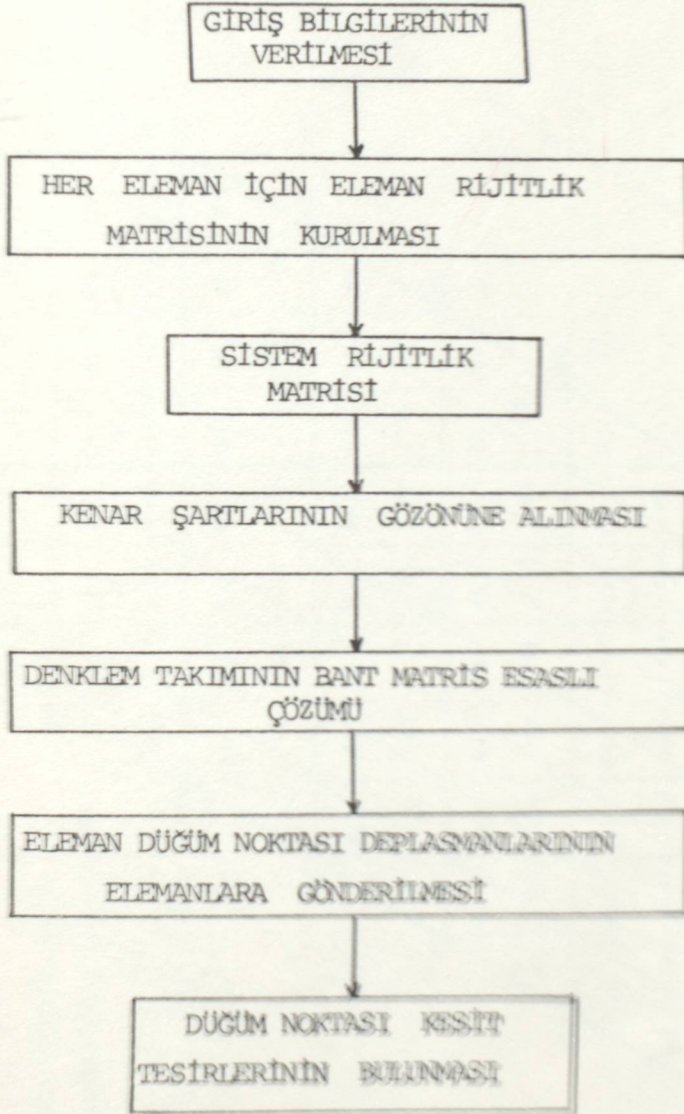
5.2.3 PROGRAM OUTPUT JAWAB

SE(5 , 1)= 1104640
SE(5 , 2)= 276683.7
SE(5 , 3)= 144666.8
SE(5 , 4)=-806037.3
SE(5 , 5)= 769489.3
SE(5 , 6)= 99456.11
SE(5 , 7)=-298602.2
SE(5 , 8)= 58466.57
SE(5 , 9)= 273056
SE(6 , 1)= 83183.31
SE(6 , 2)=-88607.04
SE(6 , 3)= 50109.21
SE(6 , 4)= 528065
SE(6 , 5)= 99456.1
SE(6 , 6)= 554410.8
SE(6 , 7)=-611248.3
SE(6 , 8)= 72334.24
SE(6 , 9)= 454161.7
SE(7 , 1)=-167042.5
SE(7 , 2)= 279817
SE(7 , 3)=-430392.7
SE(7 , 4)=-1044127
SE(7 , 5)=-298602.2
SE(7 , 6)=-611248.3
SE(7 , 7)= 1211170
SE(7 , 8)=-148257.3
SE(7 , 9)=-1056104
SE(8 , 1)= 164969.7
SE(8 , 2)=-5217.313
SE(8 , 3)= 63291.44
SE(8 , 4)=-16712.5
SE(8 , 5)= 58466.57
SE(8 , 6)= 72334.24
SE(8 , 7)=-148257.3
SE(8 , 8)= 111720.5
SE(8 , 9)= 121155.9
SE(9 , 1)= 94017.91
SE(9 , 2)=-300194
SE(9 , 3)= 360189.1
SE(9 , 4)= 962086.2
SE(9 , 5)= 273056
SE(9 , 6)= 454161.7
SE(9 , 7)=-1056104
SE(9 , 8)= 121155.9
SE(9 , 9)= 1014821

5.3. BİLGİSAYAR SONUÇLARI VE SONUÇLARA GÖRE ELDE EDİLEN
TESİR YÜKLEMLERİ

5.2.3 PROGRAM ÇALIŞMA ŞEMASI

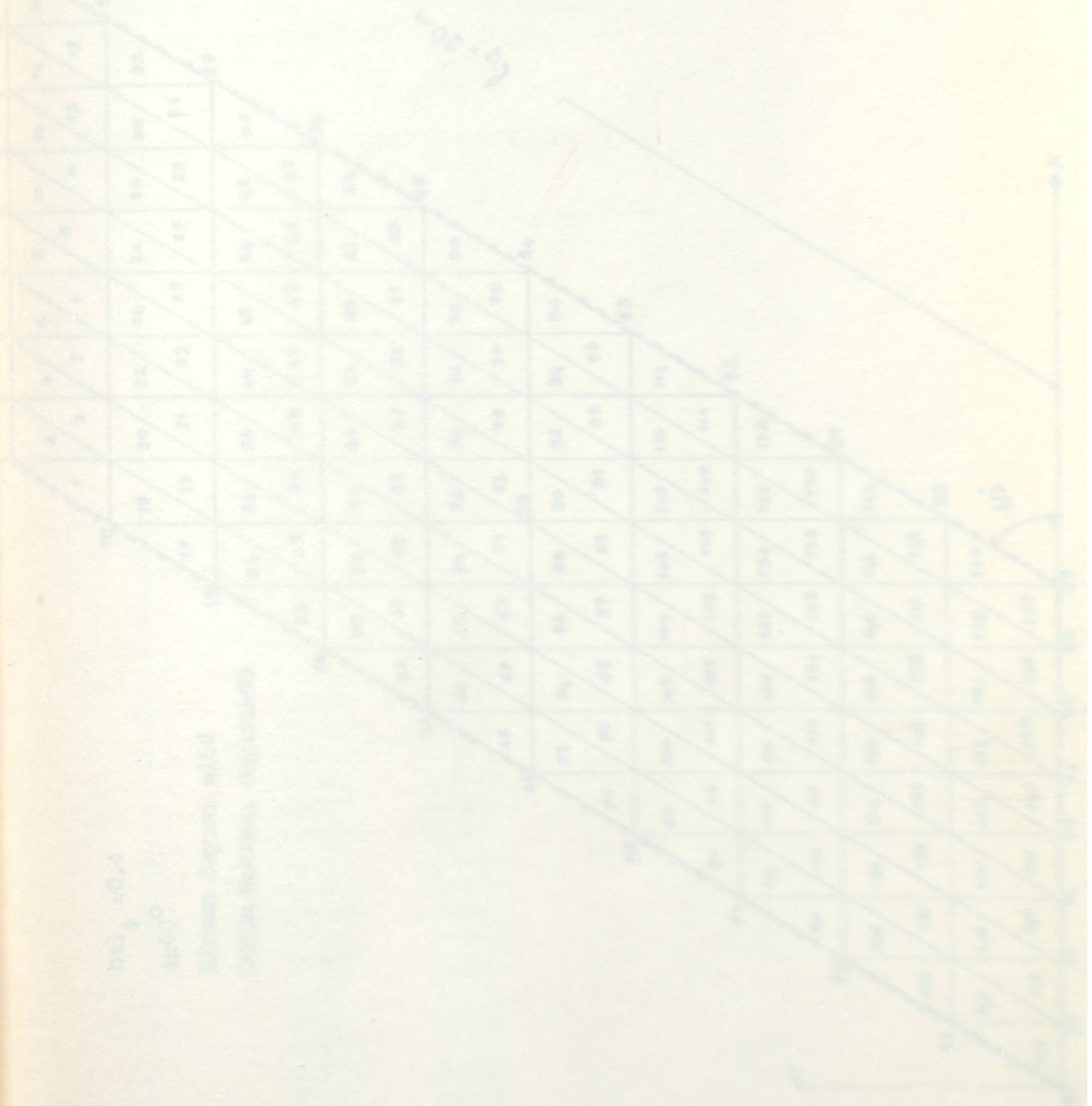
İçin elde edilen kesit kesirleri ve bunlara ait moment tesir
yükleri verilmiştir.



5.3. BİLGİSAYAR SONUÇLARI ve SONUÇLARA GÖRE ELDE EDİLEN TESİR YÜZEYLERİ

$$b:l_{\phi} = 0,4 \quad , \quad \phi = 60^{\circ} \quad \text{ve} \quad b:l_{\phi} = 1 \quad , \quad \phi = 60^{\circ}$$

için elde edilen kesit tesirleri ve bunlara ait moment tesir yüzeyleeri verilmiştir.



YAPI MEKANIKI VE STATIK İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSİTESİ

BÖLÜM: ---
SAYFA: 1

S. ELEMAN-PLAN HESABI (UCGEN)

ELEMANLARIN SAYISI : 160
DÜŞÜM NOKTASI SAYISI : 99
YERLEŞTİRİLMİŞ DÜŞÜM NOKTASI SAYISI : 18
MALZEME TİPLERİNİN SAYISI : 1

DÜŞÜM NOKTASI KOORDİNATLARI

DÜŞÜM NOKTASI	X	Y
1	10.0000	17.3205
2	11.0000	17.3205
3	12.0000	17.3205
4	13.0000	17.3205
5	14.0000	17.3205
6	15.0000	17.3205
7	16.0000	17.3205
8	17.0000	17.3205
9	18.0000	17.3205
10	9.0000	15.5885
11	10.0000	15.5885
12	11.0000	15.5885
13	12.0000	15.5885
14	13.0000	15.5885
15	14.0000	15.5885
16	15.0000	15.5885
17	16.0000	15.5885
18	17.0000	15.5885
19	8.0000	13.8564
20	9.0000	13.8564
21	10.0000	13.8564
22	11.0000	13.8564
23	12.0000	13.8564
24	13.0000	13.8564
25	14.0000	13.8564
26	15.0000	13.8564
27	16.0000	13.8564
28	7.0000	12.1244
29	8.0000	12.1244
30	9.0000	12.1244
31	10.0000	12.1244
32	11.0000	12.1244
33	12.0000	12.1244
34	13.0000	12.1244
35	14.0000	12.1244

YAPI MEKANIKI VE STATIKI ICIN PROGRAMLAR

TULAZ YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM:
SAYFA: 2

36	15.0000	12.1204
37	6.0000	10.3923
38	7.0000	10.3923
39	8.0000	10.3923
40	9.0000	10.3923
41	10.0000	10.3923
42	11.0000	10.3923
43	12.0000	10.3923
44	13.0000	10.3923
45	14.0000	10.3923
46	5.0000	8.6603
47	6.0000	8.6603
48	7.0000	8.6603
49	8.0000	8.6603
50	9.0000	8.6603
51	10.0000	8.6603
52	11.0000	8.6603
53	12.0000	8.6603
54	13.0000	8.6603
55	4.0000	6.9282
56	5.0000	6.9282
57	6.0000	6.9282
58	7.0000	6.9282
59	8.0000	6.9282
60	9.0000	6.9282
61	10.0000	6.9282
62	11.0000	6.9282
63	12.0000	6.9282
64	3.0000	5.1962
65	4.0000	5.1962
66	5.0000	5.1962
67	6.0000	5.1962
68	7.0000	5.1962
69	8.0000	5.1962
70	9.0000	5.1962
71	10.0000	5.1962
72	11.0000	5.1962
73	2.0000	3.4641
74	3.0000	3.4641
75	4.0000	3.4641
76	5.0000	3.4641
77	6.0000	3.4641
78	7.0000	3.4641
79	8.0000	3.4641
80	9.0000	3.4641
81	10.0000	3.4641
82	1.0000	1.7321
83	2.0000	1.7321

YAPI MEKANIKI VE STATIKI ICIN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM: 3
SAYFA: 3

84	3.0000	1.7321
85	4.0000	1.7321
86	5.0000	1.7321
87	6.0000	1.7321
88	7.0000	1.7321
89	8.0000	1.7321
90	9.0000	1.7321
91	0.0000	0.0000
92	1.0000	0.0000
93	2.0000	0.0000
94	3.0000	0.0000
95	4.0000	0.0000
96	5.0000	0.0000
97	6.0000	0.0000
98	7.0000	0.0000
99	8.0000	0.0000

DUGUM NOKTASI NUMARALARI

ELEMAN--1.DUGUM NOKTASI--2.DUGUM NOKTASI--3.DUGUM NOKTASI--TIP

1	1	10	11	1
2	1	11	2	1
3	2	11	12	1
4	2	12	3	1
5	3	12	13	1
6	3	13	4	1
7	4	13	14	1
8	4	14	5	1
9	5	14	15	1
10	5	15	6	1
11	6	15	16	1
12	6	16	7	1
13	7	16	17	1
14	7	17	8	1
15	8	17	18	1
16	8	18	9	1
17	10	19	20	1
18	10	20	11	1
19	11	20	21	1
20	11	21	12	1
21	12	21	22	1
22	12	22	13	1
23	13	22	23	1
24	13	23	14	1
25	14	23	24	1
26	14	24	15	1

YAPI MEKANIKI VE STATIKI ICIN PROGRAMLAR
TULAY-YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM: 4
SAYFA: 4

27	15	24	25	1
28	15	25	16	1
29	16	25	23	1
30	16	26	17	1
31	17	26	27	1
32	17	27	18	1
33	19	28	29	1
34	19	29	20	1
35	20	29	30	1
36	20	30	21	1
37	21	30	31	1
38	21	31	22	1
39	22	31	32	1
40	22	32	23	1
41	23	32	33	1
42	23	33	24	1
43	24	33	34	1
44	24	34	25	1
45	25	34	35	1
46	25	35	26	1
47	26	35	36	1
48	26	35	27	1
49	28	37	38	1
50	28	38	29	1
51	29	38	39	1
52	29	39	30	1
53	30	39	40	1
54	30	40	31	1
55	31	40	41	1
56	31	41	32	1
57	32	41	42	1
58	32	42	33	1
59	33	42	43	1
60	33	43	34	1
61	34	43	44	1
62	34	44	35	1
63	35	44	45	1
64	35	45	36	1
65	37	46	47	1
66	37	47	38	1
67	38	47	48	1
68	38	48	39	1
69	37	48	49	1
70	39	49	40	1
71	40	49	50	1
72	40	50	41	1
73	41	50	51	1
74	41	51	42	1

YAPI MEKANIGI VE STATIGI ICIN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM: 5
SAYFA: 5

75	42	51	52	1
76	42	52	43	1
77	43	52	53	1
78	43	53	44	1
79	44	53	54	1
80	44	54	45	1
81	46	55	56	1
82	46	56	47	1
83	47	56	57	1
84	47	57	48	1
85	48	57	58	1
86	48	58	49	1
87	49	58	59	1
88	49	59	50	1
89	50	59	60	1
90	50	60	51	1
91	51	60	61	1
92	51	61	52	1
93	52	61	62	1
94	52	62	53	1
95	53	62	63	1
96	53	63	54	1
97	55	64	65	1
98	55	65	56	1
99	56	65	66	1
100	56	66	57	1
101	57	66	67	1
102	57	67	58	1
103	58	67	68	1
104	58	68	59	1
105	59	68	69	1
106	59	69	60	1
107	60	69	70	1
108	60	70	61	1
109	61	70	71	1
110	61	71	62	1
111	62	71	72	1
112	62	72	63	1
113	64	73	74	1
114	64	74	65	1
115	65	74	75	1
116	65	75	66	1
117	66	75	76	1
118	66	76	67	1
119	67	76	77	1
120	67	77	68	1
121	68	77	78	1
122	68	78	69	1

YAPI MEKANIGI VE STATIGI ICIN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM:
SAYFA: 6

123	69	76	79	1
124	69	77	70	1
125	70	79	80	1
126	70	80	71	1
127	71	80	81	1
128	71	81	72	1
129	73	82	83	1
130	73	83	74	1
131	74	83	84	1
132	74	84	75	1
133	75	84	85	1
134	75	85	76	1
135	76	85	86	1
136	76	86	77	1
137	77	86	87	1
138	77	87	78	1
139	78	87	88	1
140	78	88	79	1
141	79	88	89	1
142	79	89	80	1
143	80	89	90	1
144	80	90	81	1
145	82	91	92	1
146	82	92	83	1
147	83	92	93	1
148	83	93	84	1
149	84	93	94	1
150	84	94	85	1
151	85	94	95	1
152	85	95	86	1
153	86	95	96	1
154	86	96	87	1
155	87	96	97	1
156	87	97	88	1
157	88	97	98	1
158	88	98	89	1
159	89	98	99	1
160	89	99	90	1

MALZEME BILGILERI

TIP	E-MODUL	POISSON ORANI	KALINLIK
1	0.100E+08	0.2000	0.5000

SINIR SARTLARI

YAPI MEKANİĞİ VE STATİĞİ İÇİN PROGRAMLAR
TULAY-YILDIZ UNIVERSİTESİ

BÖLÜM: 7
SAYFA: 7

DUGUM NOKTASI	W TUTULU	W,x TUTULU	W,y TUTULU
1	J	J	H
2	J	J	H
3	J	J	H
4	J	J	H
5	J	J	H
6	J	J	H
7	J	J	H
8	J	J	H
9	J	J	H
91	J	J	H
92	J	J	H
93	J	J	H
94	J	J	H
95	J	J	H
96	J	J	H
97	J	J	H
98	J	J	H
99	J	J	H

YUK VERİLERİ

DUGUM NOKTASI	P	MX	MY
50	25.1300	0.0000	0.0000

DUGUM NOKTASI ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİ

DUGUM NOKTASI	W	W,x	W,y
1	0.0000	0.0000	-0.0002
2	0.0000	0.0000	-0.0002
3	0.0000	0.0000	-0.0002
4	0.0000	0.0000	-0.0002
5	0.0000	0.0000	-0.0002
6	0.0000	0.0000	-0.0002
7	0.0000	0.0000	-0.0002
8	0.0000	0.0000	-0.0002
9	0.0000	0.0000	-0.0001
10	0.0004	-0.0000	-0.0001
11	0.0004	-0.0000	-0.0002
12	0.0004	-0.0000	-0.0002
13	0.0004	-0.0000	-0.0002
14	0.0003	-0.0000	-0.0002

YAPI MEKANİĞİ VE STATİĞİ İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSİTESİ

BÖLÜM: 8
SAYFA: 8

15	0.0003	-0.0000	-0.0002
16	0.0003	-0.0000	-0.0002
17	0.0003	-0.0000	-0.0002
18	0.0003	-0.0000	-0.0002
19	0.0003	-0.0001	-0.0002
20	0.0002	-0.0000	-0.0002
21	0.0007	-0.0000	-0.0002
22	0.0007	-0.0000	-0.0002
23	0.0007	-0.0000	-0.0002
24	0.0007	-0.0000	-0.0002
25	0.0007	-0.0000	-0.0002
26	0.0006	-0.0000	-0.0002
27	0.0005	-0.0000	-0.0002
28	0.0011	-0.0000	-0.0001
29	0.0011	-0.0000	-0.0001
30	0.0010	-0.0000	-0.0001
31	0.0010	-0.0000	-0.0001
32	0.0010	-0.0000	-0.0001
33	0.0010	-0.0000	-0.0001
34	0.0007	-0.0000	-0.0001
35	0.0007	-0.0000	-0.0001
36	0.0007	-0.0000	-0.0002
37	0.0013	-0.0000	-0.0000
38	0.0013	-0.0000	-0.0000
39	0.0012	-0.0000	-0.0001
40	0.0012	-0.0000	-0.0001
41	0.0012	-0.0000	-0.0001
42	0.0012	-0.0000	-0.0001
43	0.0012	-0.0000	-0.0001
44	0.0012	-0.0000	-0.0001
45	0.0012	-0.0000	-0.0001
46	0.0013	-0.0000	0.0000
47	0.0013	-0.0000	0.0000
48	0.0013	0.0000	0.0000
49	0.0013	0.0000	0.0000
50	0.0013	-0.0000	-0.0000
51	0.0013	-0.0000	-0.0000
52	0.0013	-0.0000	-0.0000
53	0.0013	0.0000	-0.0000
54	0.0013	0.0000	-0.0000
55	0.0012	0.0000	0.0001
56	0.0012	0.0000	0.0001
57	0.0012	0.0000	0.0001
58	0.0012	0.0000	0.0001
59	0.0012	0.0000	0.0001
60	0.0012	0.0000	0.0001
61	0.0012	0.0000	0.0001
62	0.0012	0.0000	0.0000

YAPI MEKANIKI VE STATISI İCİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNİVERSİTESİ

BÖLÜM:
SAYFA: 9

63	0.0013	0.0000	0.0000
64	0.0009	0.0000	0.0002
65	0.0009	0.0000	0.0001
66	0.0009	0.0000	0.0001
67	0.0010	0.0000	0.0001
68	0.0010	0.0000	0.0001
69	0.0010	0.0000	0.0001
70	0.0010	0.0000	0.0001
71	0.0011	0.0000	0.0001
72	0.0011	0.0000	0.0001
73	0.0006	0.0000	0.0002
74	0.0006	0.0000	0.0002
75	0.0007	0.0000	0.0002
76	0.0007	0.0000	0.0002
77	0.0007	0.0000	0.0002
78	0.0007	0.0000	0.0002
79	0.0007	0.0000	0.0002
80	0.0002	0.0000	0.0002
81	0.0008	0.0001	0.0002
82	0.0003	0.0000	0.0002
83	0.0003	0.0000	0.0002
84	0.0003	0.0000	0.0002
85	0.0003	0.0000	0.0002
86	0.0003	0.0000	0.0002
87	0.0004	0.0000	0.0002
88	0.0004	0.0000	0.0002
89	0.0004	0.0000	0.0002
90	0.0004	0.0000	0.0002
91	0.0006	0.0000	0.0002
92	0.0000	0.0000	0.0002
93	0.0000	0.0000	0.0002
94	0.0000	0.0000	0.0002
95	0.0000	0.0000	0.0002
96	0.0000	0.0000	0.0002
97	0.0000	0.0000	0.0002
98	0.0000	0.0000	0.0002
99	0.0000	0.0000	0.0002

DUGUM NOKTASI MOMENTLERİ

DUGUM NOKTASI	KX	KY	KZY
1	-1.0433	3.1706	5.1958
2	0.1244	3.3256	3.2551
3	0.0070	1.7024	2.1927
4	-0.0221	1.3293	1.3820
5	-0.0244	1.0155	1.2118

YAPI MEKANIKI VE STATIKI İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSITESI

BOLUM: 10
SAYFA: 10

6	-0.0234	0.6710	0.4517
7	-0.0131	0.7440	0.6313
8	-0.0082	0.5915	0.4528
9	0.1120	0.5600	0.0792
10	-3.1424	5.7625	0.4927
11	-2.5795	4.3515	2.3654
12	-1.4321	3.2174	2.1112
13	-0.4000	2.8155	1.8542
14	-0.3249	2.3949	1.2207
15	-0.2467	2.0100	0.9052
16	-0.2515	1.0461	0.6591
17	-0.3507	1.3011	0.6792
18	-0.4457	0.7199	0.1204
19	-1.4847	8.7711	-1.4101
20	-1.4509	7.9772	-0.3658
21	-1.0628	4.7818	-0.6197
22	-0.2250	5.9237	0.4267
23	-3.5762	3.1039	0.5475
24	-0.3017	4.4728	0.4210
25	-0.3465	3.8120	-0.2159
26	-0.4539	3.2732	0.0552
27	-0.5178	2.2889	-0.2045
28	0.0850	11.1445	-3.4872
29	0.0786	10.4990	-2.4327
30	0.2324	9.5399	-1.7405
31	0.2335	3.7951	-1.1475
32	0.1047	8.0924	-0.8117
33	-0.0518	7.4217	-0.6573
34	-0.1942	6.6244	-0.6929
35	-0.3547	5.8931	-0.7572
36	-0.4078	4.3741	-0.3625
37	0.6563	11.7217	-4.0819
38	0.9195	12.2838	-3.9224
39	1.9010	12.1922	-3.8259
40	2.6049	11.7561	-2.9311
41	1.6862	11.4062	-1.8217
42	0.8599	10.8749	-1.4039
43	0.3159	9.2627	-1.7835
44	-0.0318	8.8805	-1.8716
45	-0.1062	7.3523	-2.0444
46	0.3345	10.1005	-3.2742
47	0.4004	11.1913	-3.1221
48	0.8362	12.1514	-3.1217
49	2.4679	10.6777	-3.1105
50	7.6075	18.1170	-2.5000
51	2.4171	13.0772	-3.1053
52	0.9872	12.1503	-3.1202
53	0.3793	11.0894	-3.1201

YAPI MEKANIKI VE STATİK İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSİTESİ

BÖLÜM: 11
SAYFA: 11

54	0.3317	10.0972	-3.2718
55	-0.1045	7.3525	-2.0453
56	-0.0815	8.0812	-1.0784
57	0.3180	9.5346	-1.7051
58	0.8722	10.9772	-1.0054
59	1.6385	11.1099	-1.6651
60	2.6071	11.7585	-2.9319
61	1.5026	12.1974	-3.8265
62	0.9182	12.2579	-3.9275
63	0.6579	11.7208	-4.0339
64	-0.4077	4.5732	-0.9666
65	-0.3543	5.3923	-0.7575
66	-0.1938	6.6241	-0.6935
67	-0.0510	7.4219	-0.6581
68	0.1059	8.0930	-0.6128
69	0.2405	8.7952	-1.1468
70	0.2351	9.5400	-1.7423
71	0.3062	10.4596	-2.4343
72	0.9852	11.1446	-3.4683
73	-0.5179	2.2821	-0.2046
74	-0.4530	3.2728	0.0550
75	-0.3467	3.9410	0.2151
76	-0.3916	4.4759	0.4333
77	-0.5782	5.1050	0.5448
78	-0.8242	5.9221	0.4359
79	-1.0612	4.7812	-0.0208
80	-1.4547	7.9772	-0.3668
81	-1.1834	8.7714	-1.4113
82	-0.4456	0.7193	0.1852
83	-0.3505	1.0034	0.4793
84	-0.2515	1.6392	0.6926
85	-0.2448	2.0090	0.9850
86	-0.3251	2.3938	1.2833
87	-0.1903	2.8142	1.4539
88	-1.4320	3.2163	2.1103
89	-2.5701	4.3505	2.0256
90	-3.1420	5.7613	0.4922
91	0.1119	0.5596	0.0799
92	-0.6081	0.5912	0.4021
93	-0.0131	0.7435	0.6510
94	-0.0234	0.8761	0.9513
95	-0.0243	1.0451	1.2113
96	-0.0221	1.3288	1.5813
97	0.0070	1.9319	2.1931
98	0.1214	2.3248	3.2543
99	-1.0455	2.1760	5.1924

YAPI MEKANİĞİ VE STATİĞİ İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

BÖLÜM:

SAYFA:

KESME KUVVETLERİ

DÜŞÜN NOHTASI	GX	GY
1	-2.2701	-0.6184
2	0.1504	1.4152
3	-0.2039	0.7430
4	-0.1100	0.1417
5	-0.1310	0.0010
6	-0.1268	0.0502
7	-0.2377	0.1480
8	-0.1515	0.2553
9	-0.0315	0.4970
10	-2.7117	-2.2221
11	-0.6426	-0.1743
12	-0.0649	0.2190
13	-0.3387	0.1415
14	-0.4742	0.1044
15	-0.4055	0.1001
16	-0.6224	0.1430
17	-0.5947	0.2830
18	-0.3607	0.5175
19	-2.2223	-2.1491
20	-1.0749	-0.9503
21	-0.6301	-0.4373
22	-0.6594	-0.4153
23	-0.0571	-0.1232
24	-0.0564	0.0334
25	-1.0356	0.1512
26	-0.5274	0.2504
27	-0.6712	0.4350
28	-1.5015	-1.7993
29	-0.7140	-1.1700
30	-0.4118	-1.2521
31	-1.1432	-0.9749
32	-1.3572	-0.6246
33	-1.3514	-0.2474
34	-1.4484	0.0039
35	-1.2542	0.1801
36	-0.7702	0.7051
37	-0.4274	-1.1425
38	0.6191	-0.4140
39	1.3940	-1.2955
40	1.0357	-2.0118
41	-2.8720	-1.5691
42	-2.2918	-0.2744
43	-2.0130	0.1353
44	-1.1409	0.1850

YAPI MEKANIKI VE STATIKI İÇİN PROGRAMLAR

TULAY-YILDIZ UNIVERSİTESİ

BÖLÜM
SAYFA

45	-0.7433	0.0418
46	0.4154	-0.9679
47	1.2453	-0.2533
48	2.2274	-0.4097
49	4.0071	-0.5964
50	-0.0009	-0.0012
51	-4.0023	0.5916
52	-2.2873	0.4089
53	-1.2443	0.2524
54	-0.4142	0.9684
55	0.7441	-0.8405
56	1.4475	-0.1838
57	2.0124	-0.1339
58	2.2422	0.2762
59	2.6717	1.3923
60	-1.0810	2.6114
61	-1.3982	1.2937
62	-0.6210	0.6141
63	0.4283	1.1411
64	0.7711	-0.7352
65	1.2544	-0.1833
66	1.4506	-0.0042
67	1.3577	0.2573
68	1.3584	0.6233
69	1.1458	0.9780
70	0.4117	1.2526
71	0.7123	1.1700
72	1.5900	1.7983
73	0.6719	-0.6249
74	0.9271	-0.2505
75	1.0896	-0.1512
76	0.8970	-0.0833
77	0.8549	0.1239
78	0.9994	0.4183
79	0.6762	0.8877
80	1.0752	0.9904
81	2.0213	2.1650
82	0.3106	-0.5173
83	0.0247	-0.2823
84	0.6220	-0.1478
85	0.4457	-0.1003
86	0.4741	-0.1046
87	0.3324	-0.1417
88	0.0654	-0.2689
89	0.6429	0.1763
90	2.7167	2.2200
91	0.6017	-0.1370
92	0.1810	-0.2353

YAPI MEKANIKI VE STATİSTİK İÇİN PROGRAMLAR

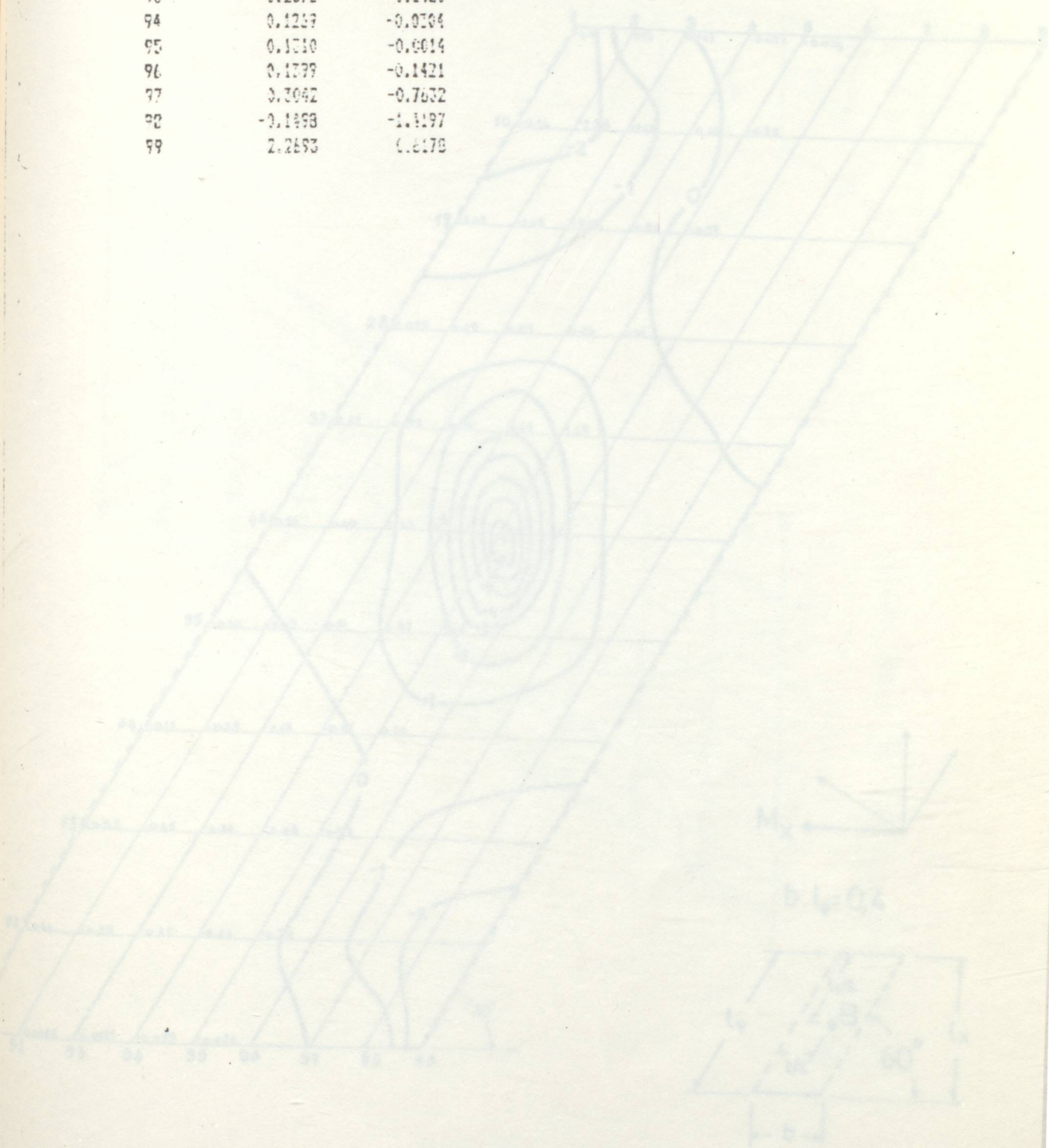
TULAY-YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

BÖLÜM:

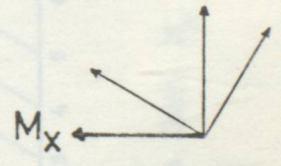
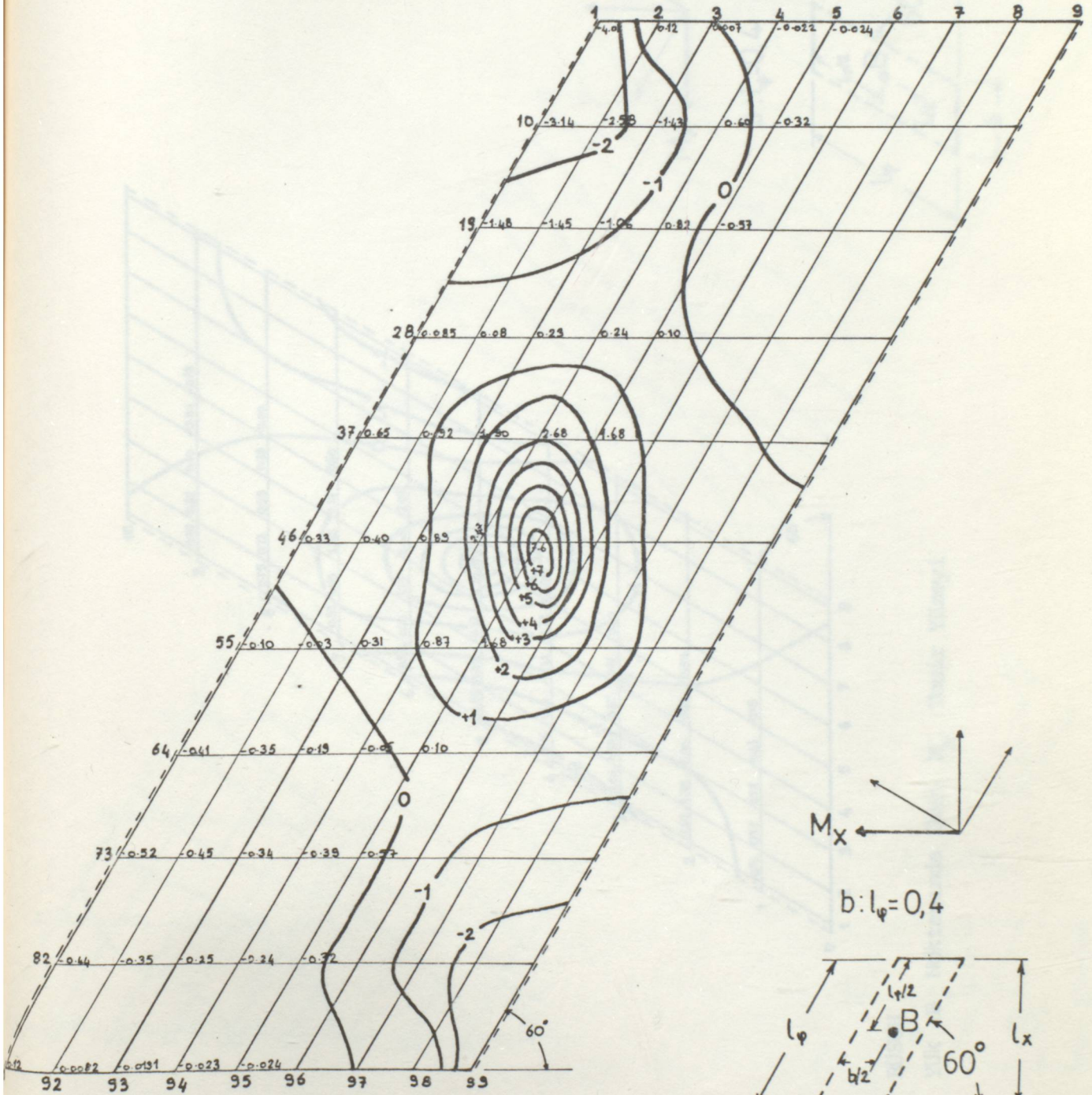
SAYFA: 14

YÜK DİREKSİYONUNA İZLENEN M_x İZİR YÜZEYİ

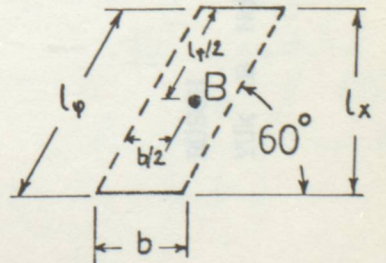
93	0.2374	-0.1480
94	0.1257	-0.0104
95	0.1510	-0.0014
96	0.1779	-0.1421
97	0.3042	-0.7632
98	-0.1468	-1.1197
99	2.2693	0.8178

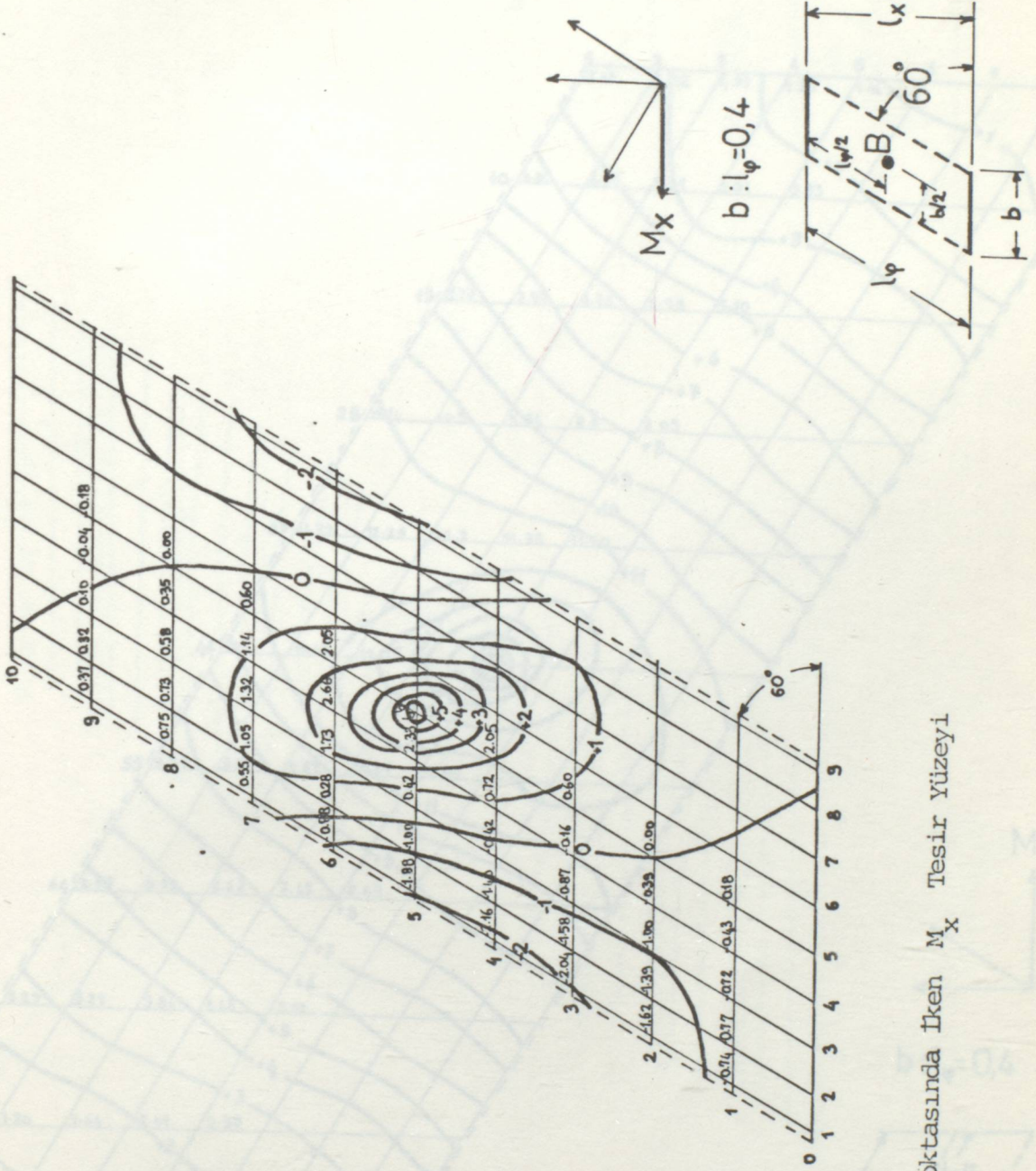


YÜK B NOKTASINDA İKEN M_x TESİR YÜZEYİ



$b : l_\varphi = 0,4$

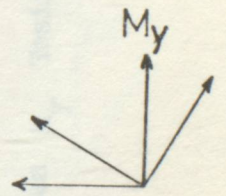
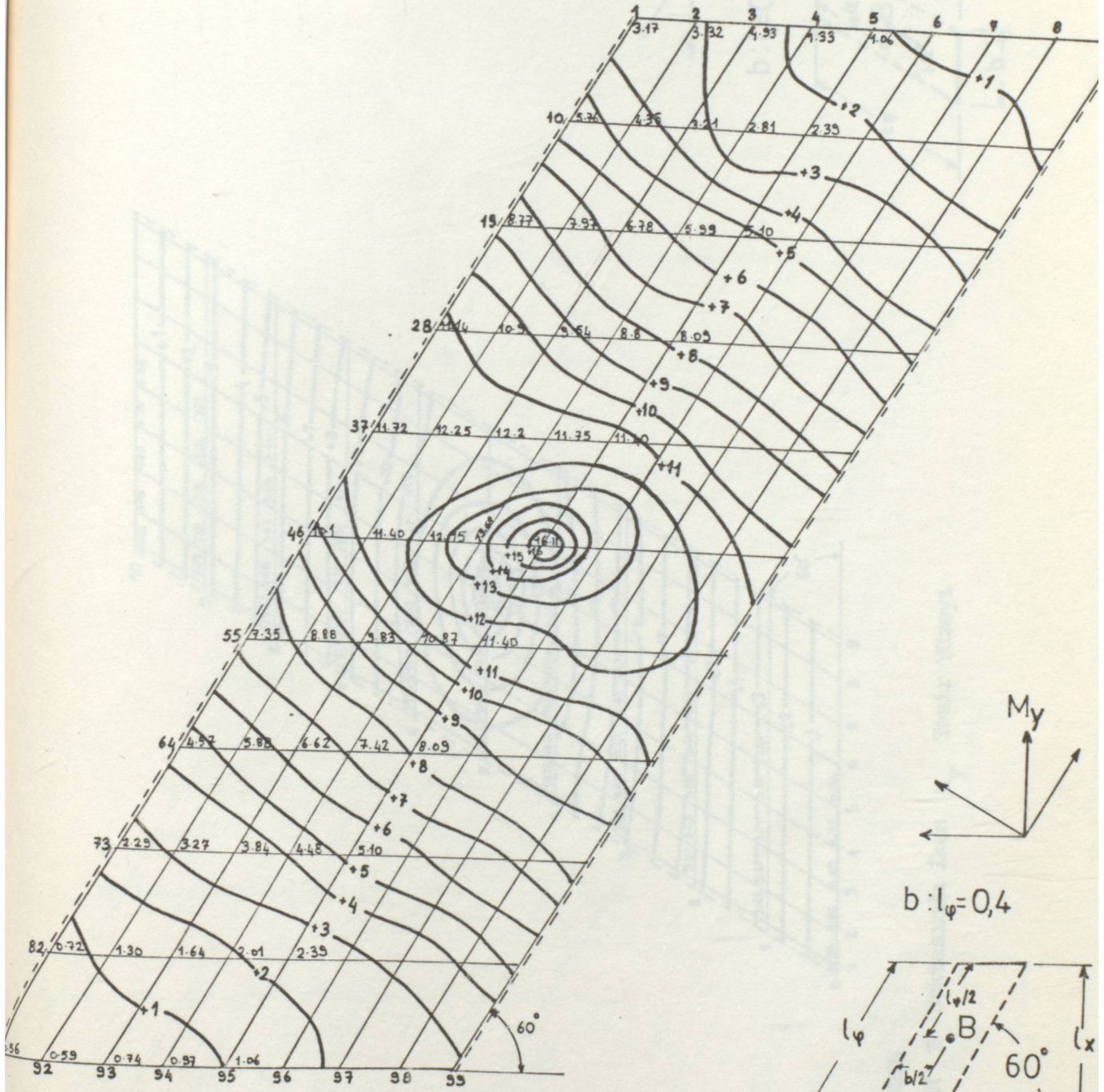




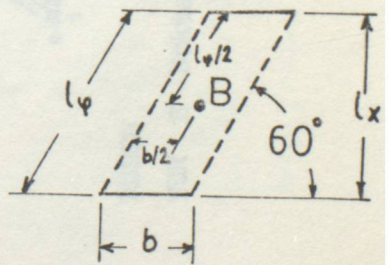
RÜSCH

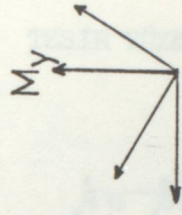
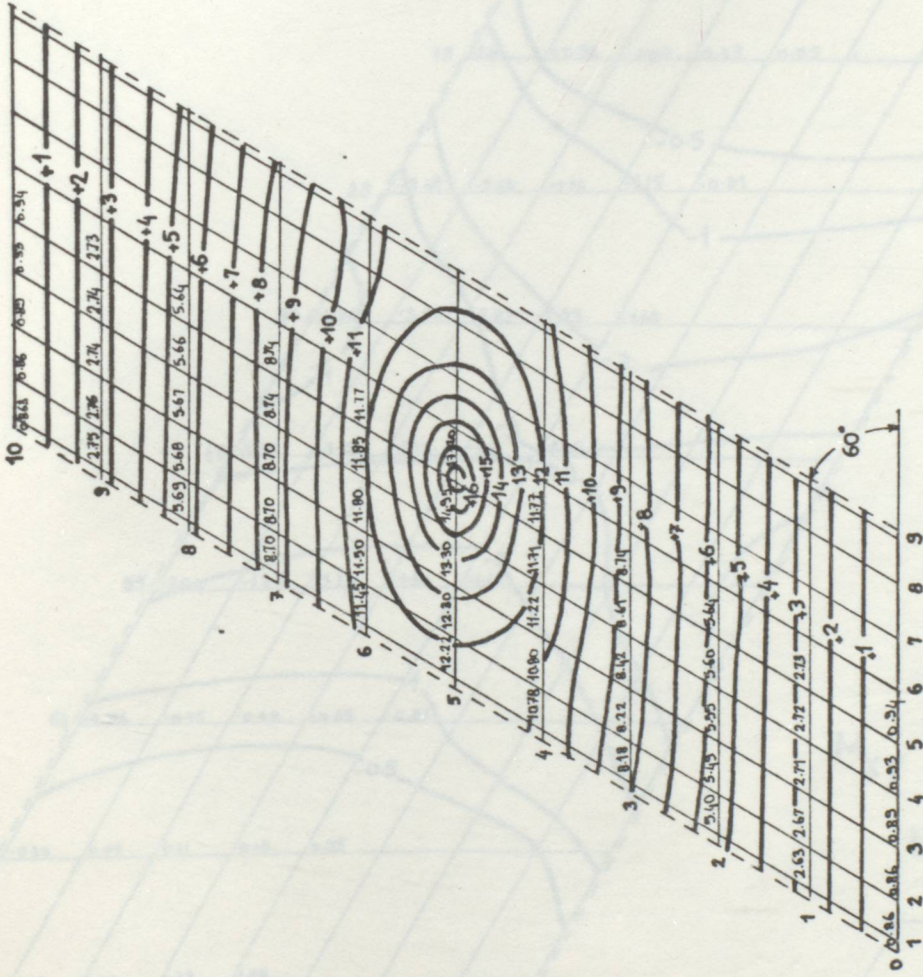
Yük B Noktasında İken M_x Tesir Yüzeyi

YÜK B NOKTASINDA İKEN M_y TESİR YÜZEYİ

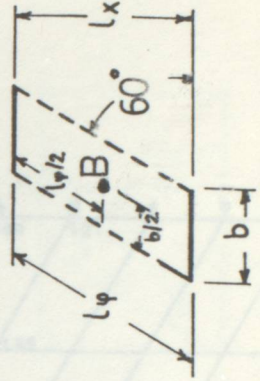


$b:l_\varphi=0,4$





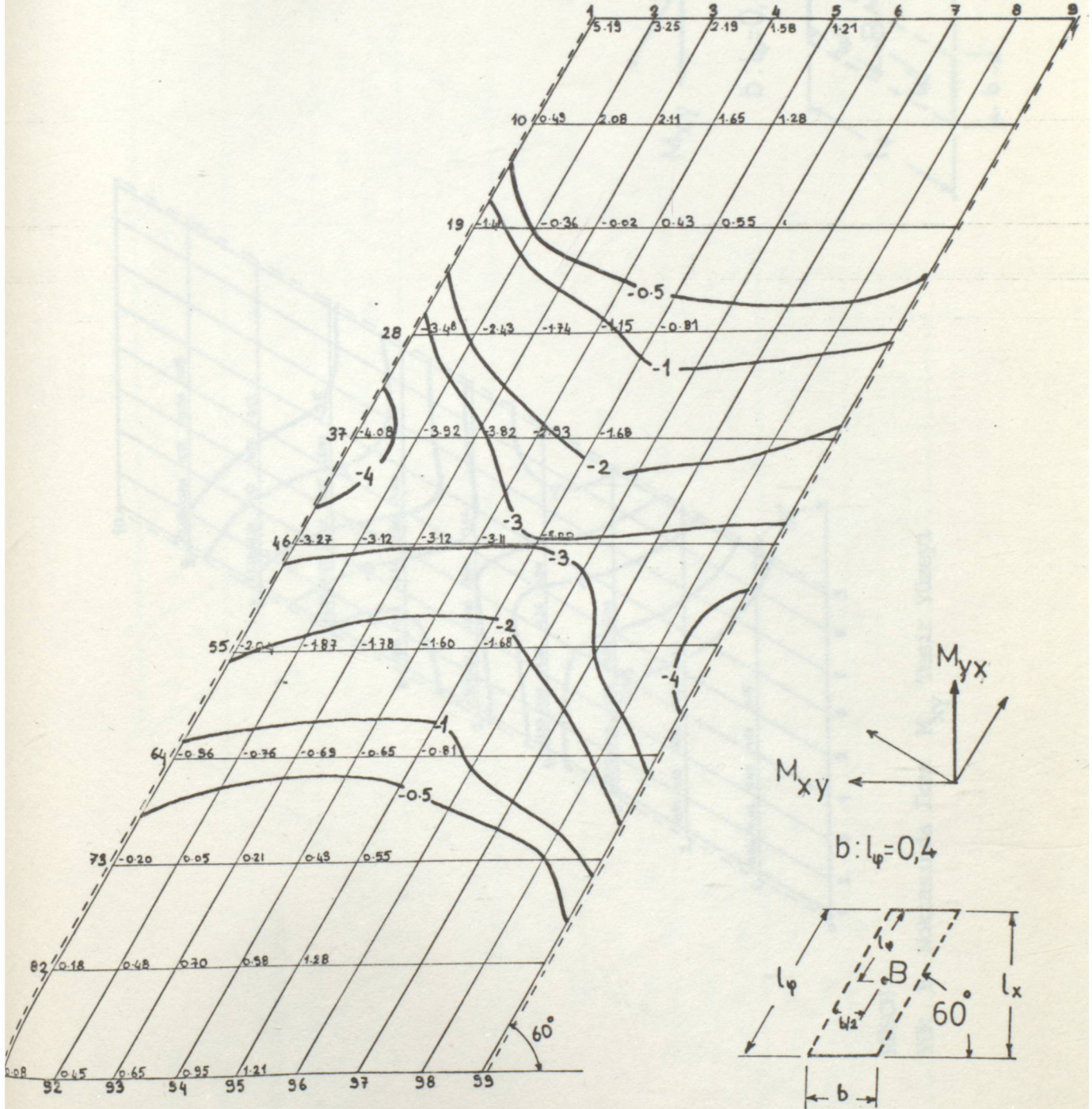
$b : l_\varphi = 0,4$

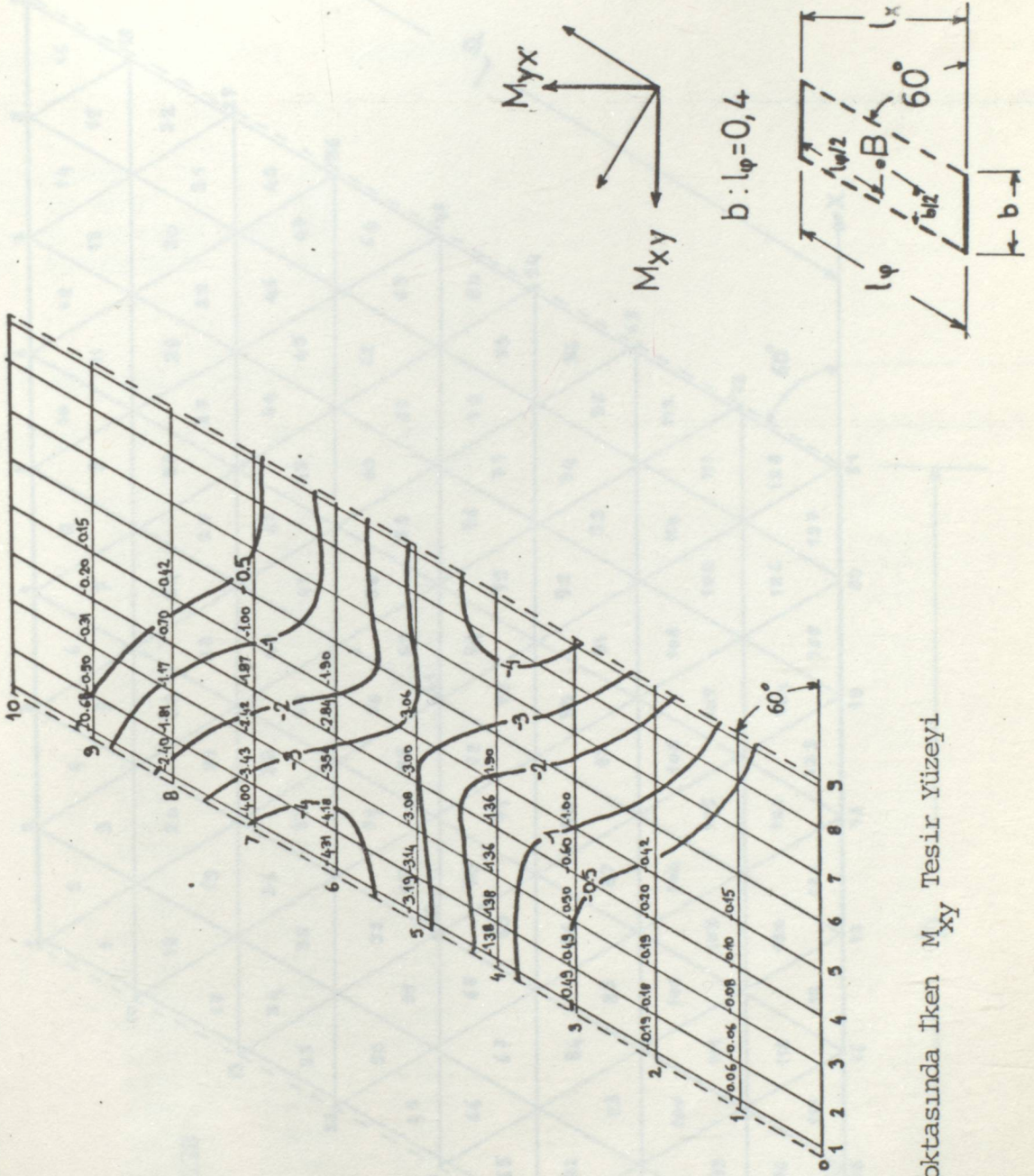


RÜSCH

Yük B Noktasında İken M_y Tesir Yüzeyi

YÜK B NOKTASINDA İKEN M_{xy} TESİR YÜZEYİ

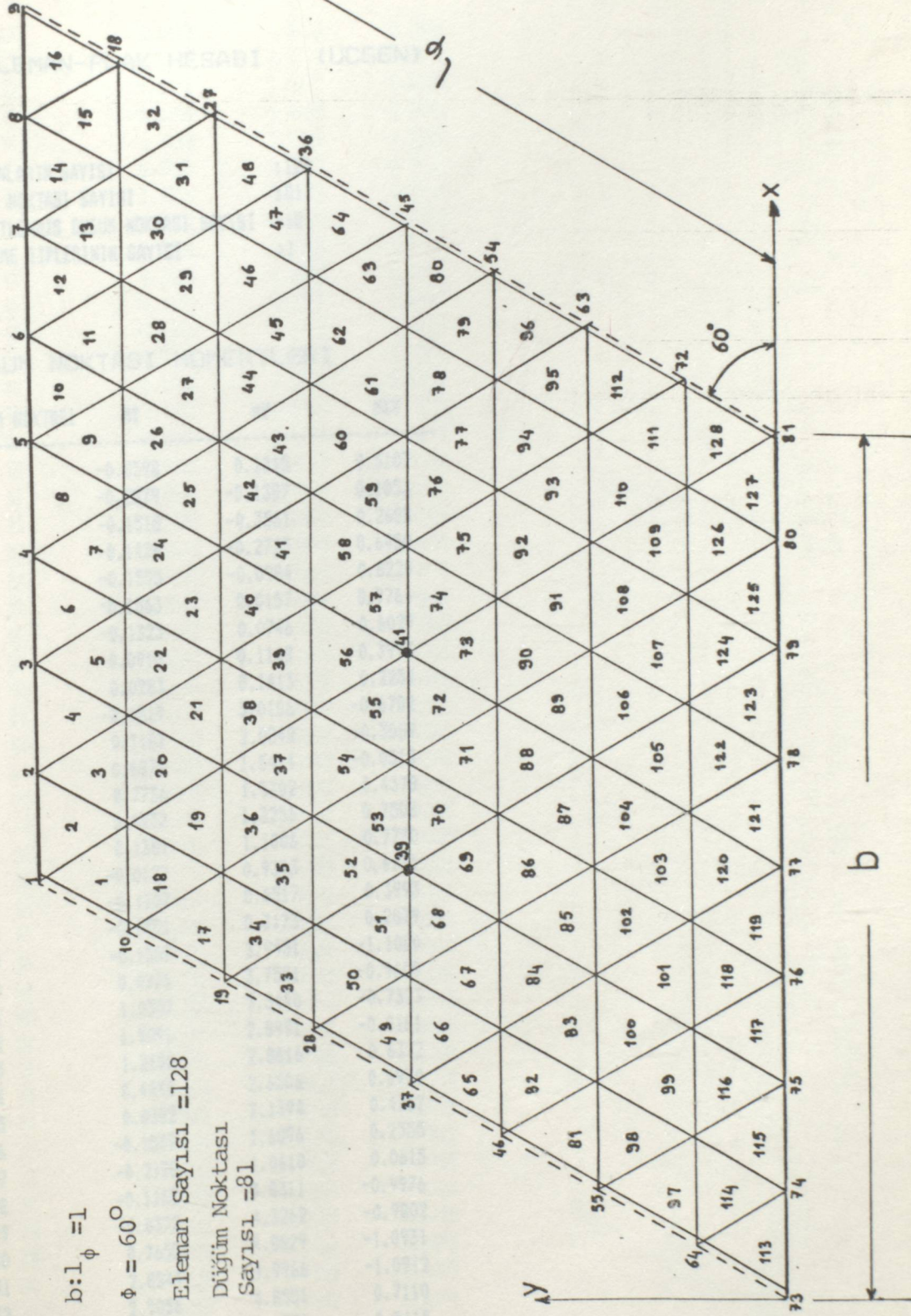




RÜSCH
Yük B Noktasında İken M_{xy} Tesir Yüzeyi

YAPILARIN STATİK VE DİNAMİK İÇİN PROGRAMLAR
TULAZI YILDIZ YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

BÖLÜM 1
BAYPAZ 1



$b:l_{\phi} = 1$
 $\phi = 60^{\circ}$
Eleman Sayısı = 128
Düğüm Noktası Sayısı = 81

AY

b

YAPI MEKANIGI VE STATIGI ICIN PROGRAMLAR

BOLUM: TU41

TULAY AKSU-YILDIZ UNIVERSITESI

SAYFA: 1

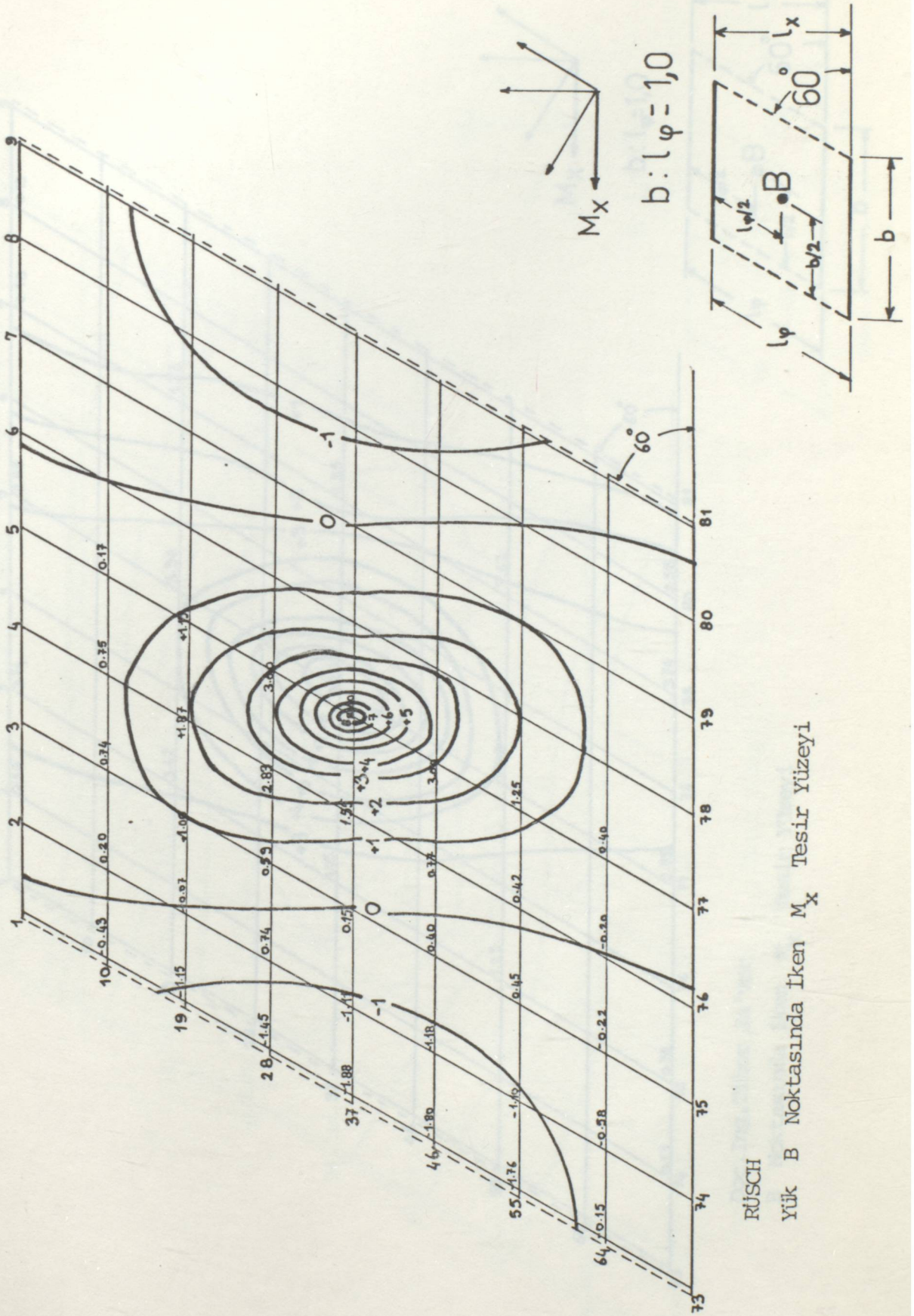
S.ELEMAN-FLAK HESABI (UCGEN)

ELEMANLARIN SAYISI :128
DUGUM NOKTASI SAYISI :81
MESNETLENMIS DUGUM NOKTASI SAYISI :18
MALZEME TIPLERININ SAYISI :1

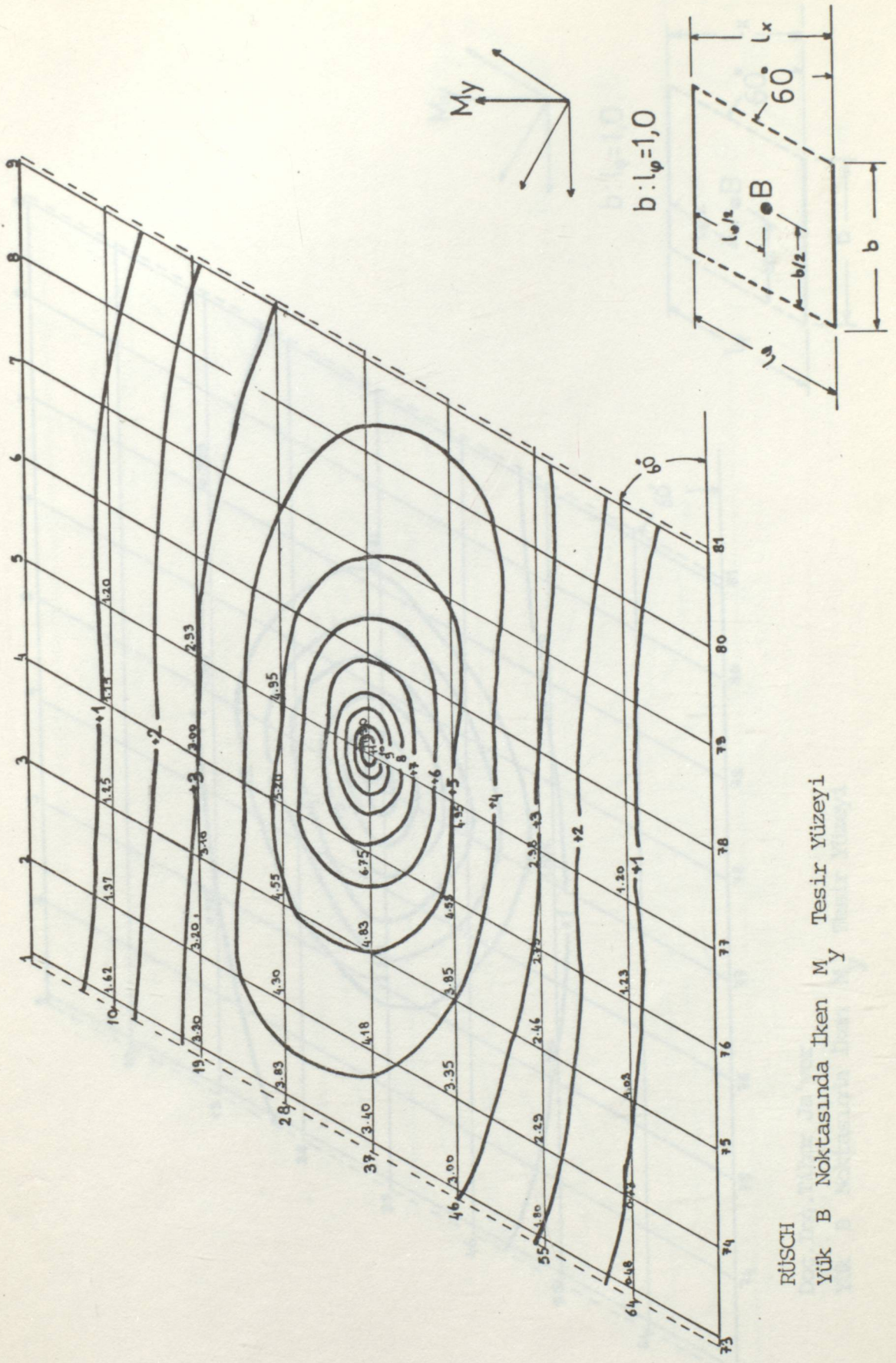
DUGUM NOKTASI MOMENTLERI

DUGUM NOKTASI	MX	MY	MXV
1	-0.8598	0.1315	0.5107
2	-0.2579	-0.1387	0.1053
3	-0.1518	-0.3561	0.2688
4	-0.1428	-0.2723	0.6450
5	-0.1595	-0.0984	0.8220
6	-0.1563	0.0157	0.7764
7	-0.1323	0.0746	0.6029
8	-0.0910	0.1108	0.3993
9	0.0283	0.1413	0.2239
10	-0.4519	3.0186	-0.6702
11	0.1187	2.0848	-0.3089
12	0.6876	1.5414	-0.0513
13	0.7736	1.3702	0.4378
14	0.4232	1.3256	0.7508
15	0.1381	1.1806	0.7730
16	-0.0179	0.9393	0.6131
17	-0.1107	0.6517	0.3993
18	-0.1451	0.3173	0.2079
19	-0.1557	3.9451	-1.1080
20	0.0776	3.7591	-0.9609
21	1.0387	3.3440	-0.7323
22	1.9091	2.8991	-0.0161
23	1.2150	2.8616	0.6372
24	0.4444	2.6206	0.6970
25	0.0392	2.1394	0.4752
26	-0.1547	1.6096	0.2355
27	-0.2128	1.0610	0.0615
28	-0.1163	3.8311	-0.9976
29	-0.0372	4.3262	-0.9802
30	0.7658	4.8829	-1.0931
31	2.8544	4.9966	-1.0912
32	2.9056	4.8551	0.7110
33	0.9038	4.4379	0.5615

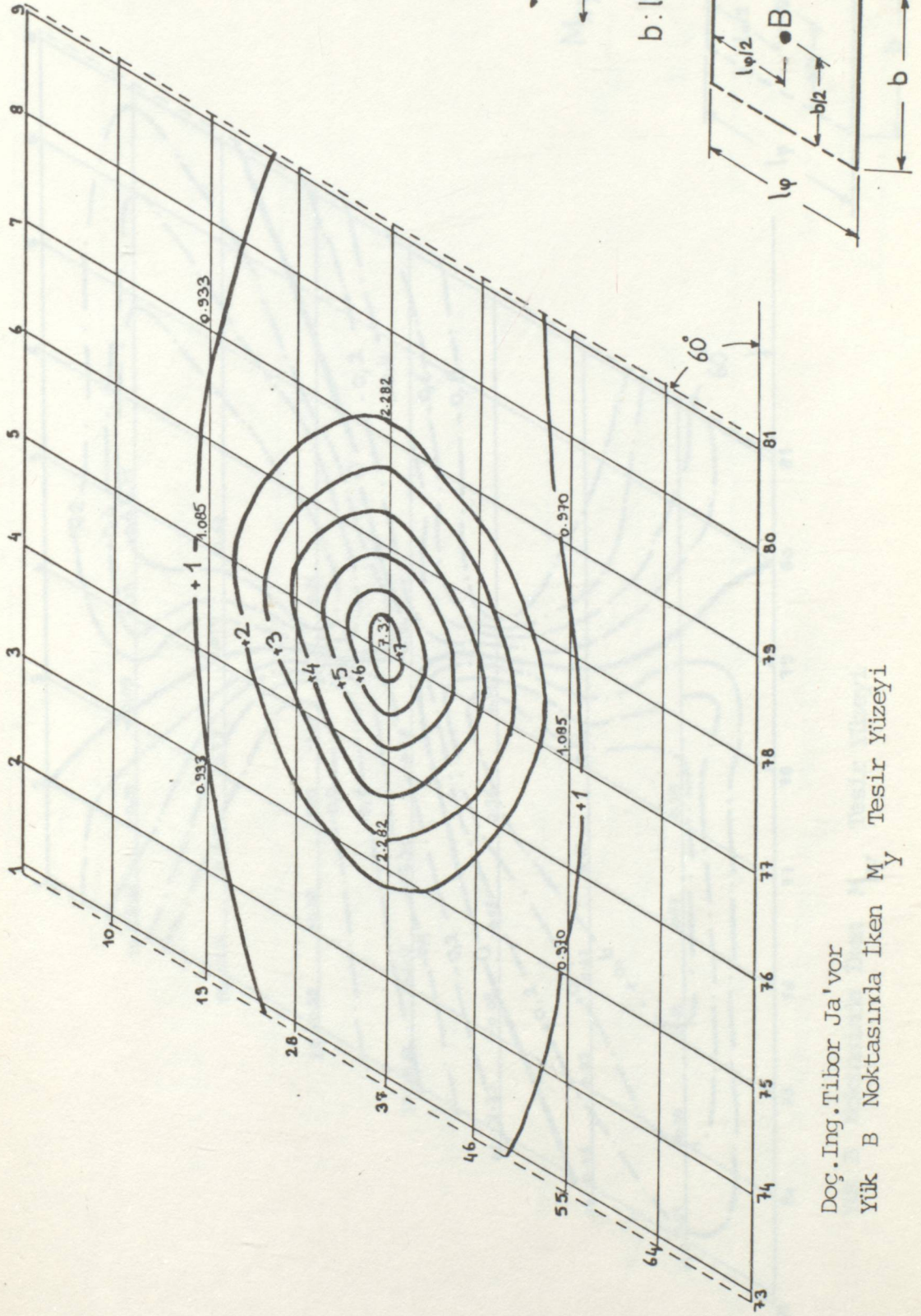
34	0.1432	3.5123	0.1834
35	-0.1525	2.7314	-0.0771
36	-0.2116	2.0272	-0.2306
37	-0.1646	3.0439	-0.6186
38	-0.1148	3.7722	-0.5249
39	0.3368	4.7017	-0.3917
40	1.4396	6.5806	-0.2793
41	7.9632	11.1404	-0.2393
42	1.4396	6.5806	-0.2793
43	0.3368	4.7017	-0.3918
44	-0.1147	3.7723	-0.5249
45	-0.1646	3.0438	-0.6186
46	-0.2116	2.0271	-0.2306
47	-0.1525	2.7314	-0.0771
48	0.1431	3.5124	0.1834
49	0.9037	4.4380	0.5615
50	2.9057	4.8553	0.7110
51	2.8545	4.9968	-1.0912
52	0.7657	4.8830	-1.0931
53	-0.0372	4.3263	-0.9802
54	-0.1163	3.8311	-0.9977
55	-0.2128	1.0611	0.0615
56	-0.1547	1.6097	0.2355
57	0.0391	2.1395	0.4752
58	0.4444	2.6208	0.6971
59	1.2150	2.8617	0.6373
60	1.9093	2.8993	-0.0161
61	1.0388	3.3442	-0.7323
62	0.0776	3.7593	-0.9609
63	-0.1557	3.9452	-1.1080
64	-0.1451	0.3173	0.2079
65	-0.1107	0.6517	0.3993
66	-0.0179	0.9393	0.6132
67	0.1381	1.1806	0.7731
68	0.4231	1.3255	0.7508
69	0.7735	1.3702	0.4378
70	0.8675	1.5414	-0.0513
71	0.1187	2.0847	-0.3089
72	-0.4521	3.0186	-0.6702
73	0.0283	0.1413	0.2239
74	-0.0910	0.1108	0.3993
75	-0.1323	0.0746	0.6029
76	-0.1563	0.0156	0.7764
77	-0.1595	-0.0984	0.8221
78	-0.1428	-0.2723	0.6450
79	-0.1518	-0.3561	0.2698
80	-0.2578	-0.1388	0.1053
81	-0.8598	0.1313	0.5107



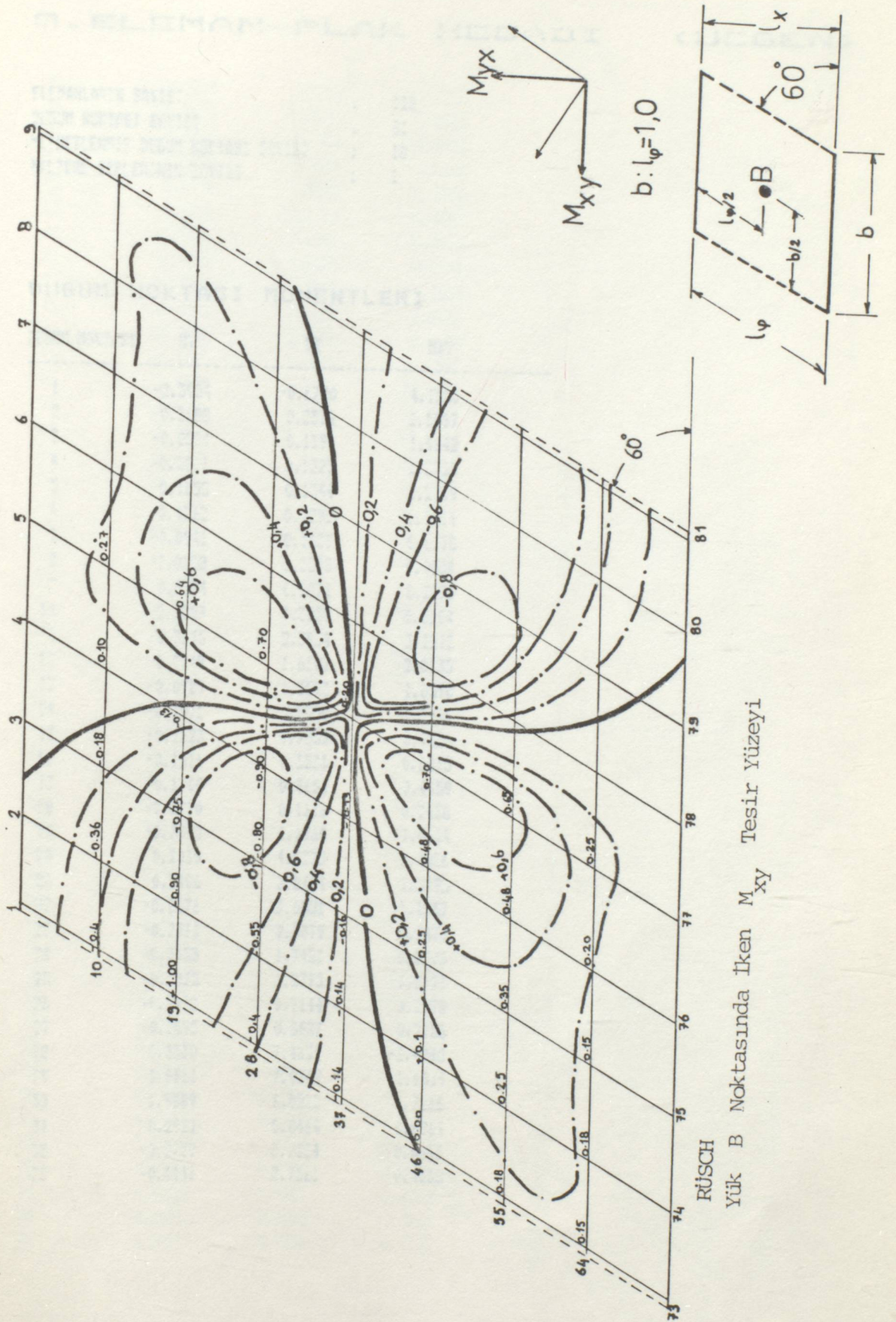
RÜSCH
Yük B Noktasında İken M_x Tesir Yüzeyi



RÜSCH
Yük B Noktasında İken M_y Tesir Yüzeyi



Doç.İng.Tibor Ja'vor
Yük B Noktasında İken M_y Tesir Yüzeyi



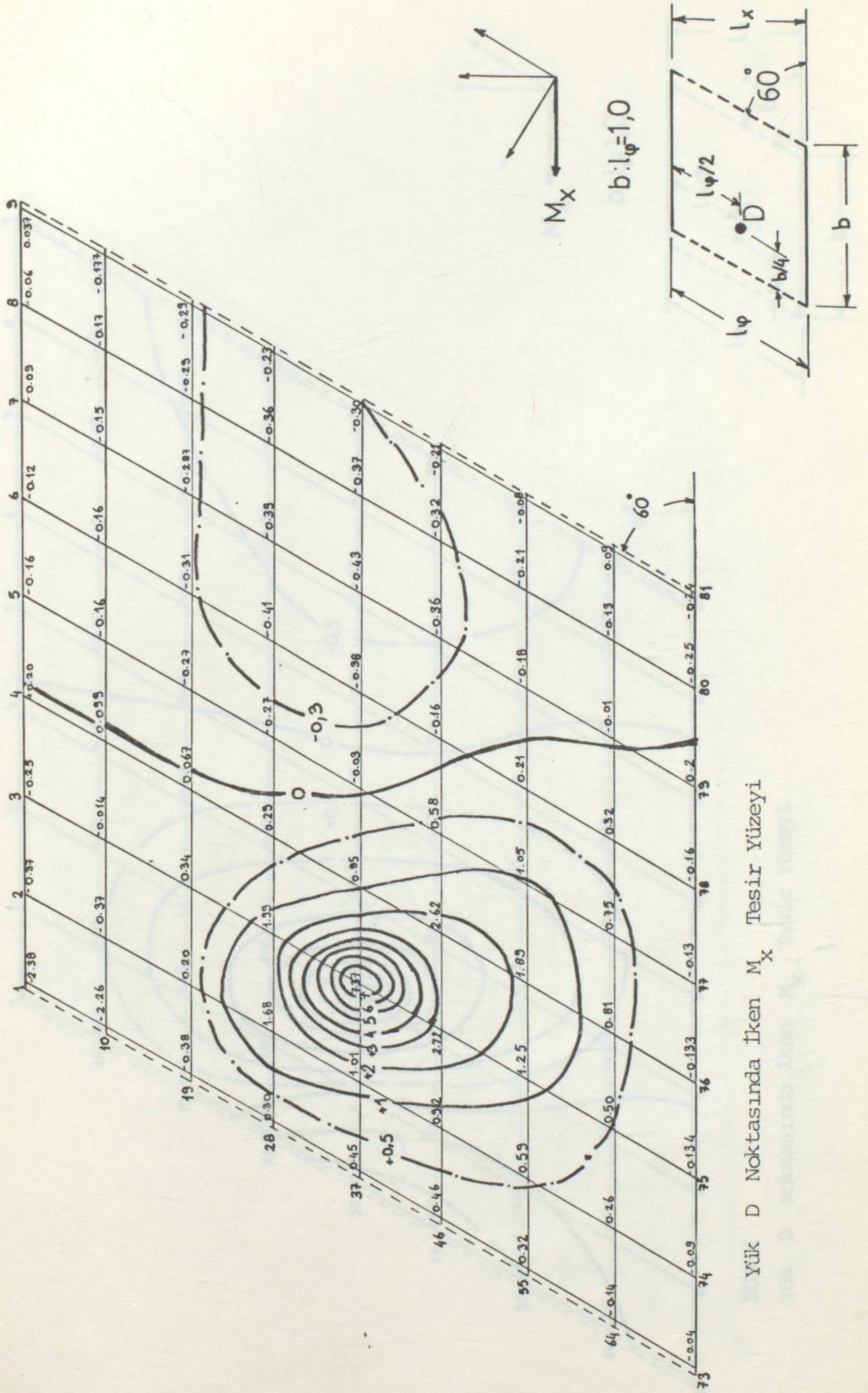
G. ELEMAN-PLAK MESABİ (UCGEN)

ELEMANLARIN SAYISI : 128
 DÜĞÜM NOKTASI SAYISI : 31
 MEHMETLENNİR DÜĞÜM NOKTASI SAYISI : 18
 MALZEME TİFLERİNİN SAYISI : 1

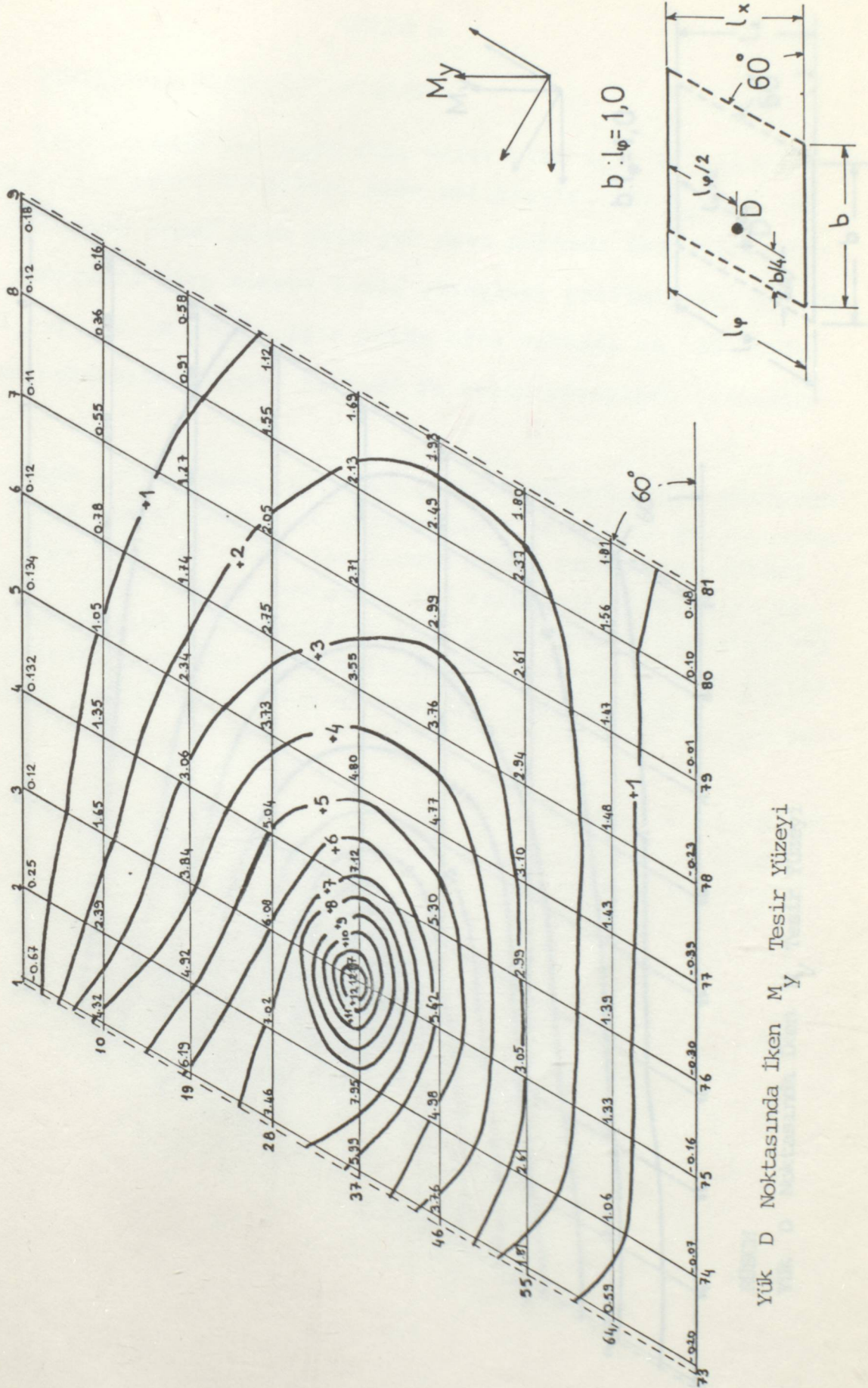
DÜĞÜM NOKTASI MOMENTLERİ

DÜĞÜM NOKTASI	MY	MX	MAY
1	-2.3954	-0.8700	4.1830
2	-0.3488	0.2514	1.5097
3	-0.2551	0.1190	1.5842
4	-0.2001	0.1023	1.5788
5	-0.1455	0.1044	1.5199
6	-0.1242	0.1202	0.5014
7	-0.0941	0.1105	0.5298
8	-0.0672	0.1158	0.4004
9	0.0374	0.1071	0.2070
10	-0.2029	0.3239	0.5164
11	-0.3075	2.7954	2.1290
12	-0.0149	1.6502	2.0135
13	-0.0867	1.3517	1.0590
14	-0.1971	1.0050	1.2788
15	-0.1323	0.7853	0.7826
16	-0.1516	0.5521	0.6319
17	-0.1700	0.3454	0.4459
18	-0.1770	0.1816	0.2458
19	-0.3093	8.1984	-1.0304
20	0.2010	4.9235	0.4808
21	0.3408	3.8424	1.5795
22	-0.0678	3.0531	1.4557
23	-0.2711	2.3379	1.1470
24	-0.3158	1.7482	0.8305
25	-0.2873	1.2773	0.5721
26	-0.2912	0.9144	0.3598
27	-0.2690	0.5827	0.2153
28	0.3530	7.4831	-2.4788
29	1.4841	7.0249	-1.8324
30	1.9889	5.9810	0.7288
31	0.2921	5.0444	0.8784
32	-0.2129	0.7304	0.6348
33	-0.4118	2.7811	0.3088

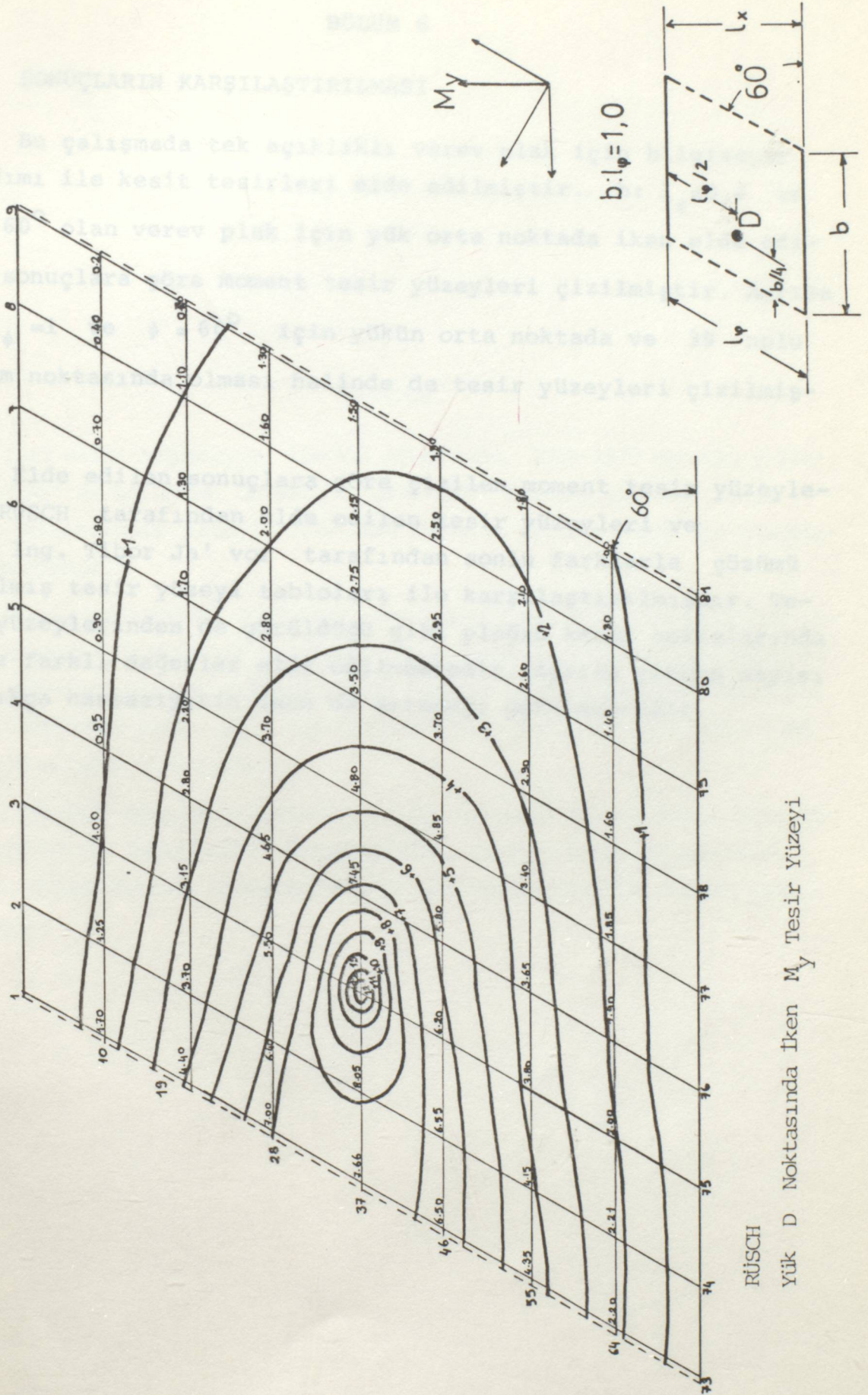
34	-0.3912	2.0548	0.2559
35	-0.3620	1.5493	0.1610
36	-0.3367	1.1224	0.0465
37	0.5801	5.7959	-1.5561
38	1.0104	7.9503	-1.5050
39	7.3758	12.1718	-0.9033
40	0.9476	7.1261	-0.4760
41	-0.0311	4.8038	-0.2644
42	-0.3876	3.5540	-0.1869
43	-0.4292	2.7125	-0.1741
44	-0.3755	2.1379	-0.1683
45	-0.3041	1.6839	-0.1741
46	0.4590	3.7661	-1.1277
47	0.9251	4.9361	-0.7569
48	2.7213	5.4240	-0.3381
49	2.6200	5.3069	-1.7738
50	0.5867	4.7759	-1.4191
51	-0.1636	3.7668	-0.9821
52	-0.3622	2.9961	-0.7325
53	-0.3219	2.4878	-0.5866
54	-0.2162	2.1347	-0.4639
55	0.3202	1.3700	-0.5938
56	0.5968	2.6684	-0.5627
57	1.2572	3.0523	-0.5247
58	1.6905	2.9998	-1.0358
59	1.0654	3.1021	-1.5303
60	0.2072	2.9450	-1.4738
61	-0.1883	2.6141	-1.1919
62	-0.2140	2.3733	-0.9210
63	-0.0271	2.2827	-0.7229
64	0.1460	0.5937	-0.1752
65	0.2591	1.0592	-0.2020
66	0.4990	1.3353	-0.3379
67	0.6135	1.3368	-0.7158
68	0.7515	1.4327	-1.2911
69	0.3166	1.4864	-1.4651
70	-0.0161	1.4773	-1.3422
71	-0.1274	1.5573	-1.0711
72	0.0806	1.8110	-0.8542
73	-0.0413	-0.2366	0.8206
74	-0.0972	-0.0713	-0.8652
75	-0.1347	-0.1573	-0.1956
76	-0.1330	-0.3075	-0.4865
77	-0.1300	-0.7932	-0.9630
78	-0.1152	-0.2523	-1.3582
79	-0.2128	-0.0437	-1.4025
80	-0.2594	0.1608	-1.3810
81	-0.2471	0.4856	-0.7823



Yük D Noktasında İken M_x Tesir Yüzeyi



Yük D Noktasında İken M_y Tesir Yüzeyi



RÜSCH
Yük D Noktasında İken M_y Tesir Yüzeyi

BÖLÜM 6

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada tek açıklıklı verev plak için bilgisayar yardımı ile kesit tesirleri elde edilmiştir. $b: l_{\phi} = 0,4$ ve $\phi = 60^{\circ}$ olan verev plak için yük orta noktada iken elde edilen sonuçlara göre moment tesir yüzeyleri çizilmiştir. Ayrıca $b: l_{\phi} = 1$ ve $\phi = 60^{\circ}$ için yükün orta noktada ve 39 nolu düğüm noktasında olması halinde de tesir yüzeyleri çizilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre çizilen moment tesir yüzeyleri RÜSCH tarafından elde edilen tesir yüzeyleri ve Doç. Ing. Tibor Ja' vor tarafından sonlu farklarla çözümlü yapılmış tesir yüzeyi tabloları ile karşılaştırılmıştır. Tesir yüzeylerinden de görüldüğü gibi plağın kenar noktalarında biraz farklı değerler elde edilmektedir. Ayrıca eleman sayısı arttıkça hassasiyetin daha da artacağı görülmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. BÜSCH, H. : "Festschabplatten von Eisenbetondecken. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton." (1942)
2. FAYAT, H. : "Contribution a l'etude des plaques obliques". Schweiz. (1942)
3. LEONHARDY, F. : "Vorlesungen über Massivbau." Sechster Teil.
4. CELİKUN, H. : "Betonarme İkiyönlü ve Kesey Metotları." (1974)
5. TAMERÖZÜ, S. S. : "Yapısal Beton Sistemler." (1984)
6. BÜSCH, H. : "Das Eisenbeton-Plattenbauwerk."

ÖZGEÇMİŞ

1963 HATAY doğumluyum. İlkokul öğrenimime 1969-1970 öğretim yılında HATAY' da başladım. Ortaokulu 1976-1977 öğretim yılında Konya Karma Ortaokulunda, Liseyi 1979-1980 öğretim yılında Bursa Kız Lisesinde tamamladım.

Lisans öğrenimime 1980-1981 öğretim yılında Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladım. 1982-1983 öğretim yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümüne yatay geçiş yaparak öğrenimime devam ettim ve 1983-1984 öğretim yılında tamamladım.

1985-1986 öğretim yılında Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü LİSANSÜSTÜ İNŞAAT-YAPI dalına girdim. Halen Yıldız Üniversitesi İnşaat Bölümü Mekanik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. RÜSCH, H. : "Fahrbahnplatten von Strassenbrücken. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton." (1952)
2. FAVRE, H. : "Contribution a l'etude des plaques obliques". Schweiz. (1942)
3. LEONHARDT, F. : "Vorlesungen Über Massivbau." Sechster Teil.
4. CELÂSUN, H. : "Betonarme Köprüler ve Hesap Metodları."(1974)
5. TAMEROĞLU, S.S. : "Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler." (1964)
6. ÖZDEN, K. : "İnce Plaklar Teorisi Ders Notları."
7. CELÂSUN, H. : "Yapı Sistemleri Matris Analizi ve Sonlu Elemanlar Metodu." E.D.M.M.A. (1976)
8. ÇAKIROĞLU, A.
ÖZDEN, E.
ÖZMEN, G. : "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları." (1970)
9. ÖZDEN, K. : "Sonlu Eleman Metodu Ders Notları."
10. ZIENKIEWICZ, D.C. : "Methode der Finiten Elemente." (1975)
11. BAZELEY, G.P.
CHEUNG, Y.K. : "Triangular Elements in Plate Bending." : Conforming and Nonconforming Solution Abhandlung in "Proc. 1st Conf. Matrix Methods in struct. Mech. Air Force Institute of Technology." (1965)

