

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

79168

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOŞLUKLU VE BOŞLUKSUZ
L PLAĞIN
SONLU ELEMANLAR METODU İLE
STATİK VE DİNAMİK
ANALİZİ

İnş. Müh. B. Okan BAYCAN

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

79168

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Türkan KÖKSAL

Prof. Dr. Türkan Köksal
Türkan

Prof. İbrahim Eliz
İbrahim

Prof. Dr. Feriye Çelikkaya
Feriye

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
1 GİRİŞ	1
2 İNCE PLAK TEORİSİ	2
2.1 Tarifler	2
2.2 Yapılan Kabuller	2
2.3 Diferansiyel geometrik Bağıntılar	4
2.4 Gerilme - Şekil Değiştirme Bağıntuları	5
2.5 Plak İç Kuvvetleri	7
2.6 Statik Denge Denlemleri ve Plak Denklemi	8
3 SONLU ELEMANLAR METODU	11
3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Kısa Bir Bakış	12
3.2 Deplasman Fonksiyonunun seçimi	12
3.4 Deplasman Fonksiyonunun Elemana Uyarlanması	14
3.5 Deformasyonların Deplasmanlar Cinsinden İfadesi	18
3.6 Gerilmelerin Deplasmanlar Cinsinden İfadesi	20
3.7 Rijitlik Matrisi ve Yük Vektörünün Bulunması	21
4 PLAK TİTREŞİM DENKLEMİ	25
4.1 Tanımlar ve Yapılan Kabuller	25
4.2 Titreşim Denklemi	25
4.3 Serbest Titreşim Durumunda Dikdörtgen Plakın Çözümü	27
4.4 Plak Titreşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Hesabı	31
4.4.1 Plak Titreşim Denklemine Çıkartılması	31
4.4.2 Serbest Titreşimler	33
4.4.3 Zorlanmış Titreşimler	34
4.4.3.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler	34
4.4.3.2 Deprem Spektrumları	36
4.4.3.3 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler	39

5	YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
5.1	Kullanılan Bilgisayar Programı	43
5.2	Seçilen Plagın Özellikleri ve Ağların Tanıtılması	48
5.3	Uygulanan Boşluk Etkisi ve Ağların Tanıtılması	55
6	ÇÖZÜMLEMELER	
6.1	Statik Hesap	62
6.1.1	1. Sınır Şartı (Bütün Kenarlarından Ankastre Merdiven Boşluklu L Plak	62
6.1.1.1	L Plak için	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	63
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	64
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	65
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	66
	Moment Değişim Oranları Tablosu	67
	Moment Bölge Dağılımları	68
6.1.1.2	Boşluk etkisi Altında	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	69
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	70
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	71
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	72
	Moment Değişim Oranları Tablosu	73
	Moment Bölge Dağılımları	74
6.1.1.3	1. Sınır Şartı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	75
6.1.2	2. Sınır Şartı (İki Kenarından Ankastre Diğer Kenarlar Serbest)	76
6.1.2.1	L Plak için	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	77
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	78
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	79
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	80
	Moment Değişim Oranları Tablosu	81
	Moment Bölge Dağılımları	82
6.1.2.2	Boşluk etkisi Altında	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	83
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	84
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	85
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	86
	Moment Değişim Oranları Tablosu	87
	Moment Bölge Dağılımları	88
6.1.2.3	2. Sınır Şartı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	89

6.1.3	3. Sınır Şartı (Dört kenarından Ankastre Diğer Kenarları Basit Mesnetli	90
6.1.3.1	L Plak için	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	91
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	92
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	93
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	94
	Moment Değişim Oranları Tablosu	95
	Moment Bölge Dağılımları	96
6.1.3.2	Boşluk etkisi Altında	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	97
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	98
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	99
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	100
	Moment Değişim Oranları Tablosu	101
	Moment Bölge Dağılımları	102
6.1.3.3	3. Sınır Şartı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	103
6.1.4	4. Sınır Şartı (İki Kenarından Basit Mesnetli Diğer Kenarlar Boşta)	104
6.1.4.1	L Plak için	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	105
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	106
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	107
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	108
	Moment Değişim Oranları Tablosu	109
	Moment Bölge Dağılımları	110
6.1.4.2	Boşluk etkisi Altında	
	Mx Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	111
	My Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	112
	Mxy Pozitif ve Negatif Momentlere ait Değişim Grafikleri	113
	w Düşey Deplasman Değişim Grafiği	114
	Moment Değişim Oranları Tablosu	115
	Moment Bölge Dağılımları	116
6.1.4.3	4. Sınır Şartı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	117
6.2	Dinamik Hesap	118
6.2.1	Sınır Şartının Sunulması	119
6.2.1.1	Erzincan Depremi	120
	Erzincan Depremi İvme Spektrum Eğrisi	121
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri	122
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri	123
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri(Delik Etkisi alt.)	124
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri (Delik Et	125

6.2.1.2	Dinar Depremi	126
	Dinar Depremi İvme Spektrum Eğrisi	127
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri	128
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri	129
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri(Delik Etkisi alt.)	130
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri (Delik Et	131
6.2.1.3	Afet Bölgeleri Yönetmeliği	132
	Yeni Şartname Tasarım İvme Spektrumu	133
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri	134
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri	135
	Mx ve My Pozitif Momentlere ait Değişim Grafikleri(Delik Etkisi alt.)	136
	Mxy Pozitif Moment ve w deplasmana ait Değişim Grafikleri (Delik Et	137
7	SONUÇLAR	138
	KAYNAKLAR	140
	ÖZGEÇMİŞ	142

SİMGE LİSTESİ

Q_x	X Yönündeki Dönme
Q_y	Y Yönündeki Dönme
$[P]$	Polinom Matrisi
$[H]$	Gerilme Deplasman Bağintısı Matrisi
$[N]$	Şekil Fonksiyonu
$[D]$	Malzeme Matrisi
$[K]$	Rijitlik Matrisi
$\{d\}_e$	Eleman Deplasman Vektörü
$\{d(x, y)\}$	Deplasman Fonksiyonu
π	Toplam Potansiyel Enerji
u	İç Kuvvetlerin İşi
w	Dış Kuvvetlerin İşi
ξ	Sönüm Yüzdesi
ω	Frekans
ω_0	Sönmüş Frekans
ω_i	i . Moddaki Frekans
ϕ_i	i . Mod Şekli



Çalışmamda benden yardım ve desteklerini esirgemeyen başta sevgili hocam Prof. Dr. Türkan Köksal olmak üzere Ar. Gör. Ali Koçak ve ağabeyim İnş. Dr. Müh. Can Baycan'a ve özellikle sevgili aileme verdikleri destek ve güven için teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme...

ÖZET

Günümüzde kişisel bilgisayarların gelişimi ve ekonomikleşmesi, nümerik metodların geliştirilmesine neden olmuştur.

Bu tip çözümler için en çok tercih edilen yöntem de sonlu elemanlar metodudur. Bu metodun kullanımında iki önemli parametre bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yeterli hassasiyette güvenilir sonuçlar elde etmektir, ki bu, bilinmeyen sayısını arttırmak ve ağ sıkılaştırması yapmakla mümkündür. İkinci önemli nokta ise şüphesiz, zaman kaybından ve gereksiz hesap yapmaktan kaçınmaktır. Bu iki parametrenin optimizasyonu ile ulaşılan çözüm, sonlu elemanlar metodu için en ideal çözümdür.

Çalışma bu amaçla yapılmıştır. Herhangi bir L tipi plak seçilerek, yük, poisson oranı, elastisite modülü, sınır şartları, plak kalınlığı gibi parametreler değiştirilmeden sadece ağ boyutları küçültülerek eleman sayısı arttırılmış ve plağın statik yükler altındaki davranışı bu altı farklı ağ yapısı için incelenmiştir. Buna ek olarak maksimum momentlerin meydana geldiği bölgede bir yırtık etkisi oluşturulmuş ve plak tekrar altı ağ yapısı için incelenerek tepkileri ölçülmüştür. Bu işlemler seçilen 4 farklı sınır şartı için tekrar edilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmı dinamik etkilere ayrılmış, bu bölümde Dinar, Erzincan depremleri ve 2 Eylül 1997 tarihli deprem yönetmeliği tasarım spektrumları seçilmiş olan bir sınır şartı için ve yırtık etkisi de gözönüne alınarak aynı plağa uygulanmıştır.

Çalışmadan çıkan sonuç özetle Sonlu elemanlar metodunda, çözüm hassasiyeti genellikle eleman sayısının artışıyla azalan bir şekilde artar. Ancak ankastreliğin artışı, açıklık momentlerinin hassasiyetinin eleman sayısına bağımlılığını azaltır. Ayrıca düğüm noktalarının mümkün olduğunca aynı artım ve boyutla birbirlerini takip etmeleri gerekmektedir.

ABSTRACT

In today's world, the evolutions in personal computers, becoming cheaper and cheaper every day, has caused the development of numerical methods.

The most preferred way for this kind of solutions is finite elements method. The two important parameters applied in this method are as follows:

To obtain reliable results with reasonable accuracy, which is possible by increasing the number of unknowns, in another way by reaching the possible minimum degrees of freedom

To avoid waste of time and unnecessary calculations

The ideal way for finite elements method is the solution reached by the optimization of these two parameters.

In this study, the number of elements and the response of an L shaped shell under static loading -for which parameters such as loading, poisson ratio, boundary conditions and shell thickness have not been changed- have been searched by minimizing only mesh dimensions and for this six different mesh forms only. On the other hand, tearing effect has been formed in the area where appeared maximum moments and the responses of the shell have been re-examined again for the six mesh dimensions. All of these processes have been repeated for four chosen different boundary conditions.

The second part of the study is dedicated to dynamic effects. Dinar and Erzincan earthquakes, along with the seismic design code dated 02 September 1997, have been applied to the same shell, for the same boundary conditions and by taking into account the tearing effect.

The solving accuracy, in the finite elements method, is increasing parabolically compared to the increase of the number of elements. As a number of fixed sides increases, the effect of the number of elements on the accuracy in calculating the bending moments decreases. And also joints should follow each other as much as possible and continuity should be guaranteed.

1 GİRİŞ

Düzlemsel ve eğrisel yapı elemanlarının çözümü ve hesaplanması, diferansiyel denklemin yüksek oluşu, geometri ve sınır koşullarının değişkenliği ile değişik yük durumlarında analitik çözümleri güçleştirmekte ve hatta mümkün kılmamaktadır. Bu çalışma konusu içerisinde incelenen L tipi plakların analitik çözümleri çok bilinmeyenli ve karmaşık olmasından dolayı mümkün olmamaktadır. Yine plak elemanında yer alan boşluk etkisinin incelenmesi analitik yöntemlerle mümkün değildir.

Analitik yöntemlerin geçersiz olduğu bu gibi durumlarda nümerik çözümlere gitmek gerekmektedir. PC türü bilgisayarların gelişmesi, dolayısıyla yüksek mertebeden matrislerin kolayca çözümlenebilmesi nümerik hesap yöntemleriyle çözümü tercih edilir hale getirmiştir.(17)

Sonlu farklar yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi vb. yöntemler plak çözümlerinde sıkça kullanılan nümerik metotlardır. Bu çalışma içerisinde plak çözümlerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konu yapılan hesabın hassasiyetinin yeterli ve güvenli olmasını sağlamaktır. Bunu sağlamak içinse, genel olarak, serbestlik derecesini, yani bilinmeyen sayısını yüksek tutmak veya başka bir deyişle çok parametrelili sonlu eleman ya da çok sık ağ (mesh) kullanmak gerekmektedir. Yine bu çalışmada seçilen sonlu eleman ağlarının sıklığına göre plak çözümleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Bir plağa etkiyen dış kuvvet zamana bağlı veya dinamik bir kuvvet ise, bu kuvvetin plağa tesiri sonucu plağın buna cevabı, atalet kuvvetleri şeklinde olacaktır. D'Alembert prensibine göre, sisteme tesir eden kuvvetlerle yapının cevabı olan atalet kuvvetleri her an denge halindedir. Bu prensip yardımıyla bir dinamik problemi statik problem gibi incelemek mümkündür. Yine bu statik problemi sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlene olanağı vardır.(5)

Bu çalışmada dinamik bir kuvvet olan deprem etkisi L tipi bir plağa etki ettirilmiş ve hesaplar sonlu elemanlar yöntemi ile çeşitli sıklıktaki ağlar uygulanarak çözülmüştür. Bu amaçla değişik derem spektrumları için önce plağın serbest titreşimi hesaplanmıştır. Serbest titreşim hesabı sonucunda zorlanmış titreşim hesabı yapılmıştır. Başka bir deyişle plak titreşim denklemi elde edilmiş, bu denklemin homojen ve özel çözümleri yapılmıştır.

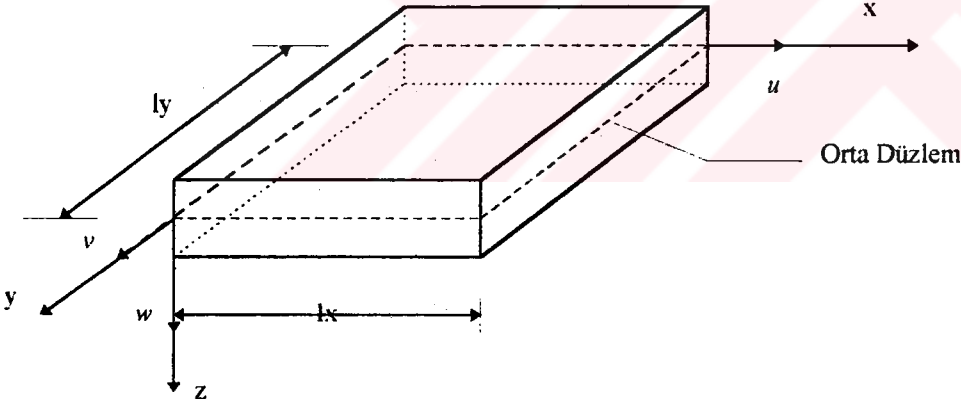
Homojen çözüm, plağın serbest titreşimi, özel çözüm ise plağın zorlanmış titreşimidir. Serbest titreşim sonucunda elde edilen mod değerleri spektral analiz yöntemi ile toplanmıştır. Modların birleştirilmesi olan spektral analiz yöntemi ile, her modda elde edilen değerlerin karelerinin toplamının karakökü alınarak plak gerilme ve momentleri elde edilmiştir.

Bütün bu hesaplarda plağa etkiyen kuvvetler, seçilen ağların düğüm noktalarında toplanmış olduğu kabul edilmiştir.

2 İNCE PLAK TEORİSİ

2.1 Tarifler

İnce plaklar kalınlığı diğer iki boyutu yanında çok küçük olan, orta yüzeyi düzlem olan ve taşıdığı yükleri bu orta düzleme dik olan iki boyutlu düzlemsel taşıyıcı elemanlardır. Plak kalınlığı değişken yada sabit olabilir. (2)

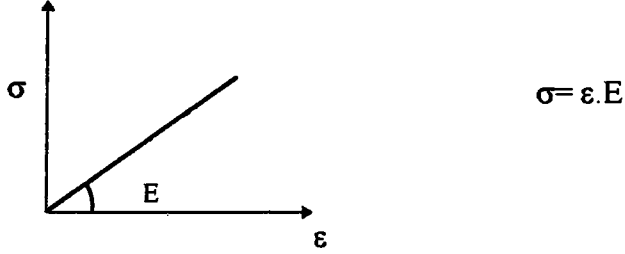


Şekil 2.1

2.2 Yapılan Kabuller

- Düşey yöndeki sehimler (w), plak kalınlığı (h) yanında çok küçüktür.
- Malzeme homojen ve izotropdur.

- c) Malzemenin Hooke kanununa uyduğu kabul edilir. Bu kanun malzemenin elastik sınırları içinde gerilmeler ile Şekil deđiŐimlerini arasındaki lineer bağıntıyı ifade eder.



Şekil 2.2

- d) Kirchoff - Love hipotezi geçerlidir. Yani deformeşyondan önceki orta düzlemin normali, deformeşyondan sonrada düzlemin normali olarak kalır.
- e) Plağın ince olmasından dolayı σ_z normal gerilmeleri ve σ_x ile σ_y normal gerilmeleri yanında çok küçüktür. Bu nedenle $\sigma_z \approx 0$ alınabilir. Deformeşyondan sonra plak kalınlığının deđiŐmediđi kabul edilir. Böylece $\epsilon_z = 0$ olur.
- f) Diğer taraftan düşey yönde plak kalınlığının deđiŐmemesinden dolayı düşey yönde sehim olan $w(x,y,z)$ 'nin z 'ye bağlı olmadığı çıkar. Demekki orta düzlemdaki noktanın deplasmanı ile bu doğrultu üzerindeki noktaların deplasmanları aynıdır. Böylece;

$$(\epsilon_x)_{z=0} \approx 0 \quad - (u)_{z=0} \approx 0$$

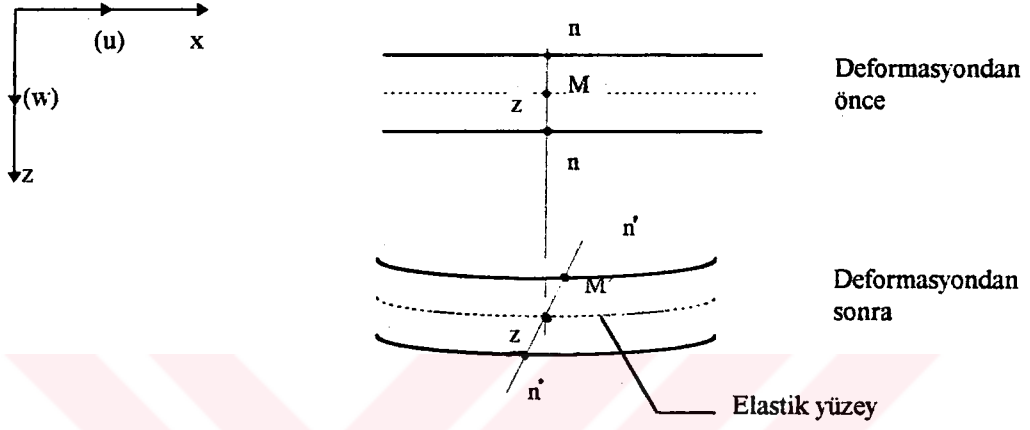
$$(\epsilon_y)_{z=0} \approx 0 \quad (v)_{z=0} \approx 0$$

$$(\gamma_{xy})_{z=0} \approx 0$$

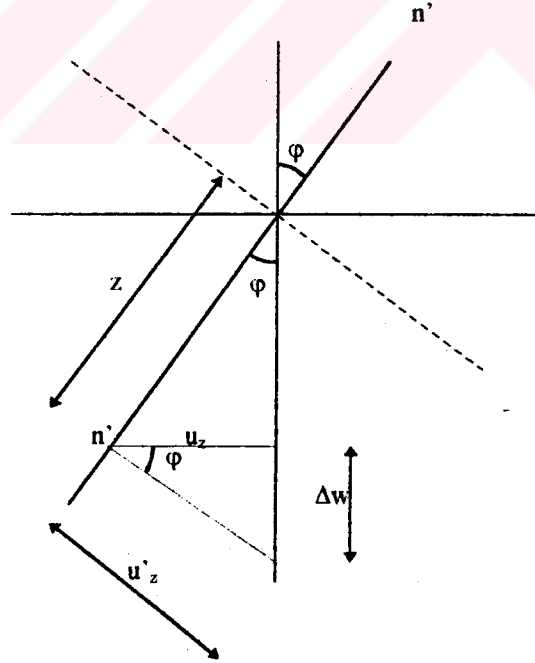
olur.

2.3 Diferansiyel Geometrik Bağlantılar

Deformasyon - deplasman bağlantılarını çıkarabilmek için şekil 2.3 deki deformasyon öncesi ve sonrasındaki elemanı dikkate alırsak;



Şekil 2.3



Şekil 2.4

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u'_z}{z} \rightarrow u'_z = z \cdot \operatorname{tg} \varphi = z \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$u_z = u'_z \cdot \cos \varphi$$

φ açısı çok küçük olduğundan $\cos \varphi \cong 1$ kabul edilirse $u_z = u'_z$ ve deplasman ters yönde olduğundan u_z negatif olur.

$$u_z = -z \frac{\partial w}{\partial x} \quad (2.1)$$

$$v_z = -z \frac{\partial w}{\partial y} \quad (2.2)$$

Buradan şekil değiştirme bağıntılarını yazarsak;

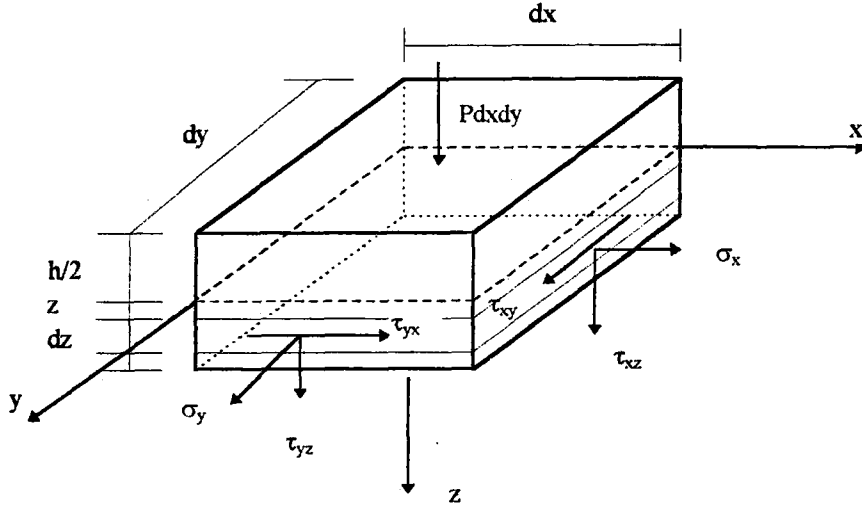
$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_z}{\partial x} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v_z}{\partial y} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (2.4)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial x} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.5)$$

2.4 Gerilme - Şekil Değiştirme Bağıntıları

Şekil 2.5 te görülen gerilmeleri şekil değiştirmeler cinsinden yazalım. Burada $\sigma_z=0$ ve $\varepsilon_z=0$ alınacaktır.



Şekil 2.5

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x) \quad (2.7)$$

$$\gamma_{xy} = \tau_{xy}/G \quad (2.8)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Bu bağıntılardan yola çıkarak;

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) = -\frac{E \cdot z}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.9)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x) = -\frac{E \cdot z}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.10)$$

$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} = -\frac{E \cdot z}{1 + \nu} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \quad (2.11)$$

bağıntıları elde edilir.

2.5 Plak İç Kuvvetleri

Şekil 2.5 'i dikkate alarak dz boyutlu elemana tesir eden gerilmelerin oluşturduğu kuvvetleri bulalım.

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

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

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

$$q_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} \cdot dz \quad , \quad q_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yz} \cdot dz$$

İntegralleri çözümlersek,

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} -\frac{E}{1 - \nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \cdot z^2 \cdot dz$$

$$M_x = -\frac{E}{1 - \nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \cdot \frac{h^3}{12}$$

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)} \quad \text{dersek;}$$

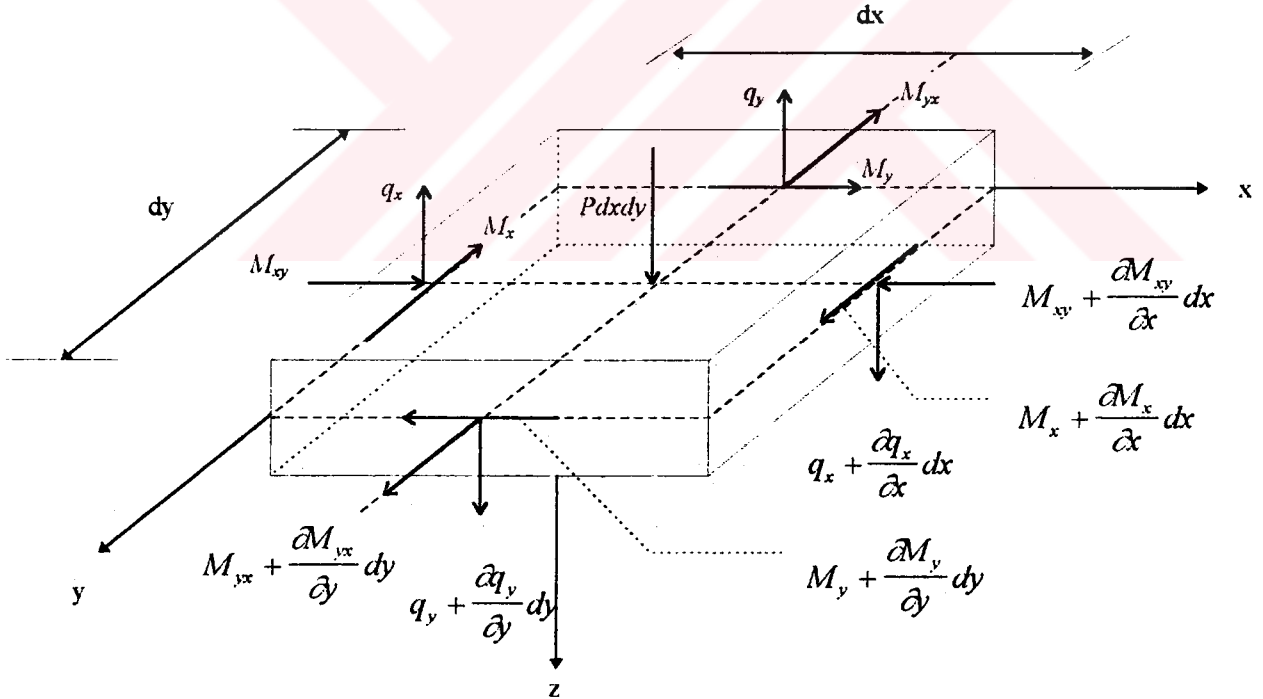
$$M_x = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) \quad (2.12)$$

$$M_y = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \quad (2.13)$$

$$M_{xy} = -D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad \text{elde edilir.} \quad (2.14)$$

2.6 Statik Denge Denklemleri ve Plak Denklemi

Çekme doğrultusunda P basınç yükü altında (dxdy) elemanının denge denklemlerini şekil 2.6 dan hesaplayalım.



Şekil 2.6

a) Düşey Kuvvetlerin Dengesi ($\Sigma Pz=0$)

$$\theta_x = (-q_x + q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot dx) dy = \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot dx \cdot dy$$

$$\theta_y = (-q_y + q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} \cdot dy) dx = \frac{\partial q_y}{\partial y} \cdot dy \cdot dx$$

Düşey doğrultudaki kuvvetlerin denge denklemi;

$$P dx dy + \theta_x + \theta_y = 0$$

$$P dx dy + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy dx = 0$$

$$P + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (2.15)$$

b) Momentlerin Denge Denklemi:

- $\Sigma M_y = 0$ durumunda

$$\left(-M_x + M_x + \frac{\partial M_x}{\partial x} dx\right) dy + \left(-M_{yx} + M_{yx} + \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} dy\right) dx + \left(q_y - q_y - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy\right) dx \frac{dx}{2} - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx\right) dy dx = 0$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} = q_x \quad (2.16)$$

- $\Sigma M_x=0$ durumunda

$$\left(M_{xy} - M_{yx} - \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} dx\right) dy + \left(M_y - M_x - \frac{\partial M_y}{\partial y} dy\right) dx + \left(q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy\right) dx dy + \left(q_x - q_x - \frac{\partial q_x}{\partial x} dx\right) dy \frac{dy}{2} = 0$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} = q_y \quad (2.17)$$

(2.16) ve (2.17) denklemlerinin türevleri alınıp (2.15) denklemine yazılırsa;

$$P + \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_{yx}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = 0 \quad \text{bulunur.}$$

$M_{xy} = M_{yx}$ olduğuna göre,

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + 2 \cdot \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = -P \quad (2.18)$$

(2.12), (2.13), (2.14) denklemlerinin türevleri alınıp (2.18) denklemine yazılırsa;

$$-D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right) - D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right) = -P$$

$$\boxed{\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = P/D} \quad (2.19)$$

plak diferansiyel denklemi elde edilir.

3 SONLU ELEMANLAR METODU

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Kısa Bir Bakış

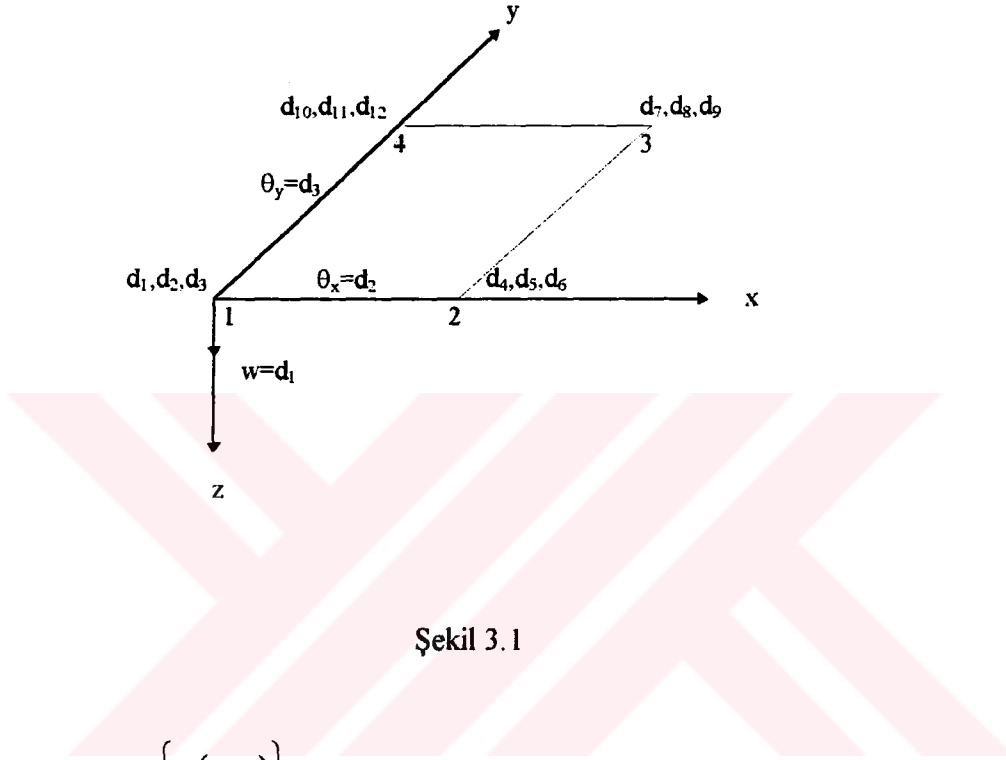
Yaklaşık nümerik metodlar bilgisayarların hızlı gelişimiyle karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılır olmuştur. Sonlu elemanlar metodu da bu nümerik metodlardan birisidir. Günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinde aranılan doğruluk ve hız, bu gelişimle sonlu elemanlar metoduna olan ilgi ve gelişimin artmasına neden olmuştur. Bu metod yapı mühendisliğinden başka zemin mekaniği, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektrik mühendisliğine kadar birçok farklı mühendislik konularında da kullanılmaktadır.(12)

Bu yöntemde çözümü aranan sistem bir ağ ile idealleştirilir. Ağa ait çizgilerin kesim noktaları düğüm noktaları olarak adlandırılır. Bu ağı belirleyen çizgiler arasında kalan iki yada üç boyutlu sonlu büyüklükteki elemanlara sonlu elemanlar denir. Elemanların birbirlerine sınırları üzerinde yerleşmiş düğüm noktaları ile bağlı oldukları varsayılır. Herbir eleman için gerekli eleman denklemleri elde edildikten sonra bu elemanlar problemin tanım bölgesini tamamlayacak şekilde birleştirilir. Böylece problemin bütünü ile ilgili denklem sistemleri elde edilir. Sonlu elemanlara ayrılmış problemin tanım bölgesi sonlu eleman ağı olarak adlandırılır. Elemanların birbirleriyle ilişkileri esas alınarak birleştirilmiş bu modele matematiksel model denilir.

Bir matematiksel modeldeki doğruluk ve kesinlik, seçilen eleman tipine, eleman sayısına, eleman davranışlarıyla ilgili yapılan kabullere bağlıdır. Eleman sayısının artması bilinmeyenler sayısının artmasına neden olurken sonuçların doğruluk ve kesinliğini arttırmaktadır.

3.2 Deplasman Fonksiyonunun Seçimi

Şekil 3.1 den de görülebileceği gibi küçük deplasman yapan ince plak eğilmesinde herhangi bir noktanın deplasmanlarının üç bileşeni olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1

$$\{d(x, y)\} = \begin{Bmatrix} w(x, y) \\ \theta_x(x, y) \\ \theta_y(x, y) \end{Bmatrix}$$

Bu durumda düğümler üç serbestlik derecesine sahip olduğundan elemana ait serbestlik derecesi 12 olmaktadır. Bu nedenle seçilen deplasman fonksiyonu 12 bilinmeyenli olmalıdır.

$$w(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 + a_7x^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 + a_{10}y^3 + a_{11}x^3y + a_{12}xy^3$$

Bu ifadeden faydalanarak dönmeleri bulursak;

$$\theta_x = -\frac{\partial w}{\partial y} = -(a_3 + a_5x + 2a_6y + a_8x^2 + 2a_9xy + 3a_{10}y^2 + a_{11}x^3 + 3a_{12}xy^2)$$

$$\theta_y = \frac{\partial w}{\partial x} = a_2 + 2a_4x + a_5y + 3a_7x^2 + 2a_8xy + a_9y^2 + 3a_{11}x^2y + a_{12}y^3$$

Burada $\{a\}$ bilinmeyen parametreler ve $[P]$ ise baz polinom matrisi olarak tanımlanursa;

$$\{a\} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}^T$$

$$[P] = [1, x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y, xy^2, y^3, x^3y, xy^3]$$

Buradan deplasman fonksiyonu;

$$w(x, y) = [1, x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y, xy^2, y^3, x^3y, xy^3] \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

Bunu kapalı olarak yazarsak ;

$$w(x, y) = [P] \cdot \{a\} \quad (3.1)$$

bulunur. Dönmeleri de $[P]$ nin türevleri biçiminde ifade edersek;

$$\theta_x(x, y) = -[\partial P / \partial y] \cdot \{a\} \quad (3.2)$$

$$\theta_y(x, y) = [\partial P / \partial x] \cdot \{a\} \quad (3.3)$$

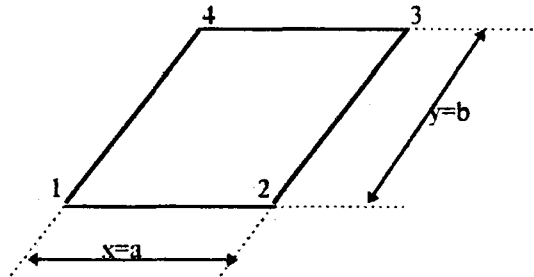
$$\{d(x, y)\} = \begin{Bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & x & y & x^2 & xy & y^2 & x^3 & x^2y & xy^2 & y^3 & x^3y & xy^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -x & -2y & 0 & -x^2 & -2xy & -3y^2 & -x^3 & -3xy^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2x & y & 0 & 3x^2 & 2xy & y^2 & 0 & 3x^2y & y^3 \end{bmatrix}}_{[F(x, y)]} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

Bu ifadeyi kapalı olarak yazarsak

$$\{d(x, y)\} = \begin{Bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [P] \\ -[\partial P / \partial y] \\ [\partial P / \partial x] \end{bmatrix} \cdot \{a\} = [F(x, y)] \cdot \{a\} \quad (3.4)$$

şeklinde olur.

3.3 Deplasman Fonksiyonunun Elemana Uyarlanması



Şekil 3.2

1 düğümü için: $(x_1=0, y_1=0)$

$$\{d_1\} = \begin{Bmatrix} w_1 \\ \theta_{x_1} \\ \theta_{y_1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

2 düğümü için: $(x_2=a, y_2=0)$

$$\{d_2\} = \begin{Bmatrix} w_2 \\ \theta_{x_2} \\ \theta_{y_2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a & 0 & a^2 & 0 & 0 & a^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & 0 & 0 & -a^2 & 0 & 0 & -a^3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & 0 & 0 & 3a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

3 düğümü için: (x₃=a, y₃=b)

$$\{d_3\} = \begin{Bmatrix} w_3 \\ \theta_{x_3} \\ \theta_{y_3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a & b & a^2 & ab & b^2 & a^3 & a^2b & ab^2 & b^3 & a^3b & ab^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & -2b & 0 & -a^2 & -2ab & -3b^2 & -a^3 & -3ab^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & b & 0 & 3a^2 & 2ab & b^2 & 0 & 3a^2b & b^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

4 düğümü için: (x₄=0, y₄=b)

$$\{d_4\} = \begin{Bmatrix} w_4 \\ \theta_{x_4} \\ \theta_{y_4} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & b & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & b^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -2b & 0 & 0 & 0 & -3b^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & b^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

Dört düğüm noktası birleşik yazılırsa;

$$\{d\}_e = \begin{Bmatrix} w_1 \\ \theta_{x_1} \\ \theta_{y_1} \\ w_2 \\ \theta_{x_2} \\ \theta_{y_2} \\ w_3 \\ \theta_{x_3} \\ \theta_{y_3} \\ w_4 \\ \theta_{x_4} \\ \theta_{y_4} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & 0 & a^2 & 0 & 0 & a^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & 0 & 0 & -a^2 & 0 & 0 & -a^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & 0 & 0 & 3a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & b & a^2 & ab & b^2 & a^3 & a^2b & ab^2 & b^3 & a^3b & ab^3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & -2b & 0 & -a^2 & -2ab & -3b^2 & -a^3 & -3ab^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & b & 0 & 3a^2 & 2ab & b^2 & 0 & 3a^2b & b^3 & 0 \\ 1 & 0 & b & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & b^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -2b & 0 & 0 & 0 & -3b^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & b^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

Bu eşitliği kapalı olarak yazarsak;

$$\{d\}_e = [A] \cdot \{a\} \quad (3.5)$$

Şeklinde olur. Buradan;

$$\{a\} = [A]^{-1} \cdot \{d\}_e \quad (3.6)$$

elde edilir.

Bu ifadeyi (3.4) denklemine yazarsak;

$$\{d(x, y)\} = [F(x, y)] \cdot \{a\}$$

$$\{d(x, y)\} = [F(x, y)] [A]^{-1} \{d\}_e \quad (3.7)$$

ve tekrar (3.1) denklemine yazarsak;

$$w(x, y) = [P] \cdot \{a\}$$

$$w(x, y) = [P] \cdot [A]^{-1} \cdot \{d\}_e \quad (3.8)$$

$$[N] = [P] \cdot [A]^{-1} \quad (3.9)$$

şeklinde şekil fonksiyonu olarak tanımlarsak;

$$w(x, y) = [N] \cdot \{d\}_e \quad (3.10)$$

elde edilir.

3.4 Deformasyonların Deplasmanlar Cinsinden İfadesi

$$\{\varepsilon(x, y)\} = z \cdot \begin{Bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} = z \cdot \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{Bmatrix} \quad \text{olarak tanımlarsak;}$$

$$k_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -(2a_4 + 6a_7 x + 2a_8 y + 6a_{11} xy)$$

$$k_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -(2a_6 + 2a_9 x + 6a_{10} y + 6a_{12} xy)$$

$$k_{xy} = 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 2(a_5 + 2a_8x + 2a_9y + 3a_{11}x^2 + 3a_{12}y^2)$$

elde edilir. Bu eşitlikleri matris formda yazarsak;

$$\{\varepsilon(x, y)\} = z \cdot \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{Bmatrix} = z \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -6x & -2y & 0 & 0 & -6xy & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -2x & -6y & 0 & -6xy \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 4x & 4y & 0 & 6x^2 & 6y^2 \end{bmatrix}}_{[C]} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{Bmatrix}$$

şeklini alır. Bu ifadeyi de kapalı olarak,

$$\{\varepsilon(x, y)\} = [C] \cdot \{a\} \quad (3.11)$$

biçiminde yazabiliriz

(3.6) ifadesini (3.11) denklemine yazarsak;

$$\{a\} = [A]^{-1} \cdot \{d\}_e$$

$$\{\varepsilon(x, y)\} = [C][A]^{-1} \cdot \{d\}_e \quad (3.12)$$

elde edilir.

$$[B] = [C].[A]^{-1} \quad (3.13)$$

olarak tanımlarsak,

$$\{\varepsilon(x, y)\} = [B].\{d\}_e \quad (3.14)$$

şeklini alır.

3.5 Gerilmelerin Deplasmanlar Cinsinden İfadesi

$$\{\sigma(x, y)\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\{\sigma(x, y)\} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \begin{Bmatrix} \varepsilon_x + \nu\varepsilon_y \\ \varepsilon_y + \nu\varepsilon_x \\ \frac{1-\nu}{2}\gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}}_{[D]} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

eşitliği kapalı olarak yazarsak;

$$\{\sigma(x, y)\} = [D].\{\varepsilon\} \quad (3.15)$$

elde ederiz.

(3.14) denklemini kullanarak,

$$\{\sigma(x, y)\} = [D].[B].\{d\}_e \quad (3.16)$$

yazılabilir. Ve burada;

$$[H] = [D].[B] \quad (3.17)$$

gerilme deplasman bağıntısı olarak ifade edersek;

$$\{\sigma(x, y)\} = [H].\{d\}_e \quad (3.18)$$

olur.

3.6 Rijitlik Matrisi ve Yük Vektörünün Bulunması

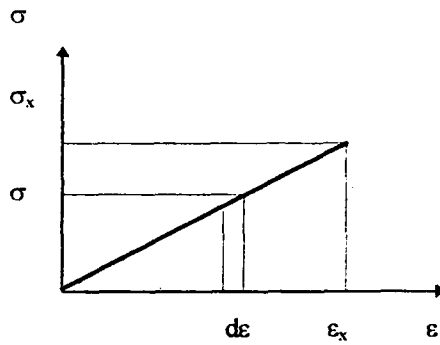
Eleman rijitlik matrisi ve yük vektörü virtüel iş veya minimum potansiyel enerji yöntemlerinden biri kullanılarak bulunur.

Potansiyel enerji yöntemiyle hesaplırsak;

Toplam Potansiyel enerji: $\pi = u + w$ 'dir.

Burada; u: iç kuvvetlerin işi

w: dış kuvvetlerin işidir.



Şekil 3.3

$$u = \int_0^{\varepsilon_x} \sigma \cdot d\varepsilon = \frac{1}{2} \sigma_x \cdot \varepsilon_x$$

$$u = \frac{1}{2} \int_v [\sigma_x \cdot dy \cdot dz] \cdot [\varepsilon_x \cdot dx] \quad (3.19)$$

Yük Mesafe

$$u = \frac{1}{2} \int_v (\sigma_x \cdot \varepsilon_x + \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \tau_{xy} \cdot \gamma_{xy}) dv \quad (3.20)$$

$$w = - \int_v \rho \cdot w_i \cdot dv - \int_A P \cdot w_i \cdot dA - \int_s q \cdot w_i \cdot ds - \theta w_i \quad (3.21)$$

Kütlesel yük Alansal yük Çizgisel yük Tekil Yük

Gerilme ve deformasyonları denklemdeki yerlerine koyarsak;

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

(3.15) tede görüldüğü gibi bu eşitliklerin kapalı olarak yazılımı;

$$\{\sigma(x, y)\} = [D] \{\varepsilon(x, y)\}$$

Şeklinde olur.

$$\{\varepsilon(x, y)\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = z \cdot \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{Bmatrix} \text{ olarak görmüştük. Buna göre (3.20) denklemini,}$$

$$u = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \cdot \{\sigma(x, y)\} dv \quad (3.22)$$

$$u = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \cdot [D] \cdot \{\varepsilon\} dv \quad (3.23)$$

şeklinde olur. Buradan toplam potansiyel enerji;

$$\pi = u + w$$

$$\pi = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \cdot [D] \cdot \{\varepsilon\} dv - \int_A \{P\} \cdot \{d\}_e dA$$

$$\pi = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \cdot [D] \cdot \{\varepsilon\} dv - \int_A \{d\}_e^T \cdot \{P\} dA \quad (3.24)$$

$\{\varepsilon(x, y)\} = [B] \cdot \{d\}_e$ olduğuna göre, toplam potansiyel enerjiyi deplasmanlar cinsinden aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\pi = \frac{1}{2} \int_V \{d\}_e^T \cdot [B]^T \cdot [D] \cdot [B] \cdot \{d\}_e dv - \int_A \{d\}_e^T \cdot \{P\} dA \quad (3.25)$$

$$[L] = [B]^T \cdot [D] \cdot [B] \quad \text{dersek,}$$

$$\pi = \frac{1}{2} \int_V \{d\}_e^T \cdot [L] \cdot \{d\}_e dv - \int_A \{d\}_e^T \cdot \{P\} dA$$

$[k] = \int_v [B]^T [D] [B] dv = \int_v [L] dv$ ifadesi ile verilen kısmı, elemana ait rijitlik matrisini gösterir ki sonuçta potansiyel enerji denklemi;

$$\pi = \frac{1}{2} \{d\}_e^T [k] \{d\}_e - \{d\}_e^T \{P\} \quad (3.26)$$

olur.

- $\{P\}$: Bir elemanın P yüzey yüklerine eşdeğer alınarak düğüm noktalarına etki ettirilen ve düğüm noktalarındaki $\{d\}$ deplasmanlarına karşılık gelen kuvvet vektörüdür.
- $\{d\}_e^T \{P\}$ ise o elemana ait kuvvetlerin potansiyel enerjisidir.

Elastik bir sistemde geometrik sınır şartlarını sağlayan bütün komşu denge konumları arasında gerçek denge konumu, toplam potansiyel enerjiyi minimum yapan denge konumudur.

Dolayısıyla

$$\frac{\partial \pi}{\partial \{d\}_e} = 0 \quad \text{olacağından, sistemin denge denklemi elde edilebilir.}$$

$$[k] \{d\}_e = \{P\} \quad (3.27)$$

Böylelikle deplasmanlar aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\{d\}_e = [k]^{-1} \{P\}$$

4 PLAK TİTREŞİM DENKLEMİ

4.1 Tanımlar ve Yapılan Kabuller

Yayıllı kütleli bir dikdörtgen plağın titreşiminde, kütleler ivmeli hareket yaptıklarından bir kuvvete maruz kalmaktadırlar. İvme zamana bağlı değiştiğinden bu kuvvet te zamanla değişkendir.(14)

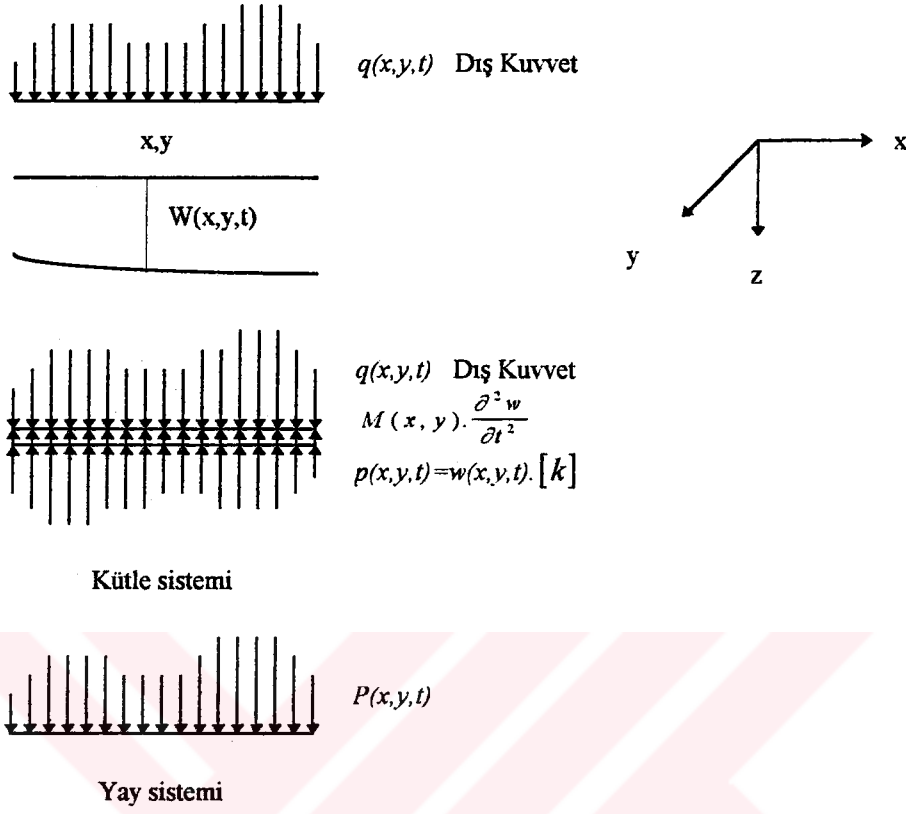
Kütlenin maruz kaldığı bu kuvvet plak tarafından uygulanmaktadır. Ve bu kuvvet, hareket miktarının değişme hızına ve cisme tesir eden kuvvetle orantılı olup değişmede kuvvetin doğrultusundadır(Newton'un dinamik kanunu). Yani kütleye tesir eden kuvvet bu kütle ile ivmenin çarpımına eşittir ($F=m.a$). Bu durumda kütleden plağa aksi bir kuvvet tatbik ediliyor demektir. Bundan başka plak üzerinde meydana gelen dış kuvvetler de bulunmaktadır. Plak işte tüm bu kuvvetlerin tesiri altında eğilir.

Kütle ile ivmenin işareti değiştirilmiş çarpımına ($-m.a$) "Atalet kuvveti" denir.

D'Alembert prensibine göre, sisteme tesir eden kuvvetlerle atalet kuvveti tüm anlarda denge halindedir. Bu prensip yardımıyla bir dinamik problemi statik problem gibi incelenecektir ($\sum F=0$).

4.2 Titreşim Denklemi

Yayıllı kütleli bir plak elemanı dikkate alalım. Bu plağa şekil 4.1 de görülen kuvvetler etki edecektir. Bu plağın kütlesi $M(x,y)$, ataleti I ve elastiklik modülü E olsun plağa zamanla değişen ve birim alana gelen $q(x,y,t)$ kuvveti etkisin. Kütle ile plak arasındaki ilişkiden dolayı plağın birim alanına, zaman ve yer ile değişken $P(x,y,t)$ kuvveti etki edecektir. Böylece yayılı kütleye tesir eden kuvvet $q(x,y,t)-P(x,y,t)$ olur. eleman alanı $dx.dy$ ise, yayılı kütle $M(x,y).dxdy$, kuvvet $(q(x,y,t)-P(x,y,t)).dxdy$ ve deplasman $w(x,y,t)$ olur.



Şekil 4.1

Toplam kuvvetlerin sıfır olma şartından;

$$M(x, y) \cdot dx dy \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q(x, y, t) \cdot dx dy - P(x, y, t) \cdot dx dy$$

$$M(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q(x, y, t) - P(x, y, t)$$

$$P(x, y, t) = q(x, y, t) - M(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (4.1)$$

Bu denklemi (2.19) no'lu plak diferansiyel denklemindeki yerine koyarsak;

$$D. \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2. \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right] + M(x, y). \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q(x, y, t) \quad (4.2)$$

denklemi elde edilir. Bu denklem zorlanmış titreşime ait denklem olup serbest titreşim durumunda bu denklem;

$$D. \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2. \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right] + M(x, y). \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (4.3)$$

şeklindedir.

4.3 Serbest Titreşim Durumunda Dikdörtgen Plâğın Çözümü

Plâğın çözümünde, her bir modda sistem titreşirken her noktada aynı anda modal ekstrem durumuna erişilir. Ve herhangi bir andaki deplasman bir başka andaki deplasmanların her nokta için aynı çarpanla çarpılmasıyla elde edilir.

Bunun için $z(x, y)$ fonksiyonu herhangi bir andaki deplasman durumunu, $T(t)$ 'de bir başka andaki deplasmanları elde etmek için kullanılan çarpan olarak ele alabiliriz. Böylece;

$$w(x, y, t) = z(x, y). T(t) \quad (4.4)$$

olarak yazılabilir.

Gerekli türevleri alıp, serbest titreşim denkleminde yerine yazarsak;

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} \cdot T(t) \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} \cdot T(t) \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} \cdot T(t) \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = z \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4.8)$$

Tüm terimleri (4.3) no'lu denkleme yerleştirdiğimizde,

$$D. \left[\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} \cdot T(t) + 2 \cdot \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} \cdot T(t) + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} \cdot T(t) \right] + M(x, y) \cdot z \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (4.9)$$

elde edilir. Ayrıca,

$$\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} \cdot T(t) = z_{,xxxx} \cdot T \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} \cdot T(t) = z_{,xxyy} \cdot T \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial^4 z}{\partial y^4} \cdot T(t) = z_{,yyyy} \cdot T \quad (4.12)$$

$$M(x, y) \cdot z \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = M(x, y) \cdot z \cdot \ddot{T} \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilirse, (4.9) denklemi;

$$D.T.(z_{,xxxx} + 2z_{,xxyy} + z_{,yyyy}) + M(x, y).z.\ddot{T} = 0$$

durumuna gelir. Zaman ve deplasman terimlerini birbirlerinden ayırırsak;

$$-\frac{\ddot{T}}{T} = \frac{D}{M(x, y)} \cdot \frac{z_{,xxxx} + 2z_{,xxyy} + z_{,yyyy}}{z} \quad (4.14)$$

denklemini elde ederiz.

Burada sol taraf zamanın (t), sağ taraf ise yerin (x,y) fonksiyonu olduğundan birbirlerine eşit olmaları ancak herbirinin sabit olmalarıyla mümkündür. Bu "sabit" yapının özel değerini verir. Eğer Bu sabite (ω^2) dersek denklem (ω^2) ye eşit olur.

$$-\frac{\ddot{T}}{T} = \omega^2 \rightarrow \ddot{T} + \omega^2.T = 0 \quad (4.15)$$

$$\frac{D}{M(x, y)} \cdot \frac{z_{,xxxx} + 2z_{,xxyy} + z_{,yyyy}}{z} = \omega^2 \quad (4.16)$$

$$z_{,xxxx} + 2z_{,xxyy} + z_{,yyyy} - \frac{M(x, y)\omega^2}{D} \cdot z = 0 \quad (4.17)$$

denklemleri elde edilir. Şimdi bu iki diferansiyel denklemin çözümüne geçelim.

- 4.15 denkleminin çözümü:

$$\ddot{T} - \omega^2.T = 0 \quad \text{denkleminin çözümü}$$

$$T = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad \text{ya da}$$

$$T = C \cos(\omega t - \psi) \quad \text{şeklindedir.}$$

- 4.17 denkleminin çözümü:

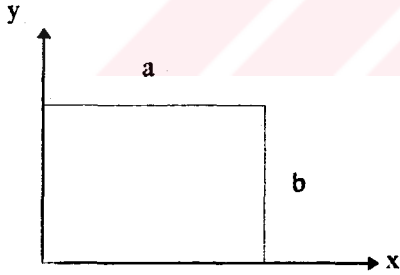
$$\frac{M(x, y)\omega^2}{D} = R^4 \quad \text{diyelim, bu durumda denklem,}$$

$$z_{,xxxx} + 2z_{,xxyy} + z_{,yyyy} - R^4 \cdot z = 0 \quad (4.18)$$

durumuna gelir. Eğer bu denklemi çift fourier serisiyle açacak olursak;

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \sin \frac{i\pi x}{a} \cdot \sin \frac{j\pi y}{b}$$

elde ederiz.



Şekil 4.2

a: plağın x yönündeki uzunluğu

b: plağın y yönündeki uzunluğu

Gerekli türevleri alarak (4.18) denklemini düzenlersek

$$\left[\pi^4 \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right)^2 - R^4 \right] z = 0$$

$$R^4 = \pi^4 \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right)^2$$

$$\frac{M(x,y)\omega^2}{D} = R^4 \quad \text{kabulünden,}$$

$$\frac{M(x,y)\omega^2}{D} = \pi^4 \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right)^2$$

$$\omega^2 = \pi^4 \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right)^2 \cdot \frac{D}{M(x,y)} \quad (4.19)$$

$$\omega = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{D}{M(x,y)} \cdot \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right)} \quad (i,j=1,2,3, \dots) \quad (4.20)$$

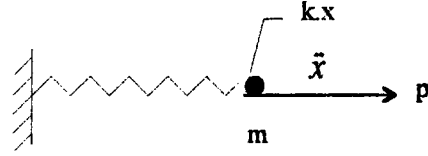
olarak titreşim modları elde edilir.

4.4 Plak Titreşiminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Hesabı

4.4.1 Plak Titreşim Denkleminin Çıkartılması

Sonlu elemanlardan oluşan sistemde eleman yüzeyine yayılı kütleleri düğüm noktalarına toplamak ve dinamik hesapları tekil kütleli sistemlerdeki gibi yapmak mümkündür. Bununla beraber gerçek sonuçlara iyi bir yaklaşımın sağlanabilmesi için yüzeysel yayılı kütlelerden oluşan atalet kuvvetlerinin gerçek yayılışları ile hesaba katılması gerekir.

Dinamik dış etkiler halinde önceden tanımlanan tabii duruma ait tüm tesirler zamanın birer fonksiyonudurlar. Ayrıca herhangi bir t anındaki bir yüzey elemanının hareket denklemleri D'Alembert prensibi yardımıyla denge denklemleri gibi düşünülebilir.



$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = p$$

Şekil 4.3

Buna göre M , birim alana gelen kütle yoğunluğu olmak üzere;

$$\{q(t)\}_m = [M(x, y)] \cdot \left\{ \frac{\partial^2 d(t)}{\partial t^2} \right\}$$

şeklindeki atalet kuvvetlerinin ilave dış yükler gibi düşünülmesi ile enerji teoremi uygulanabilir. Oluşacak kuvvetler şekil 4.3 de görüldüğü gibidir.

$$\pi = \frac{1}{2} \int_v \{\varepsilon(x, y)\}^T [D] \{\varepsilon(x, y)\} dv - \int_A \{d\}_e^T \{q(t)\} dA + \int_v \{d\}_e^T \{q(t)\}_m dv \quad (4.21)$$

$$\{\varepsilon(x, y, t)\} = [B] \{d(t)\}_e \quad \text{olduğundan;}$$

$$\pi = \frac{1}{2} \int_v \{d(t)\}_e^T \underbrace{[B]^T [D] [B]}_{[L]} \{d(t)\}_e dv - \int_A \{d\}_e^T \{q(t)\} dA + \int_v \{d\}_e^T [M(x, y)] \frac{\partial^2 d(t)}{\partial t^2} dv$$

$$\pi = \frac{1}{2} \int_v \{d(t)\}_e^T [L] \{d(t)\}_e dv - \int_A \{d\}_e^T \{q(t)\} dA + \int_v \{d\}_e^T [M(x,y)] \frac{\partial^2 d(t)}{\partial t^2} dv \quad (4.22)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \{d\}_e} = 0 \quad \text{şartından;}$$

$$[K] \{d(t)\}_e + [M] \{\ddot{d}(t)\}_e = \{q(t)\} \quad (4.23)$$

şeklini alır.

4.4.2 Serbest Titreşimler

Serbest titreşim halinde dış yükler sıfır olacaktır. Ve denklem;

$$[K] \{d(t)\}_e + [M] \{\ddot{d}(t)\}_e = \{0\} \quad (4.24)$$

olacaktır. Bu homojen diferansiyel denklemin çözümü,

$$\{d\} = \{\Phi\} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{şeklindedir. Bu ifade yerine konulduğunda;}$$

$$[K] \{\Phi\} - \omega^2 [M] \{\Phi\} = \{0\} \quad \text{elde edilir. Buradan,}$$

$$[[K] - \omega^2 [M]] \{\Phi\} = \{0\} \quad \text{elde edilirki, burada } \{\Phi\} \text{ nin sıfır olması hareketin}$$

olmaması demektir. Bu nedenle denklemin sıfır olması için katsayılar determinantının sıfır olması gerekir.

$$[[K] - \omega^2 [M]] = 0$$

Determinantı sıfır yapan ω değerleri, sistemin özel açısal frekansları olacaktır. Katsayılar matrisinin gerçekte ve simetrik olması nedeniyle n adet ω_i özel değerinin de gerçekte olacağı bilinmektedir. Her ω_i özel değerinde homojen denklemde bir $\{\Phi\}_i$ homojen çözüme karşı gelmektedir. Bu $\{\Phi\}_i$ ler modları gösterip yapının özel değerini vermektedir.

4.4.3 Zorlanmış Titreşim

Yapısal titreşim problemlerini incelerken yapıları tek ve çok serbestlik dereceli sistemlere ayırarak idealleştirmek mümkündür. Sistemin hareket halinde bulunduğu konum tek bir parametre ile belirlenebiliyorsa bu tür sistemlere tek serbestlik dereceli sistem, birden fazla parametre ile belirlenebiliyorsa çok serbestlik dereceli sistemler denir.

4.4.3.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

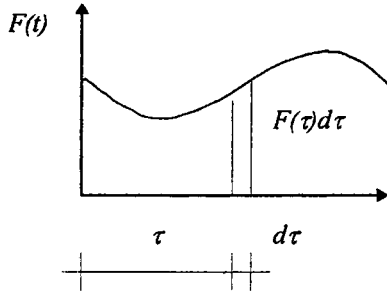
Bir serbestlik dereceli sistemin periyodunu ve özel değerlerini hesaplamak için hareket denklemlerinin homojen çözümünü yapmak yeterlidir. Herhangi bir zamana bağlı dış yük hali için de özel çözüm yapılması gereklidir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad \text{sönümlü serbest titreşim} \quad (4.25)$$

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad \text{sönümsüz serbest titreşim} \quad (4.26)$$

Sönümlü serbest titreşimde çözüm $x = e^{\xi\omega t} (A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t)$, sönümsüz serbest titreşimde $x = A \cos \omega t + B \sin \omega t$ şeklinde olup yapının titreşim periyodu $T = 2\pi \sqrt{m/k}$, frekansı ise, $\omega = \sqrt{k/m}$ olur.

Herhangi yük halinde çözüm;



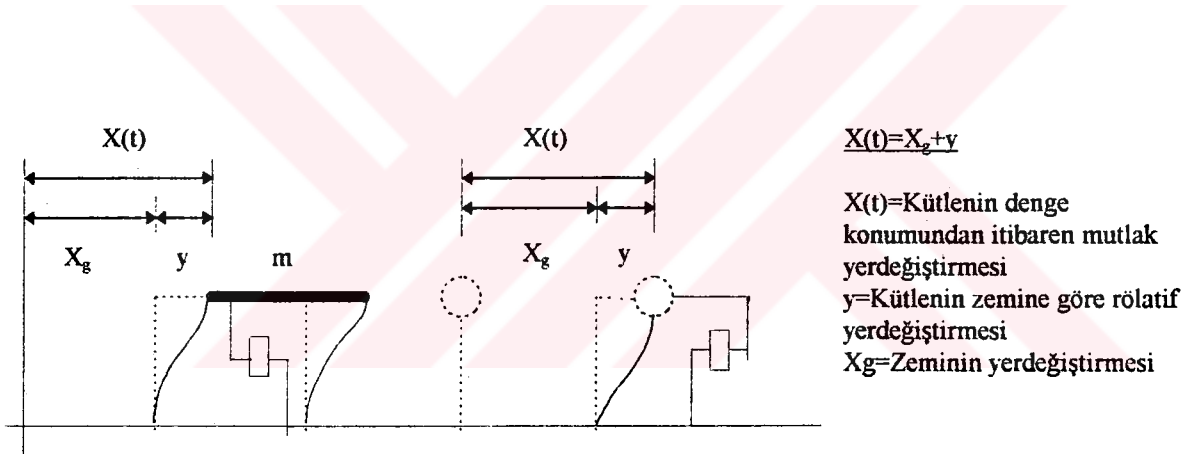
$$x = \frac{1}{m\omega_0} \int_0^t F(\tau) \cdot e^{-\omega\xi(t-\tau)} \cdot \sin\omega_0(t-\tau) d\tau$$

$$\omega_0 = \omega\sqrt{1-\xi^2}$$

Şekil 4.4

şeklinde olur. bu çözüme Duhamel İntegrali denir. Bu denklemden ω_0/ω_D sönmüş doğal frekans olarak adlandırılır ve $\omega_0 = \omega\sqrt{1-\xi^2}$ olarak hesaplanır.

Deprem etkisindeki tek serbestlik dereceli bir sistemin mekanik modeli;



Şekil 4.5

ve genel hareket denklemi;

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \quad (4.27)$$

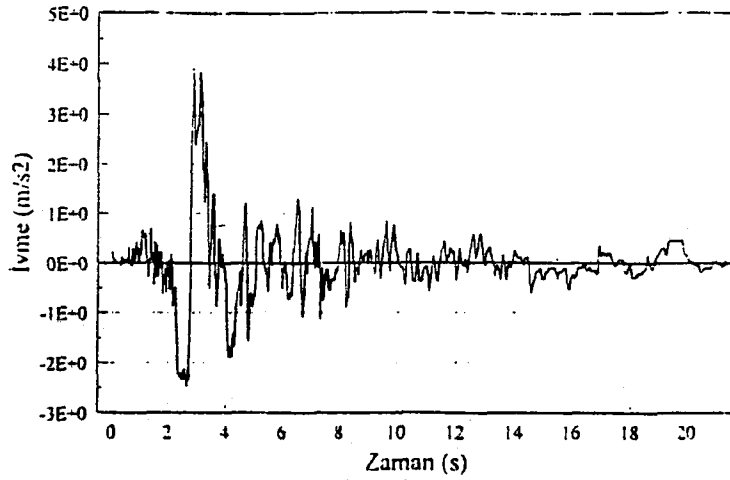
Tek serbestlik dereceli sistemin depreme mukabelesi için elde edilen bu denklemin, zorlanmış titreşime maruz tek serbestlik dereceli sistemin titreşim denkleminin tek farkı etki eden kuvvettir. Deprem koşullarında etki eden kuvvet, zeminin ivmesiyle sistemin ağırlığının çarpımına eşittir. $F(t) = -m\ddot{x}_g$ dir. burada Duhamel İntegrali uygulanırsa;

$$y = \frac{1}{\omega_0} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \cdot e^{-\omega \xi(t-\tau)} \cdot \sin \omega_0(t-\tau) d\tau \quad (4.28)$$

elde edilir. Duhamel İntegrali ile deprem hareketine ait rölatif yerdeğiştirme elde edildikten sonra türev yoluyla rölatif hız (\dot{y}) ve rölatif ivme (\ddot{y}) elde edilebilir. Böylece deprem mukabele denklemlerinin mutlak maksimumları T , ω ve ξ (sönüm yüzdesi) cinsinden bulunursa, depreme ait yer değiştirme, hız ve ivme spektrumları elde edilir. Mukabele spektrumları bir yapının maksimum mukabelesinin bulunması ve hesaplarının buna göre yapılmasının sağlamak için elde edilmektedir.

4.4.3.2 Deprem Spektrumları

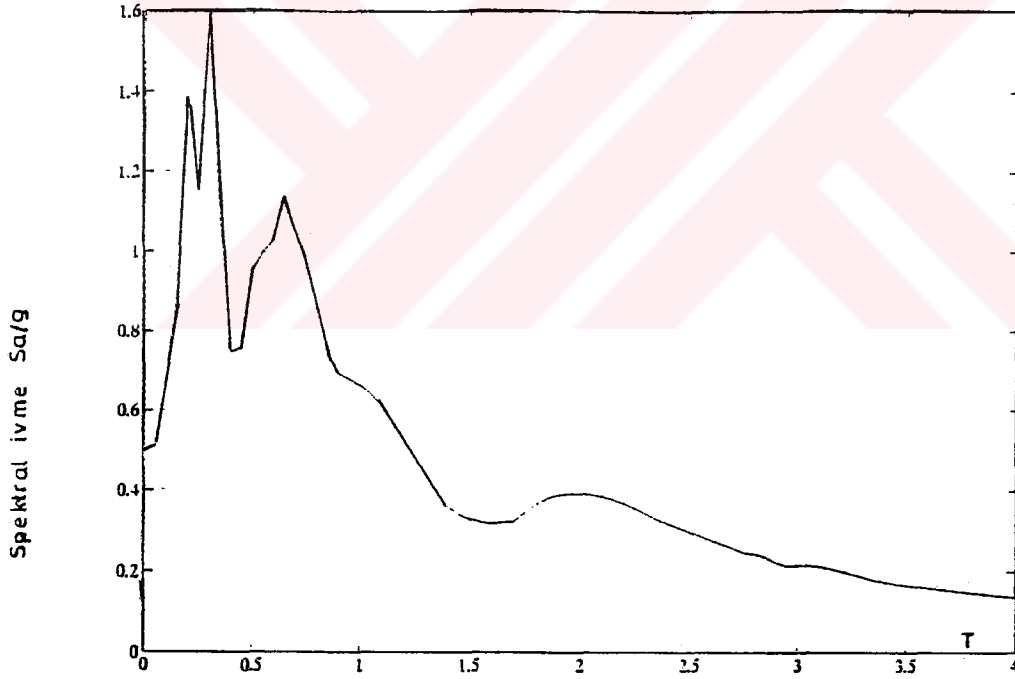
Yapıların deprem etkisine göre hesabında değişik deprem kayıtlarını veya en azından bunlardan birini alarak hareket denklemlerini zaman ya da frekans alanında integre ederek yerdeğiştirme, hız, ivme ve elastik kuvvetlerin bulunması şeklinde bir yol izlenir. Bir depremin spektrumu; Deprem etkisine maruz Tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışının maksimumunu serbest titreşim denklemine bağlı olarak gösteren eğridir.



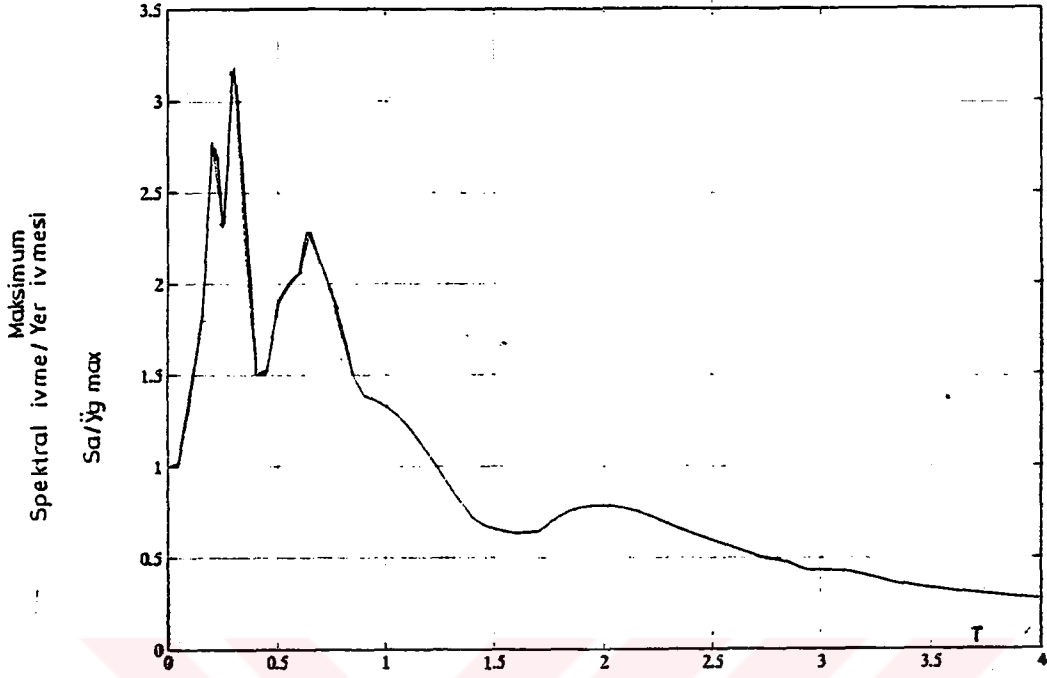
Şekil 4.6:Erzincan Depremi , 1992 Kuzey - Güney bileşeni

Belirgin bir yer hareketine maruz Tek serbestlik derecelili sistemlerin deprem hareketine maruz olan davranışının en büyük sayısal değerinin yapının sönüm oranına (ξ), periyoduna (T) bağlı olan fonksiyonuna davranış spektrumu denir. Davranış spektrumunun analizinde aynı yer hareketine maruz kalmış Tek serbestlik dereceli birçok çeşitli periyod ve sönüm oranlı yapı dikkate alınır.

Bu yapıların deprem anındaki yer değiştirme kayıtlarının maksimum değerleri yer değiştirme - spektrum eğrisini meydana getirir. Bu eğri ayrıca hız ve ivme içinde çizilebilir.



Şekil 4.7: Erzincan depremi ivme spektrum eğrisi (doğu - batı)



Şekil 4.8: Erzincan depremi normalize ivme spektrum eğrisi (doğu - batı)

Tek serbestlik dereceli sistemin yerdeğiştirme ifadesindeki integral içi,

$$\int_0^t \ddot{x}_g \cdot e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_0(t-\tau) d\tau \text{ dir.}$$

Bu denklem yer hareketi ile ilgilidir ve hız boyutundadır. Bu integralin maksimum değerine S_v dersek, yerdeğiştirme de maksimum olacaktır. Ve;

$$y_{\max} = \frac{1}{\omega} S_{\max} = \frac{1}{\omega} S_v \quad (4.29)$$

olarak yazılabilir. Burada S_v hız spektrumudur. Deprem hareketleri için yaklaşık olarak, kütlelerin maksimum rölatif yer değıştirme hızı ve maksimum mutlak ivmesi arasında aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

Maksimum rölatif yer değiştirme :

$$y_{\max} = S_d = \frac{1}{\omega} S_v, \quad (4.30)$$

Maksimum rölatif hız:

$$\dot{y}_{\max} = S_v = \omega S_d, \quad (4.31)$$

Maksimum mutlak ivme:

$$\ddot{y}_{\max} = S_a = \omega S_v = \omega^2 S_d \quad (4.32)$$

4.4.3.3 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Bütün mühendislik yapıları çok serbestlik derecelidir. Çözüm kolaylığı bakımından idealleştirilmiş basit bir sistem ele alınır. Çok serbestlik dereceli sistemlerde her bir serbestlik derecesi için bir diferansiyel hareket denklemi yazılır. Her sistemin serbestlik derecesi kadar mod şekli vardır. Çok serbestlik dereceli sistemlerin genel hareket denklemi;

$$[m]\{\ddot{y}\} + [c]\{\dot{y}\} + [k]\{y\} = \{F(t)\}$$

dir. Sönümsüz serbest titreşim durumunda hareket denklemi;

$$[m]\{\ddot{y}\} + [k]\{y\} = 0$$

olur ve çözümü $\{y\} = \{\phi\} \sin(\omega_i t + \theta)$ dir. Buna göre denklem;

$$|[k] - \omega_i^2 [m]| = 0$$

olur.

Buna karakteristik ya da frekans denklemi denir. Burada n sayıda özel değer ω_i bulunur ki bunlara mod denir. n sayıdaki ω_i değerine $\{\phi\}$, özel değerleri karşı gelir.

$\{\phi\}_i$ vektörüne, ω_i serbest titreşim frekansına karşı gelen serbest titreşim mod şekli denir.

Buradan doğal periyotlar

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

olarak bulunur. $\{\phi\}_i$ vektörü yer değiştirmelere karşılık gelmektedir. Dolayısıyla mod şekli, sistemin o frekans ile titreşimi sırasında aldığı konumu gösterir.

Çok serbestlik dereceli sistemlerin depreme mukabelesini hesaplamak tek serbestlik dereceli sistemlerin hesabına göre daha karışıktır. Çok serbestlik dereceli sönümsüz sistemlerde yer hareketi sonucunda denklem;

$$[m]\{\ddot{y}\} + [k]\{y\} = -[m]\{I\}\ddot{x}_g$$

şeklini alır.

Serbest titreşim sonucunda elde edilen karakteristik denklemin, n tane pozitif, n tane de negatif kökü vardır. Burada genel çözüm $\{y\} = \{\phi\} \sin(\omega t + \theta)$ biçiminde değil,

$$\{y\} = \sum_{i=1}^n \{\phi_i\} \sin(\omega_i t + \theta)$$

şeklinde olması gerekmektedir. $\{\phi_i\}$ 'lerde ω_i ler gibi yapının özel değerleridir. Sistem çok serbestlik dereceli olduğundan;

$$[\phi] = [\{\phi_1\} \{\phi_2\} \dots \{\phi_i\} \dots \{\phi_n\}]$$

olmak üzere

$$\{y\} = \{\phi_1\} Y_1 + \{\phi_2\} Y_2 + \dots + \{\phi_i\} Y_i + \dots + \{\phi_n\} Y_n$$

ya da kısaca

$$\{y\} = [\phi] \{Y\}$$

olur.

Burada Y_i değerlerine Genelleştirilmiş koordinatlar denir.

Genelleştirilmiş koordinatlarda hareket denklemi;

$$[M][\phi]\{\ddot{Y}\} + [K][\phi]\{Y\} = -[M][I]\ddot{x}_g \quad (4.33)$$

elde edilir. Çeşitli kısaltmalarla hareket denklemi;

$$\{\phi_j\}^T [M] \{\phi_j\} = M_j \quad \text{Genelleştirilmiş kütle} \quad (4.34)$$

$$\{\phi_j\}^T [K] \{\phi_j\} = K_j \quad \text{Genelleştirilmiş yay} \quad (4.35)$$

$$\alpha_j = \frac{\{\phi_j\}^T [M] [I]}{\{\phi_j\}^T [M] \{\phi_j\}} \quad \text{Katılım çarpanı} \quad (4.36)$$

$$\omega_j^2 = \frac{K_j}{M_j} \quad j. \text{ modun özel değeri} \quad (4.37)$$

$$\ddot{Y}_j + \omega_j^2 Y_j = -\alpha_j \cdot \ddot{x}_g \quad (4.38)$$

şeklini alır. Deprem tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri α_j çarpanı farkı ile birbirinin benzeridir. Bu durumda yapının özel değerleri biliniyorsa ve tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi çözülmüşse buradan $\{Y\}$ genelleştirilmiş koordinatlar bulunabilir.

$\{y\} = [\phi]\{Y\}$ bağıntısı ile de $\{y\}$ gerçek geometrik koordinatları bulmak mümkündür. Buna mod süperpozisyon yöntemi denir.

Belirli sönüm oranı için tek serbestlik dereceli sisteme ait, yapının frekansı bazında maksimum cevaplarını (spectral responses) gösteren bir deprem spektrumu veya bir yapı bilgisi için tasarım spektrumu bilinirse yapının $Y_{i,max}$ modal maksimumlarını elde etmek kolaydır. Tek serbestlik dereceli sistemlerde max yer değiştirme (4.39) ile bulunabilir.

$$y_{\max} = \frac{1}{\omega} S_{\max} \quad (4.39)$$

Çok serbestlik dereceli sistemlerde bu genelleştirilmiş koordinatlarda

$$Y_{i,\max} = \alpha_i \frac{S_d(\omega_i, \xi_i)}{\omega_i} \quad (4.40)$$

elde edilebilir. Buradan gerçek modal maksimumlara

$$\{y_i\}_{\max} = \{\phi_i\} Y_{i,\max} \quad (4.41)$$

geçilebilir. Ancak buradaki sorun, eş zamanlı olmayan bu modal maksimumların ne şekilde toplanacağıdır (süperpoze edileceği). Bu konuda çeşitli yöntemler bulunmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerden biri “modal spektral değerlerin karelerinin toplamının karekökünü almak”; diğeri California Deprem Yönetmeliğinde yer alan CQC yöntemidir.

5 YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1 Çalışmada kullanılan bilgisayar Programı

Bu çalışmada Prof. Edward L. Wilson tarafından geliştirilen SAP 90 programı kullanılmıştır. Program sonlu elemanlar metodunu kullanarak statik ve dinamik analiz yapabilmektedir. (6)

5.1.1 Programın Kullanmakta olduğu Eleman Tipleri

SAP 90 programında yapıların analizinde, yapının veya sürekli ortamın sonlu elemanlara bölünmesinde dört esas tipte eleman kullanılmaktadır. Bunlar:

1. Frame (çubuk eleman): İki ve üç boyutlu çubuk sistemlerin modellenmesinde ve analizlerinde kullanılır.
2. Shell (kabuk eleman): Üç boyutlu plak ve kabuk yapıların modellenmesinde ve analizlerinde kullanılır. Üç veya dört düğüm noktasının meydana getirdikleri elemanlara uygulanabilir.
3. Asolid (2B tuğla eleman): İki ve üç boyutlu düzlem yapıların modellenmesi ve analizlerinde kullanılır. Düğümler 3-9 arasında değişebilir.
4. Solid (3B tuğla eleman): Üç boyutlu kalın yapıların modellenmesinde ve analizinde kullanılır. Bu eleman 3 boyutlu ve 8 köşelidir.

5.1.2 Programın Giriş ve Çıkış Bilgileri

Bu çalışmada kullanılan modelleme sisteminde Shell (kabuk) elemanı kullanılmıştır. Bu nedenle sadece kabuk eleman giriş ve çıkış datalarından söz edilecektir.

5.1.2.1 Giriş Bilgileri

A. Sistem Bilgileri:

SYSTEM: Bilgi başlığı

R=ropt L=nld C=ncyc V=nfq T=tot P=per W=wopt Z=ritz

ropt	:	Mesaj startı
	=0	Normal uygulama yolu
	=1	Start yolu
nld	:	Yük durum numarası
ncyc	:	Dinamik analiz için harmonik yük (devir/sn)
nfq	:	Dinamik analizde mod sayısı
tol	:	Eigen analiz için yakınsama
per	:	Eigen analiz için periyot devir sayısı
wopt	:	Uyarı bastırma komutu
	=0	Bütün uyarılar dosyalanır
	=1	Uyarıları dosyalamadan işlem yapar
ritz	:	Ritz vektörü numara sayısında işlem yapar

B. Düğüm Noktalarına Ait Bilgiler:

JOINTS: Bilgi başlığı

jid X=x Y=y Z=z G=g₁,g₂,l,r Q=q₁,q₂,q₃,q₄,i_n,j_n

F=f,n_i,n_j,i_n,j_n L=l,n_i,n_j A=c₁,c₂,c₃,n_c,i_c,a S=s

jid	:	Düğüm tanıma noktası
x	:	Jid düğümünün global x ordinatı
y	:	Jid düğümünün global y ordinatı
z	:	Jid düğümünün global z ordinatı
G	:	Lineer düğüm üretimi
Q	:	Dörtgensel düğüm üretimi
F,L	:	Cephesel düğüm üretimi
S	:	Ölçek çarpanı
A	:	Silindirik ve küresel düğüm üretimi

C. Sınır Şartlarına Ait Bilgiler

RESTRAINTS: Bilgi Başlığı

J_1 J_2 inc $R=r_1,r_2,r_3,r_4,r_5,r_6$

J_1 : Birinci düğüm noktası

J_2 : Sonuncu düğüm noktası

inc : Düğüm artım sayısı

r_1 : x yerdeğiştirme sınır şartı

r_2 : y yerdeğiştirme sınır şartı

r_3 : z yerdeğiştirme sınır şartı

r_4 : x eksenli dönme sınır şartı

r_5 : y eksenli dönme sınır şartı

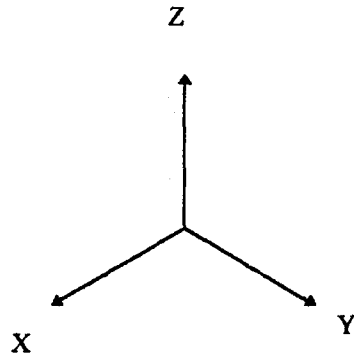
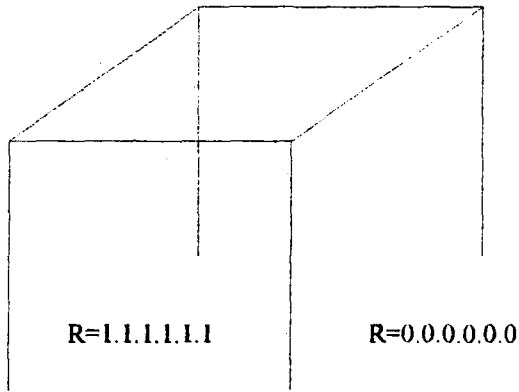
r_6 : z eksenli dönme sınır şartı

Eğer $r_1,..,r_6=0$: Hareket yada dönme var

$r_1,..,r_6=1$: Hareket yada dönme yok

Düşünülen üç boyutlu yapı modelinin her düğüm noktasında 6 adet deplasman bileşeni vardır. Yani her düğüm noktası global X,Y,Z eksenleri etrafında hareket edebilir ve yine bu eksenler etrafında dönebilir. bu 6 deplasman bileşeni her düğüm noktasının 6 serbestlik derecesine sahip olduğunu gösterir.

$R=0.0.0.0.0.0$



Global

$R=1.1.1.0.0.0$

$R=0.0.1.0.0.0$

Şekil 5.3

D. Kabuk Elemana Ait Bilgiler

SHELL: Bilgi Başlığı

- Kabuk Eleman Kontrol Bilgileri

NM=nmat X=x₁,x₂,...,x_{nld} Y=y₁,y₂,...,y_{nld} Z=z₁,z₂,...,z_{nld}
 T=t₁,t₂,...,t_{nld} P=p₁,p₂,...,p_{nld}

nmat : Malzeme çeşidi sayısı
 x₁,x₂ : x doğrultusu ağırlık katsayısı
 y₁,y₂ : y doğrultusu ağırlık katsayısı
 z₁,z₂ : z doğrultusu ağırlık katsayısı
 t₁,t₂ : Sıcaklık katsayısı
 p₁,p₂ : Basınç katsayısı

- Malzeme Özellikleri Verisi

nm E=e U=u W=w M=m TA=alpha
 nm : Malzeme kimlik numarası
 e : Elastiklik modülü
 u : Poisson oranı
 w : Birim Hacim ağırlık
 m : Birim kütle ağırlık
 alpha : Sıcaklık genleşme katsayısı

- Kabuk Eleman Mevki Bilgileri

nel JQ=j_i,j_j,j_k ETYPE=et M=mat TZ=tz TH=th₁,th₂ LP=n
 G=g₁,g₂

nel : Eleman tanımlama numarası
 j_i,j_j,j_k : Eleman düğüm noktası numarası
 et : Eleman tipi
 =0 Kabuk Eleman
 =1 Zar Eleman

	=2	Plak Eleman
mat	:	Eleman malzeme tipi
th ₁ ,th ₂	:	Eleman zar ve eğilme kalınlığı
n	:	Eleman lokal eksen doğrultu göstergesi
g ₁ ,g ₂	:	Eleman üretme parametreleri

5.1.2.2 Çıkış Bilgileri

Tüm hesaplamalar tamamlandıktan sonra bilgisayar bu sonuçlar için farklı dosyalar açar ve buralara aktarır. Bunlar ;

Dosya adı.SAP	:	veri datasını okur. Kontrol eder ve sunar
Dosya adı.SOL	:	Nokta deplasman ve reaksiyonları
Dosya adı.EIG	:	Özel değer analizi
Dosya adı.FEF	:	Elemanların düğüm noktası çıktıları
Dosya adı.F4F	:	Kabuk eleman kesit kuvvetleri
Dosya adı.ERR	:	Çözüm ve hata uyarıları
Dosya adı.RIT	:	Ritz-vektör analizini içerir

5.2 Boşluksuz L Plak

Uzun kenarı 30 m kısa kenarı 20 m lik L şekilli plak örnek olarak seçilmiştir. Plakın boyutları uzun kenardan başlayarak 30m, 7.5m, 5m, 2.5m, 12.5m, 10m 12.5m, ve 20m dir. Poisson oranı $\mu=0.20$ olarak seçilmiş, malzeme elastiklik modülü ise $2.85 E7$ kN/m² alınmıştır. Plak kalınlığı 30 cm dir. Köşedeki 2.5*5 m² lik boşluk merdiven boşluğu olarak düşünülerek buradaki sınır şartları serbest bırakılmıştır.

Plak sırasıyla 74, 293, 658, 1169, 1826, 2629 elemana ayrılmış bu durum 5.2 bölümünde sınır şartları belirtilmeksizin eleman boyutları ve adetleri verilerek tanıtım için sunulmuşlardır.

Bu plak “6 Çözümlenmeler” başlığı altında 4 farklı sınır şartı için “6.1 Statik Hesap” altbaşlığı altında statik açıdan, ve yine aynı bölüme “6.2 Dinamik Hesap” altbaşlığı altında dinamik yönden incelenecektir.

Kullanım kolaylığı bakımından plaklar eleman sayılarıyla değil, ağ yapılarıyla (05, 10, 15, 20, 25, 30) adlandırılacaklardır.

05	ağ yapısı	74 eleman
10	ağ yapısı	293 eleman
15	ağ yapısı	658 eleman
20	ağ yapısı	1169 eleman
25	ağ yapısı	1826 eleman
30	ağ yapısı	2629 eleman

05 Ağ Şekli

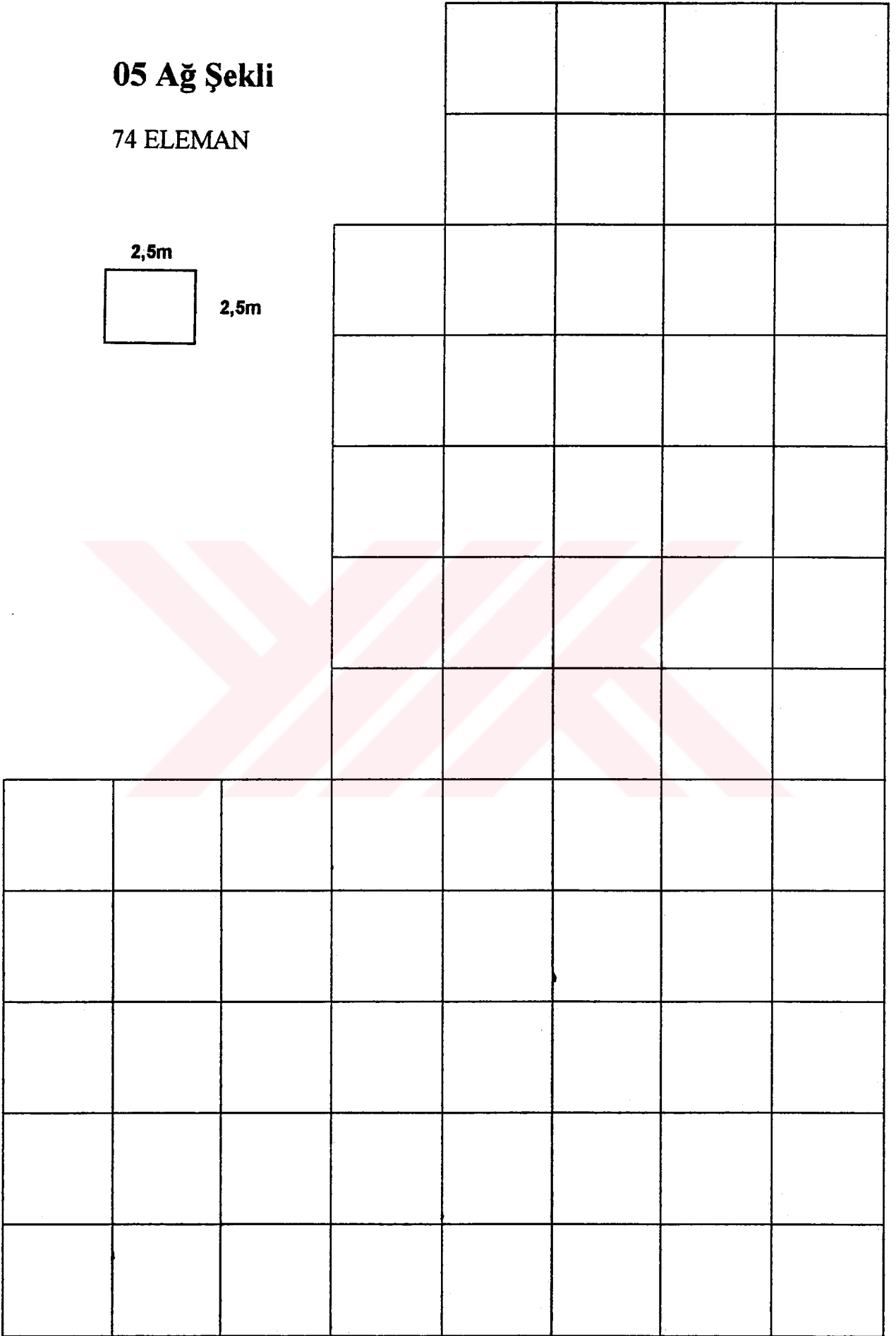
74 ELEMAN

2,5m



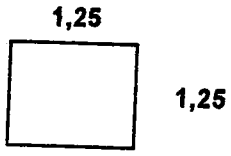
2,5m

YTU 05

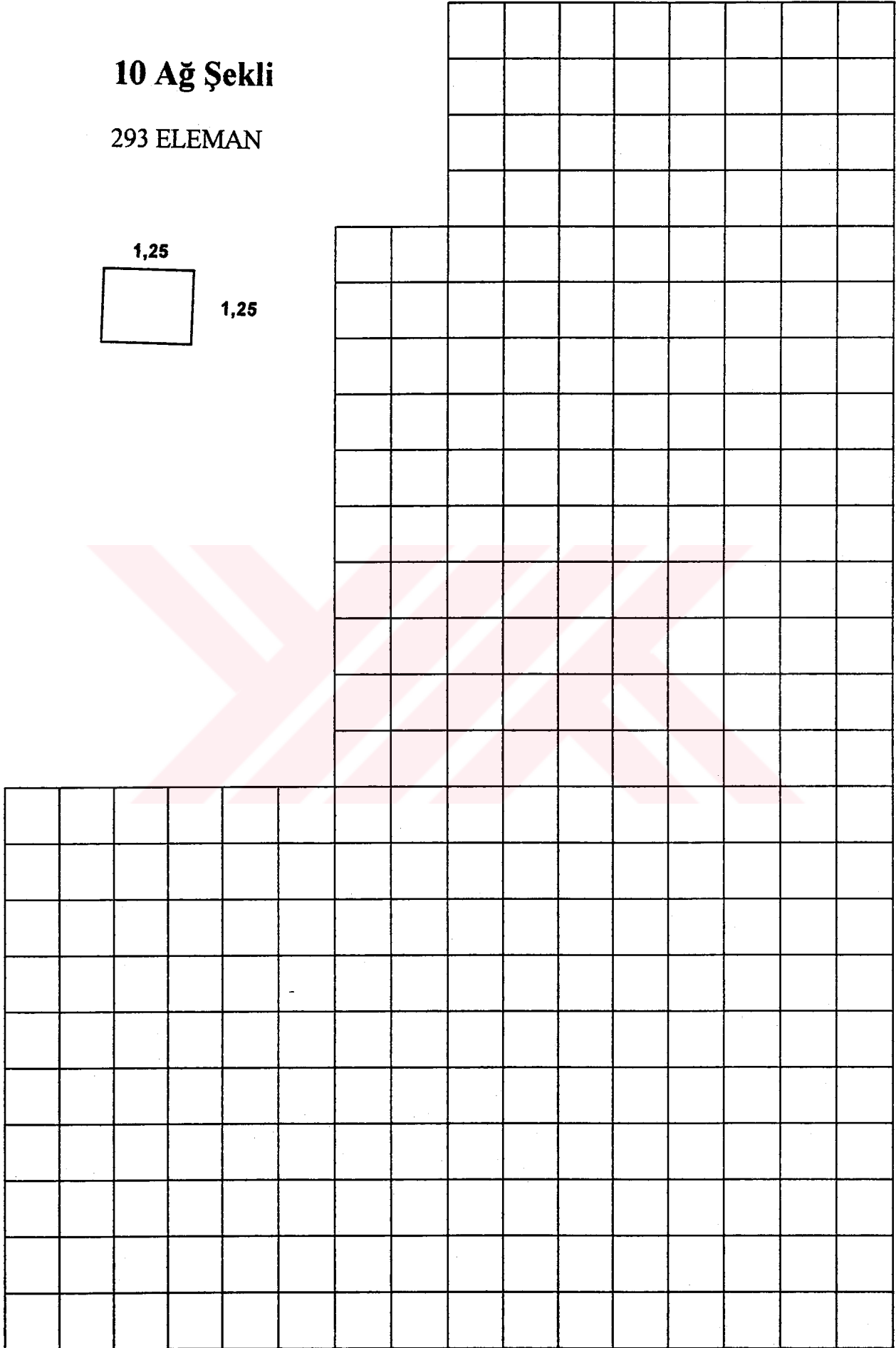


10 Ağ Şekli

293 ELEMEN



YTU 10



15 Ağ Şekli

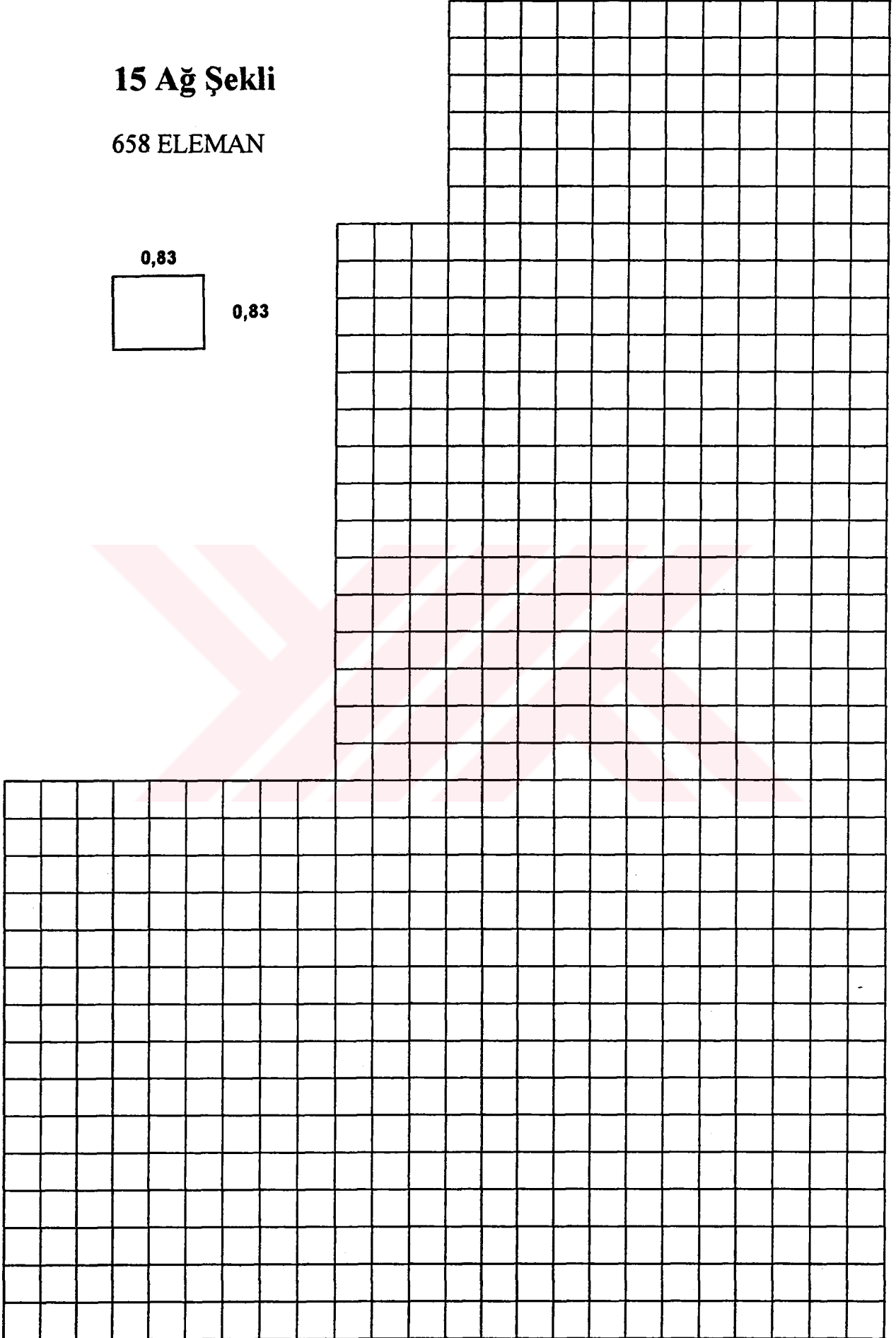
658 ELEMEN

0,83



0,83

YTU 15



20 Ağ Şekli

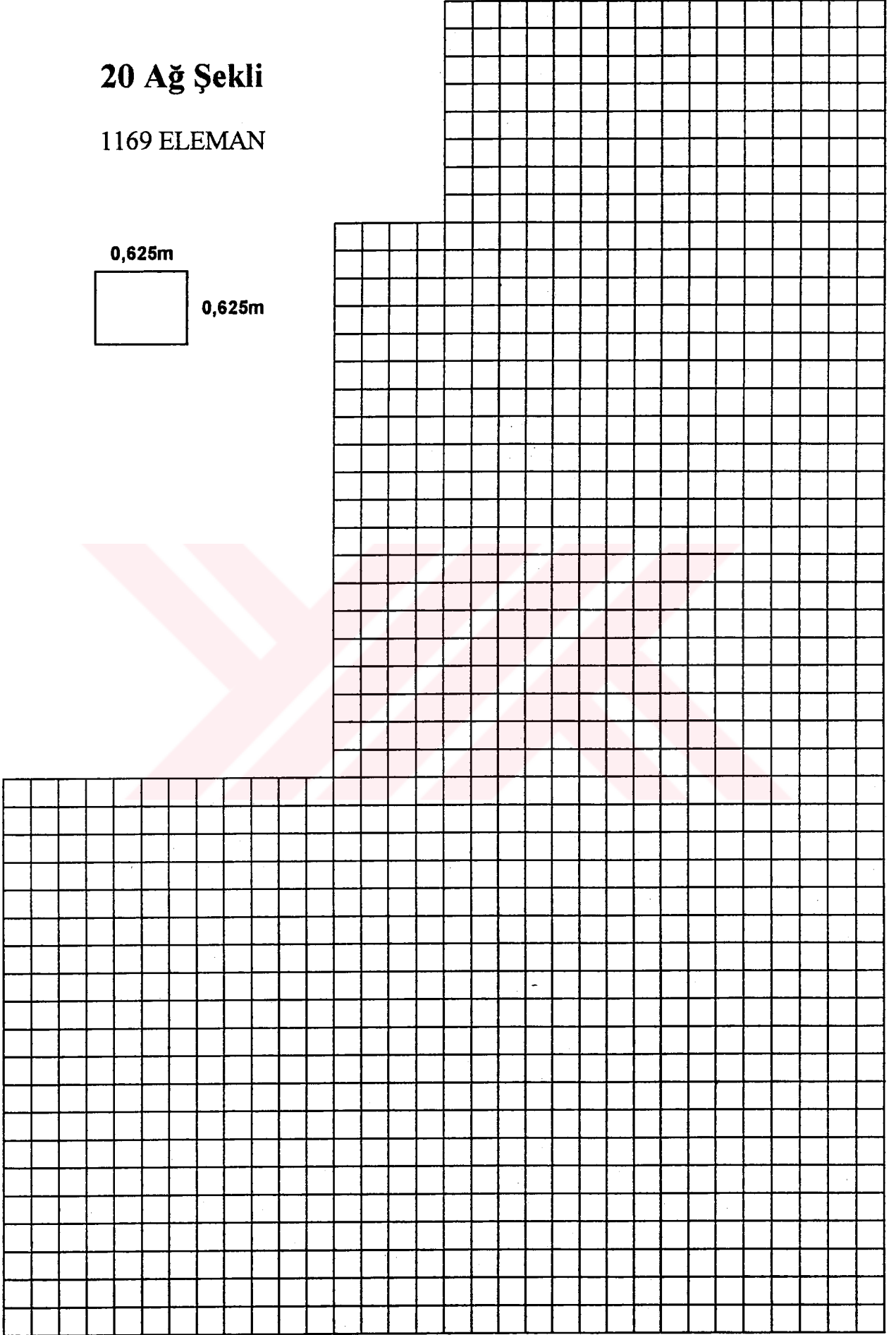
1169 ELEMEN

0,625m



0,625m

YTU 20



25 Ağ Şekli

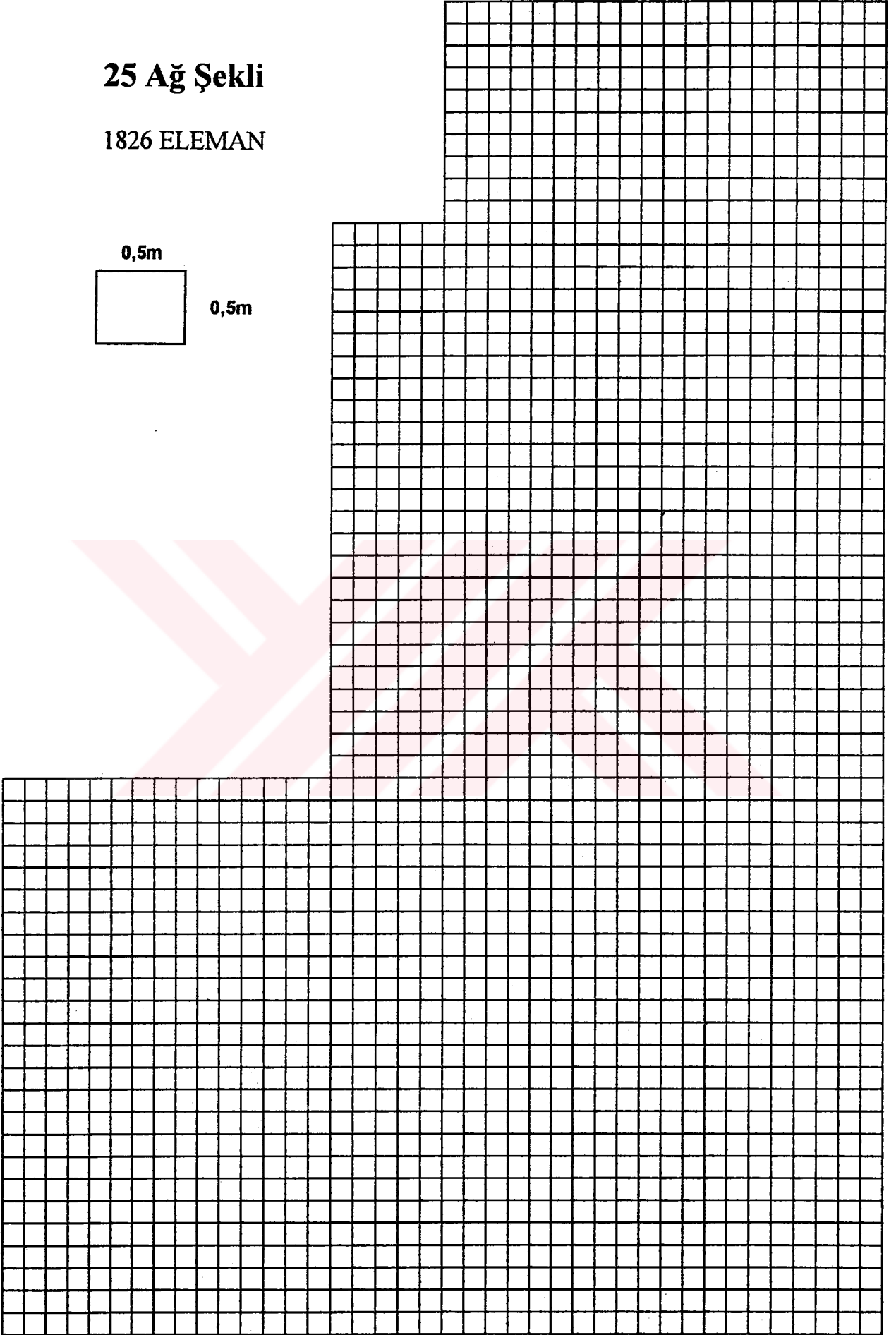
1826 ELEMAN

0,5m



0,5m

YTU 25



30 Ağ Şekli

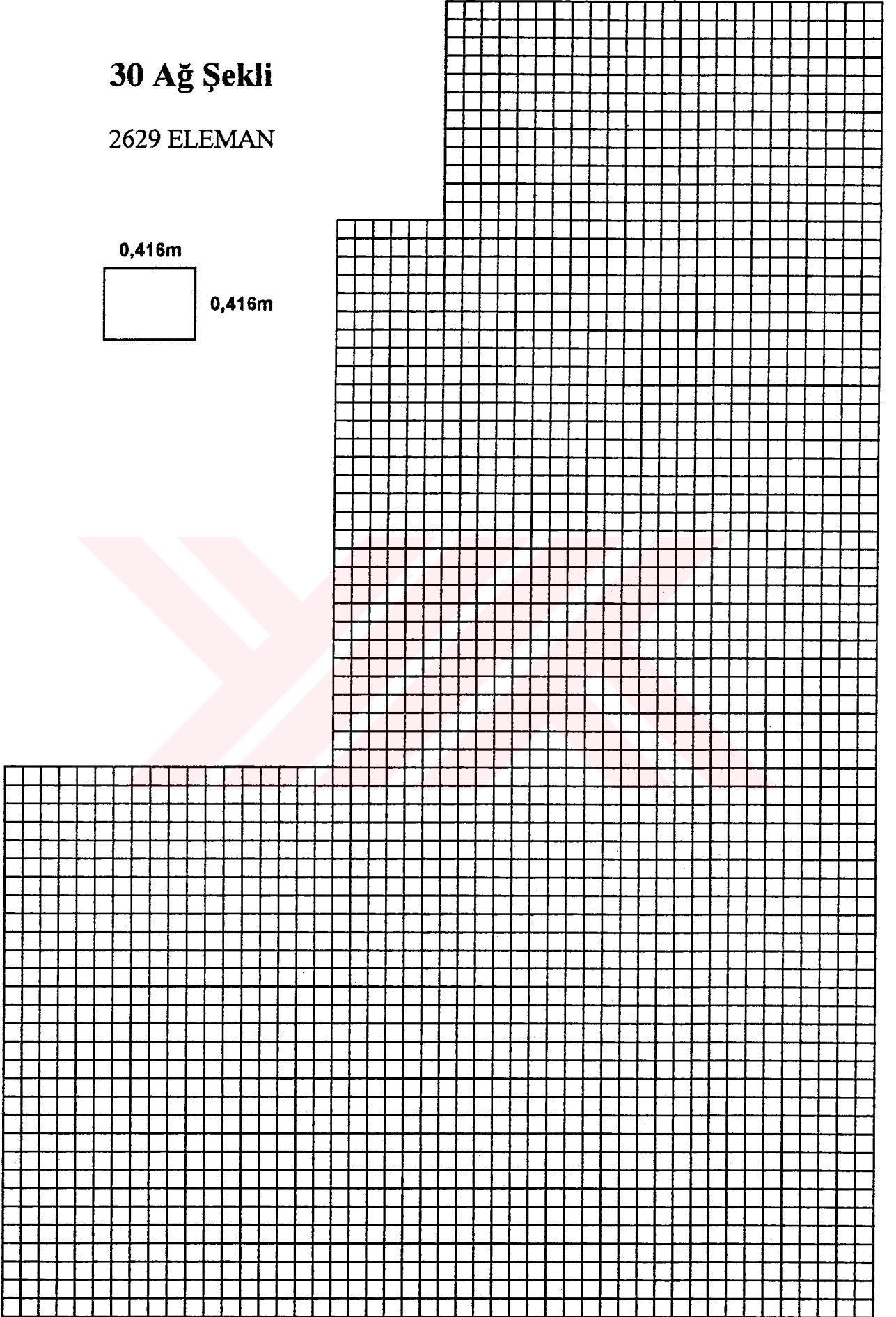
2629 ELEMEN

0,416m



0,416m

YTU 30



5.3 Boşluklu L Plak

Boşluk etkisi altındaki plak için plağı ana özelliklerinde hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Yine L şekilli plağın boyutları uzun kenardan başlayarak 30m, 7.5m, 5m, 2.5m, 12.5m, 10m 12.5m, ve 20m dir. Poisson oranı $\mu=0.20$ olarak seçilmiş, malzeme elastiklik modülü ise $2.85 E7 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Plak kalınlığı 30 cm dir. Köşedeki $2.5*5 \text{ m}^2$ lik boşluk aynı şekilde merdiven boşluğu olarak düşünülerek buradaki sınır şartları serbest bırakılmıştır.

Bu kez genel olarak max. açıklık momentlerinin gerçekleşeceği düşünülen bölgede bir yırtık etkisi oluşturulmuştur. Boşlu etkisi altındaki durum yaratılmıştır.

Plak sırasıyla 66, 271, 586, 1041, 1626, 2341 elemana ayrılmış bu durum 5.3 bölümünde sınır şartları belirtilmeksizin eleman boyutları ve adetleri verilerek tanıtım için sunulmuşlardır.

Bu plak “6 Çözümlenmeler” başlığı altında 4 farklı sınır şartı için “6.1 Statik Hesap” altbaşlığı altında statik açıdan, ve yine aynı bölüme “6.2 Dinamik Hesap” altbaşlığı altında dinamik yönden incelenecektir.

Kullanım kolaylığı bakımından plaklar eleman sayılarıyla değil, ağ yapılarıyla (05, 10, 15, 20, 25, 30) adlandırılacaklardır.

05	ağ yapısı	66 eleman
10	ağ yapısı	271 eleman
15	ağ yapısı	586 eleman
20	ağ yapısı	1041 eleman
25	ağ yapısı	1626 eleman
30	ağ yapısı	2341 eleman

10 Ağ Şekli

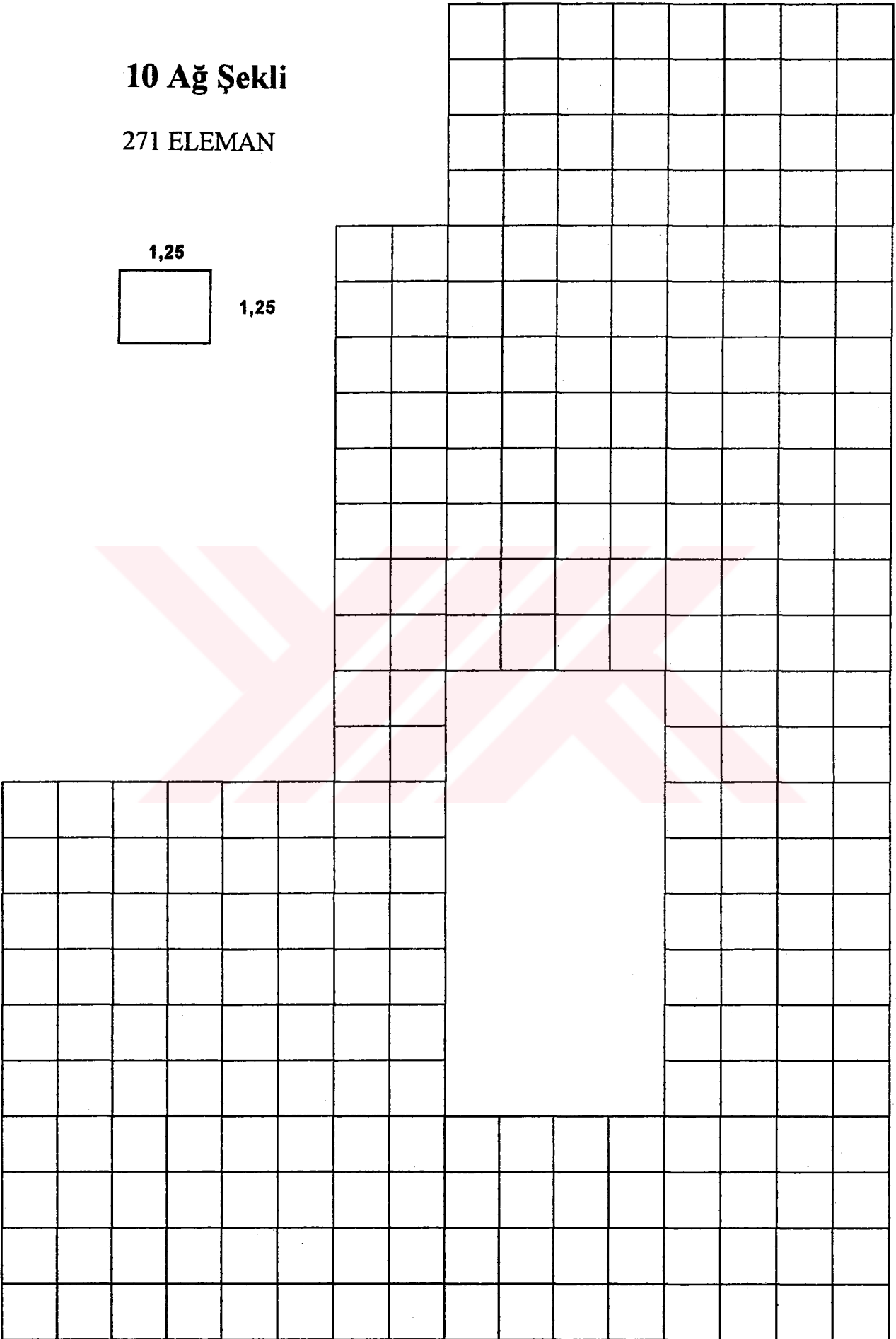
271 ELEMAN

1,25



1,25

YTU 10 boşluk durumu



15 Ağ Şekli

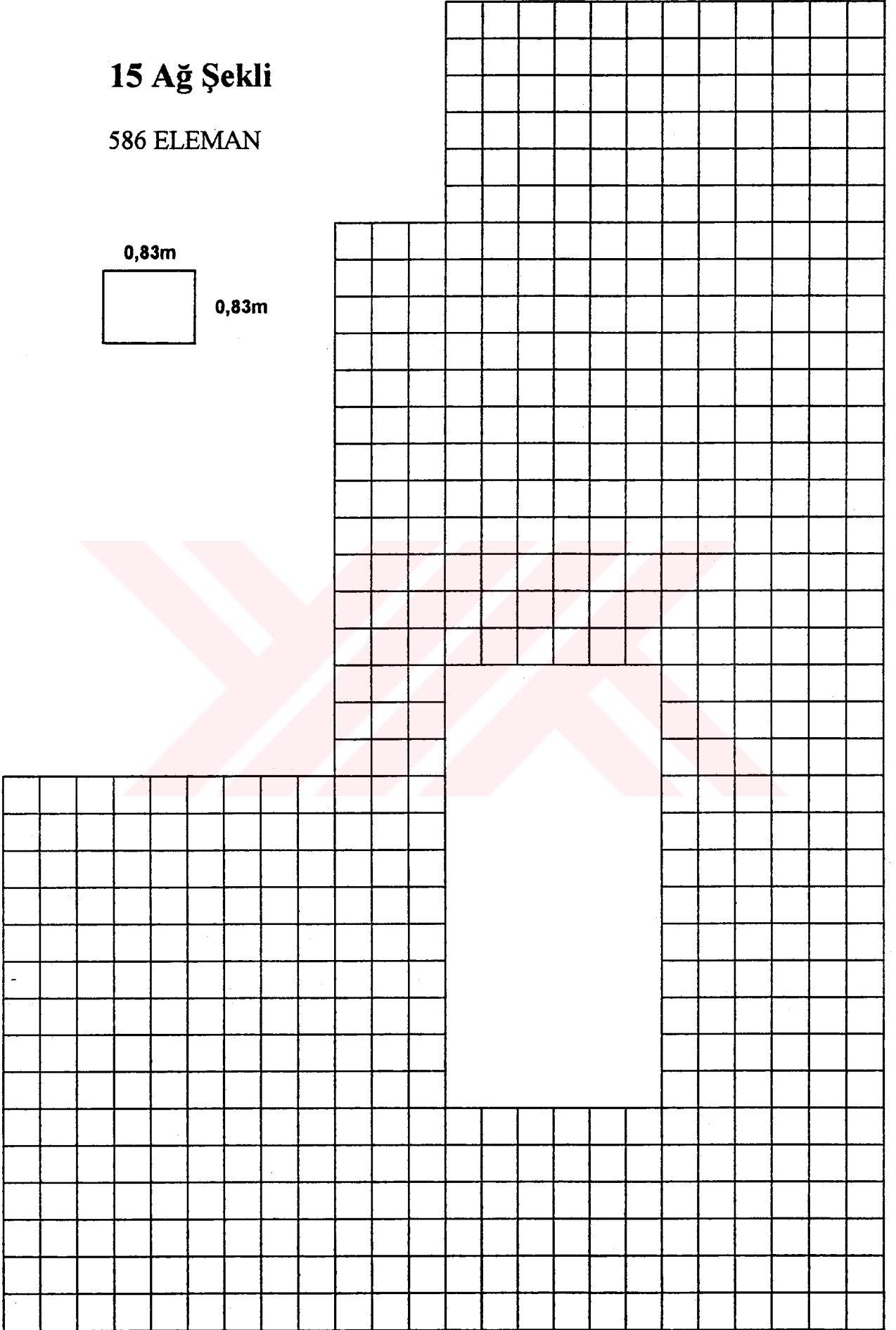
586 ELEMEN

0,83m



0,83m

YTU 15 bosluk durumu



20 Ağ Şekli

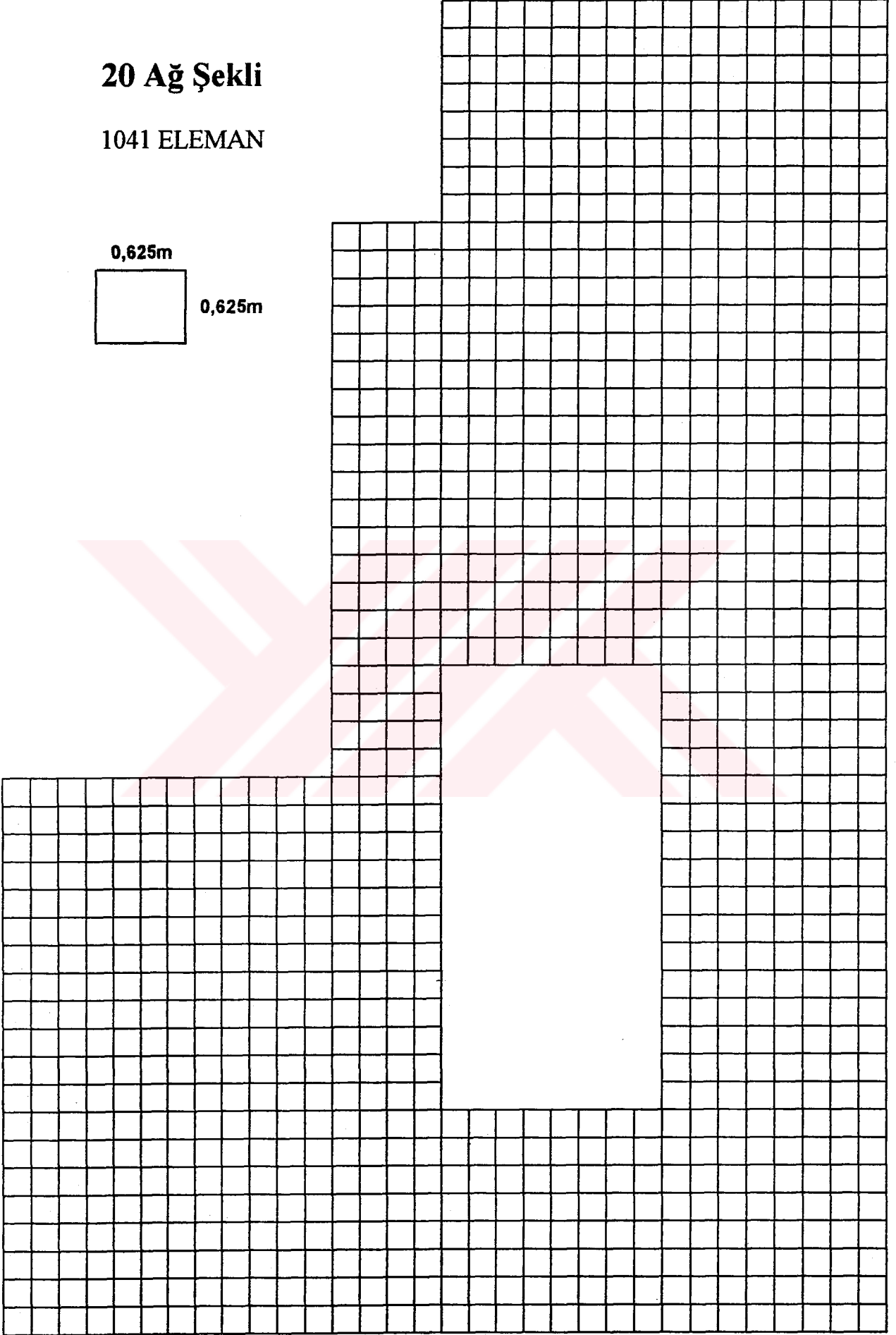
1041 ELEMAN

0,625m



0,625m

YTU 20 boşluk durumu



25 Ağ Şekli

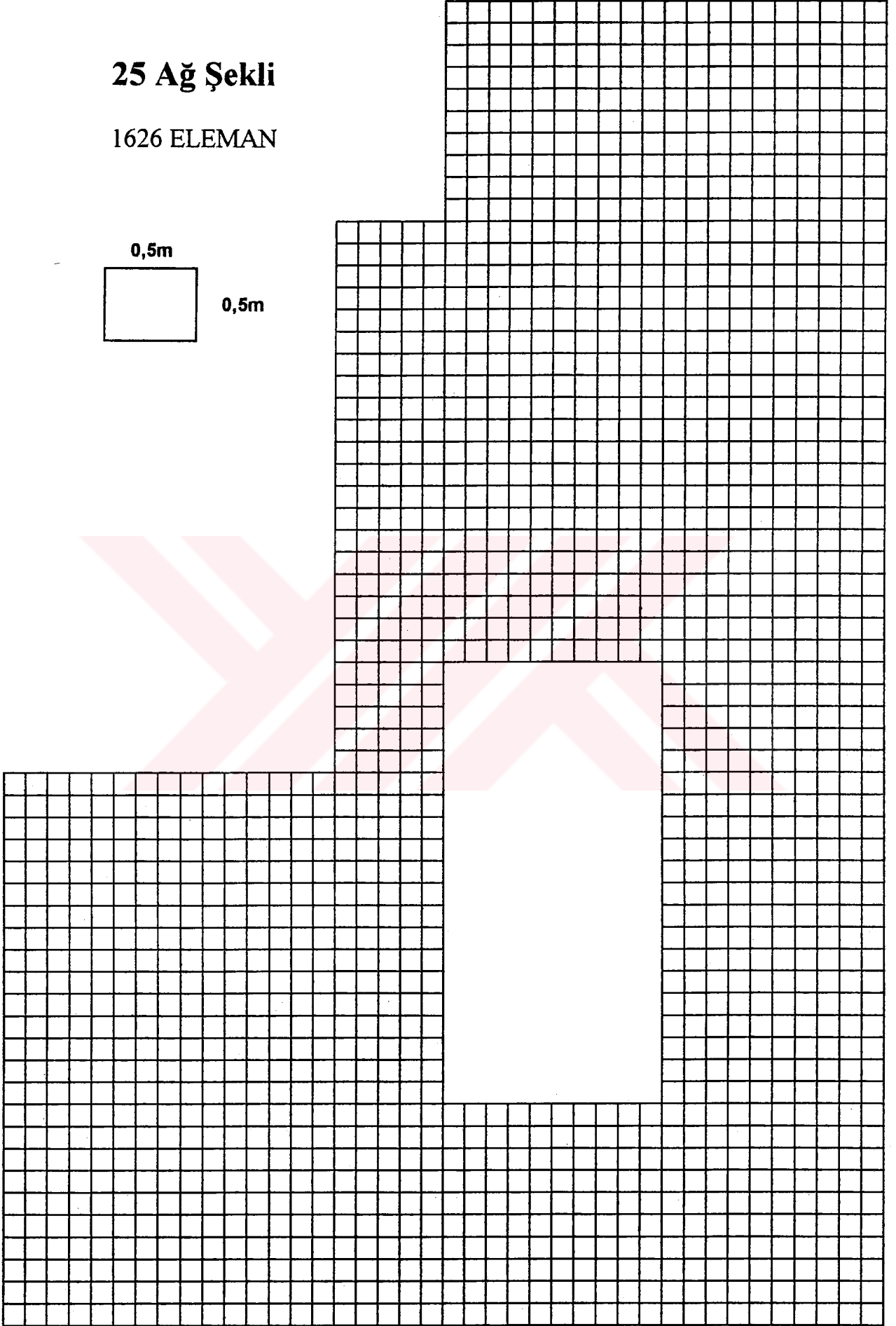
1626 ELEMAN

0,5m



0,5m

YTU 25 bosluk durumu



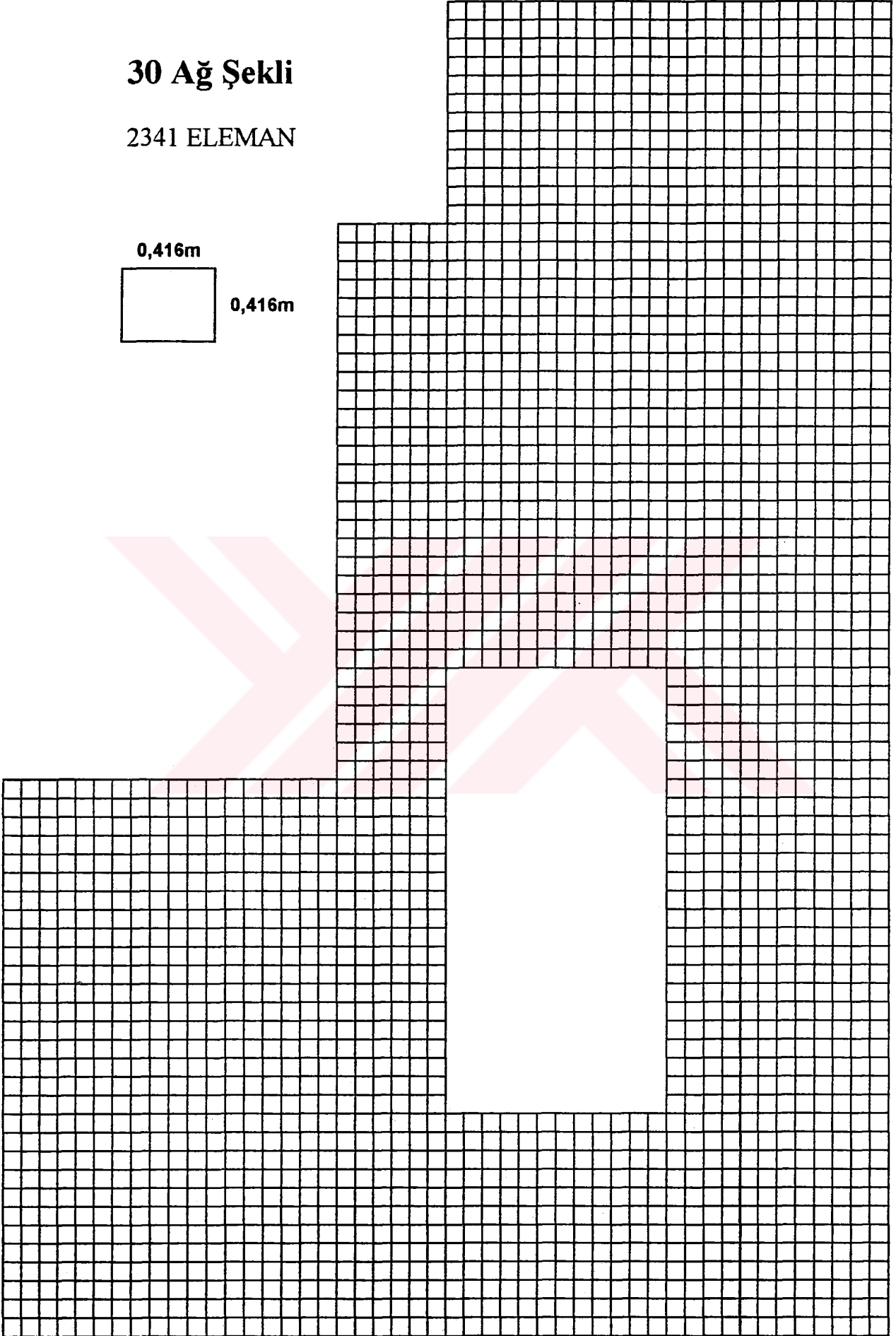
30 Ağ Şekli

2341 ELEMEN

0,416m



0,416m



6.1 Statik Hesap

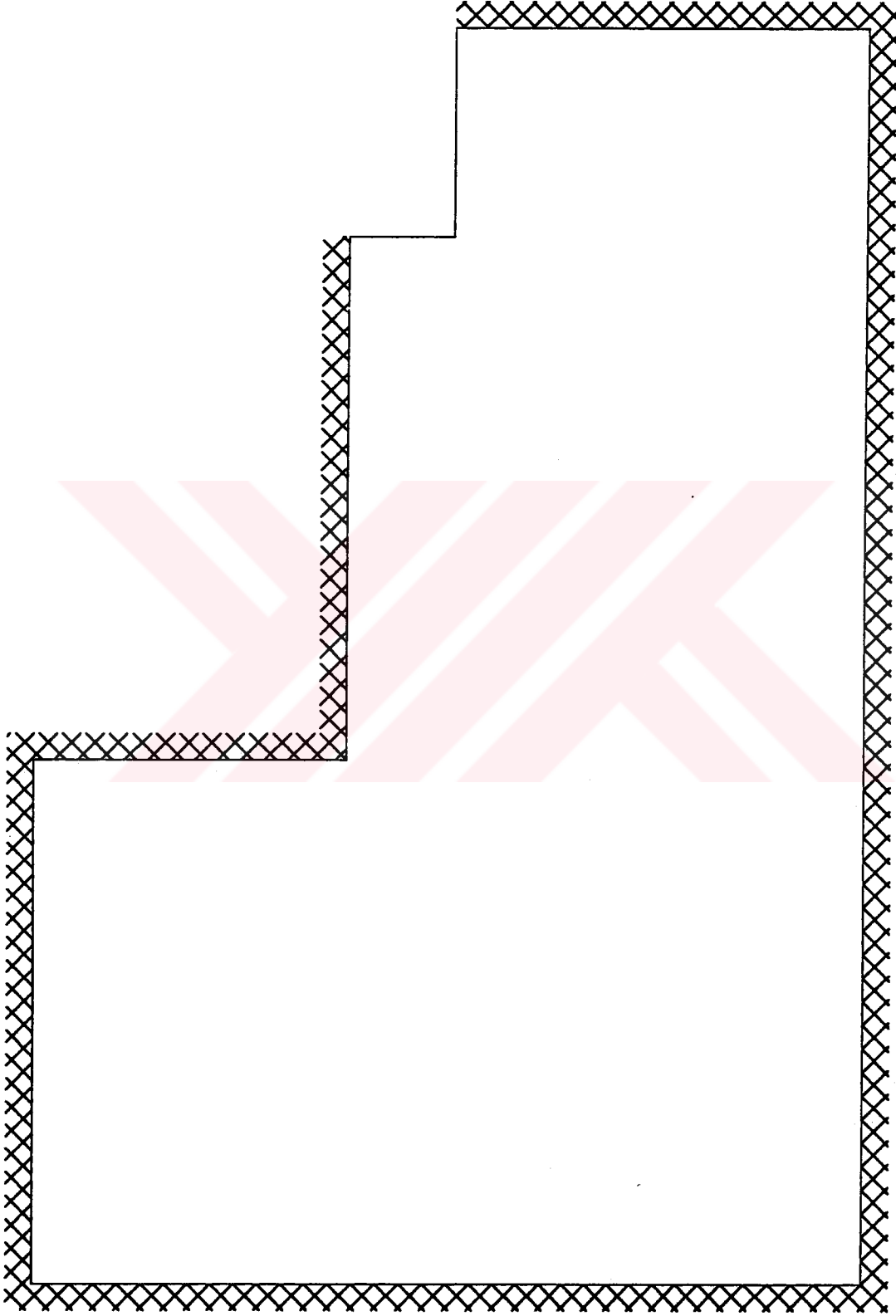
Bu bölümde seçilmiş olan L plak 50 kN/m^2 lik sabit yük düzeyde uygulanarak çözülmüştür. Poisson oranı $\mu=0.20$ olarak seçilmiş, malzeme elastiklik modülü ise 2.85 E7 kN/m^2 alınmıştır. Plak kalınlığı 30 cm dir. Plak 6 farklı ağ şekli için, 4 farklı sınır şartıyla çözülmüştür. İkinci kısımda plakta (5.00,5.00) koordinatında $10\text{m} \times 5\text{m}$ lik yırtık etkisi oluşturularak tekrar çözüme gidilmiştir.

Bu altbölümde bu koşullar altında çözüm yapılmıştır. Ağ yapısına göre moment ve düşey deplasman değişim grafikleri sunulmuş, oluşturulan moment dağılım tablolarında maksimum ve negatif momentlerin değerce en büyükleri ağ yapılarına bağlı olarak işaretlenmiştir.

Ayrıca ağlara ait verimlik, moment değişim oran tabloları oluşturularak tüm sonuçlar irdelenmiştir.

6.1 1. Sınır Şartı

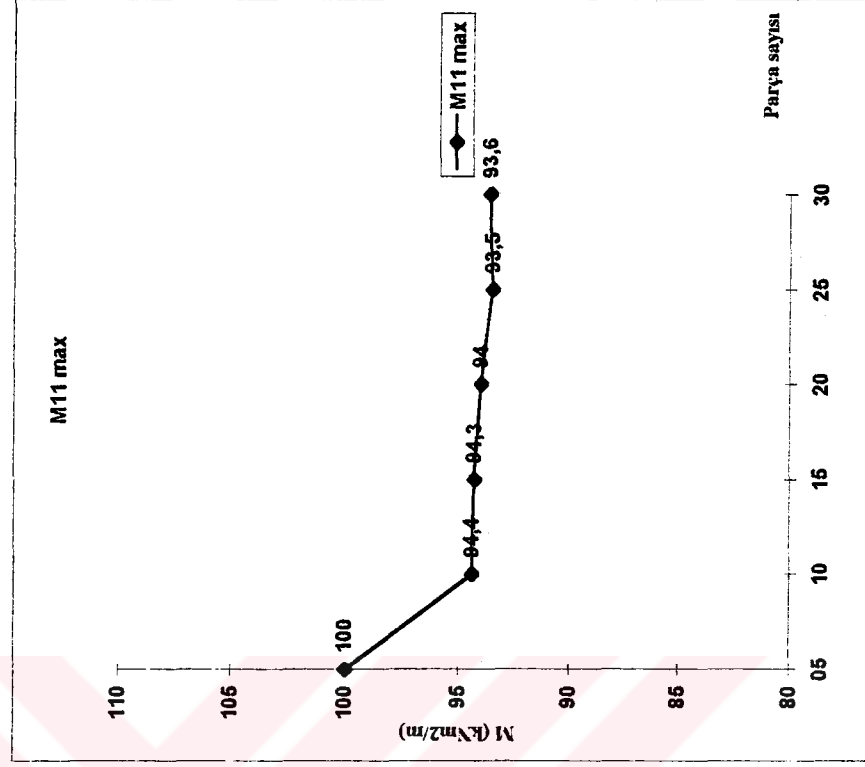
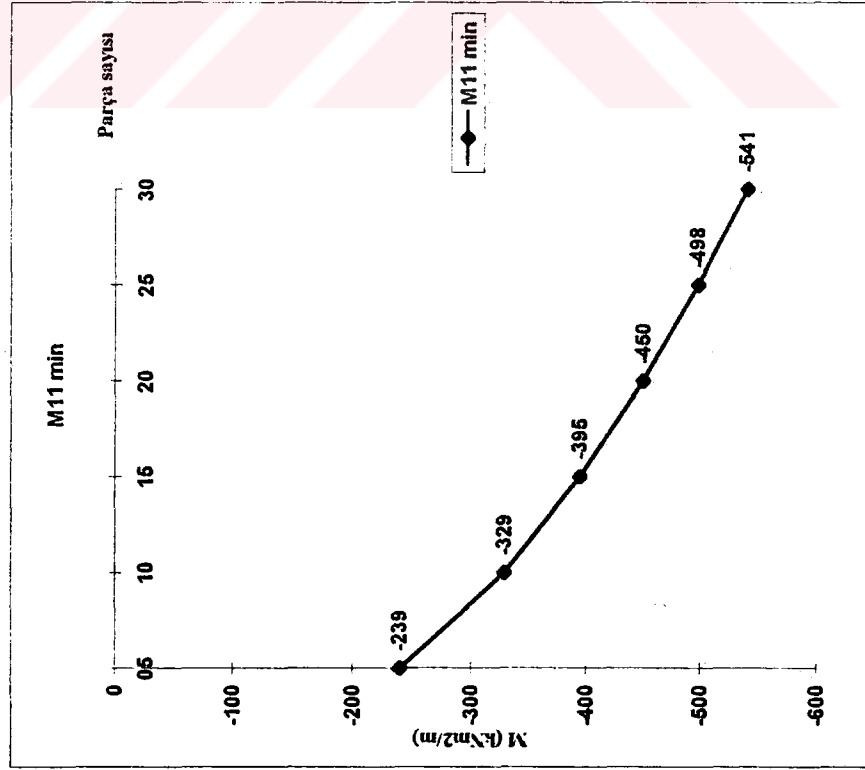
(Bütün Kenarlarından Ankastre L Plak)



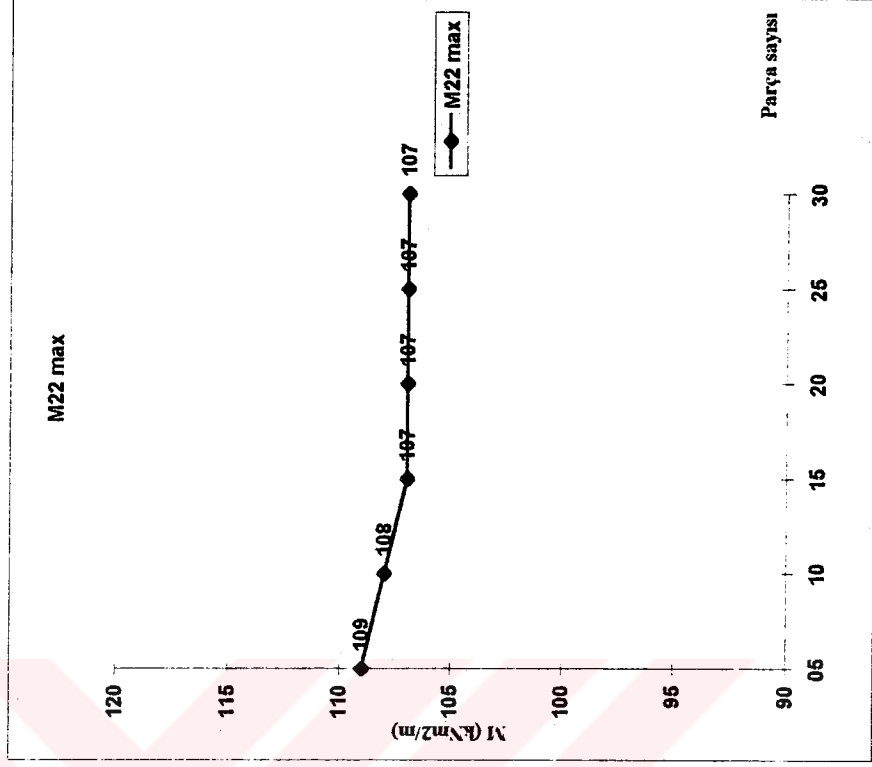
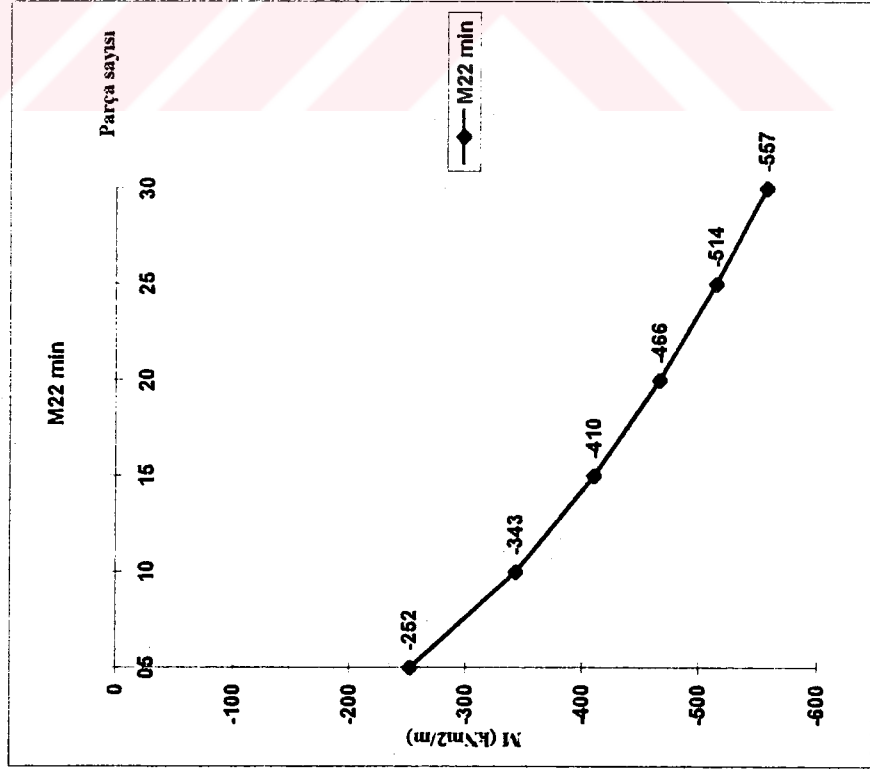


Boşluksuz Durum

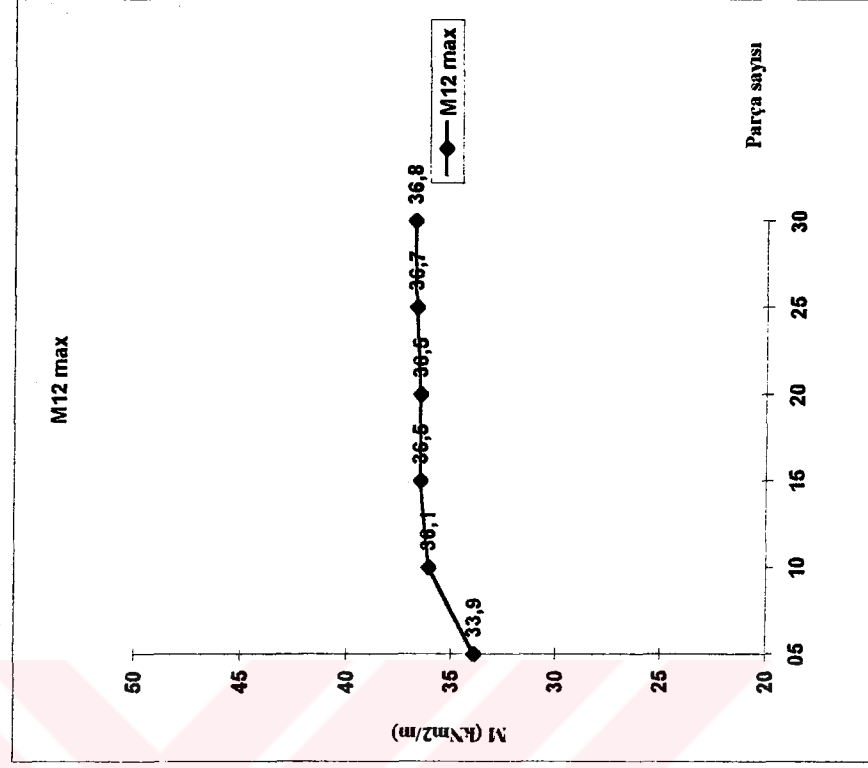
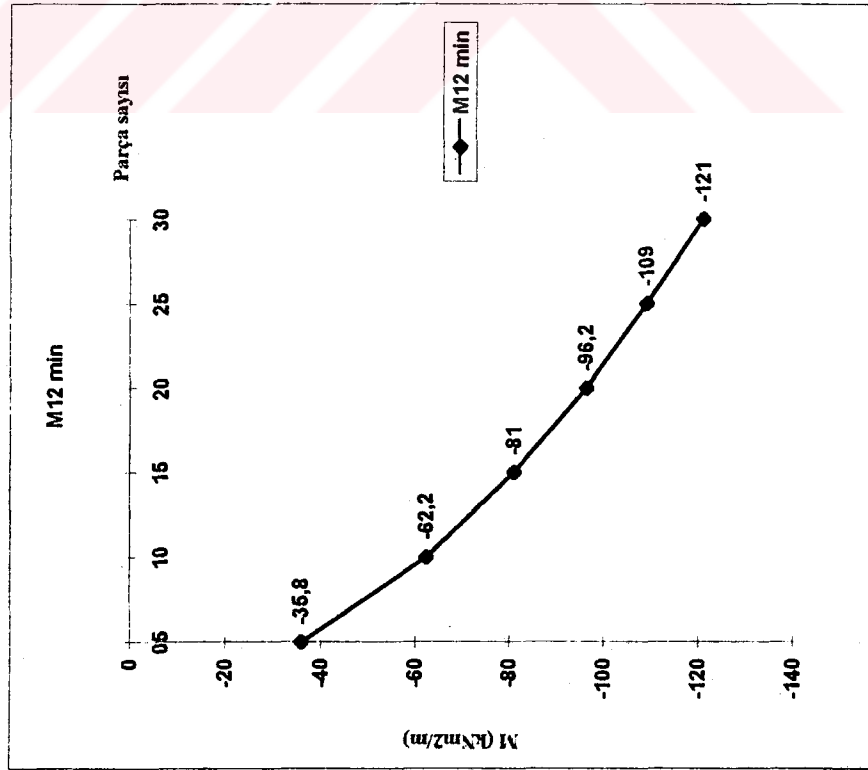
Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M11 min	No	71	257	559	977	1511	2161
	Değer	-239	-329	-395	-450	-498	-541
M11 max	No	56	231	490	886	1347	1964
	Değer	100	94,4	94,3	94	93,5	93,6



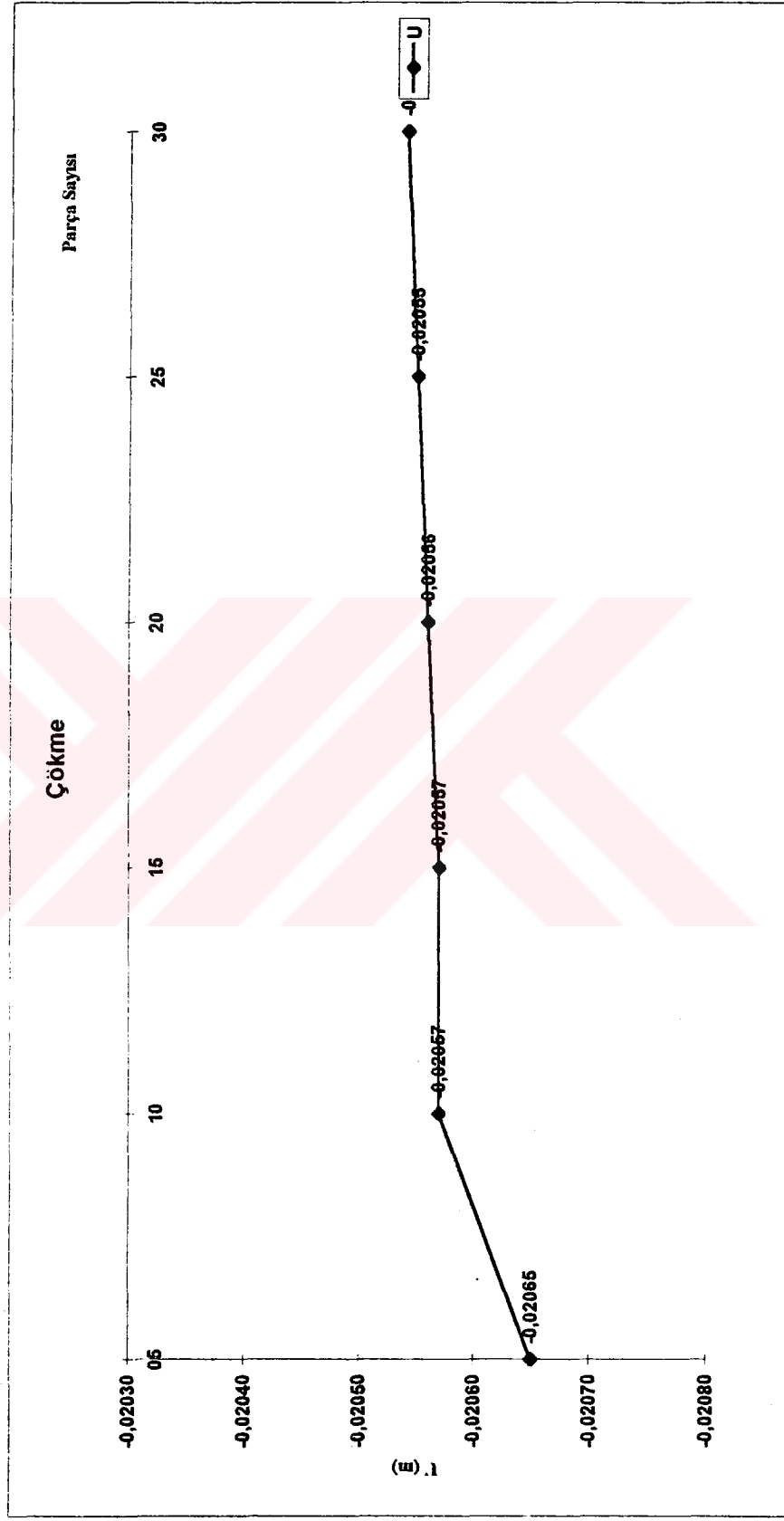
Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 min	-252	257	-343	559	-410	977	-466	1511	-514	2161	-557		
M22 max	109	137	108	312	107	560	107	820	107	1200	107		



Parça sayısı		05	10	15	20	25	30					
M12 min	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer				
M12 max	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer				
	71	-35,8	257	-62,2	559	-81	977	-96,2	1511	-109	2161	-121
	57	33,9	209	36,1	457	36,5	801	36,5	1242	36,7	1778	36,8



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
w	-0,02065	-0,02057	-0,02057	-0,02056	-0,02055	-0,02054

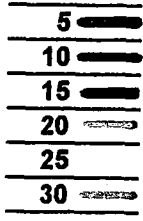


05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	-239	257	-329	559	-395	977	-450	1511	-498	2161	-541
M11 max	100	231	94,4	490	94,3	886	94	1347	93,5	1964	93,6
M22 min	-252	257	-343	559	-410	977	-466	1511	-514	2161	-557
M22 max	109	137	108	312	107	560	107	820	107	1200	107
M12 min	-35,8	257	-62,2	559	-81	977	-96,2	1511	-109	2161	-121
M12 max	33,9	209	36,1	457	36,5	801	36,5	1242	36,7	1778	36,8
w	-0,02065		-0,02057		-0,02057		-0,02056		-0,02055		-0,02054

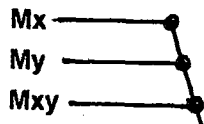
Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	2,26	1,64	1,37	1,20	1,09
M11 max	0,94	0,99	0,99	1,00	1,00
M22 min	2,21	1,62	1,36	1,20	1,08
M22 max	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00
M12 min	3,38	1,95	1,49	1,26	1,11
M12 max	1,09	1,02	1,01	1,01	1,00

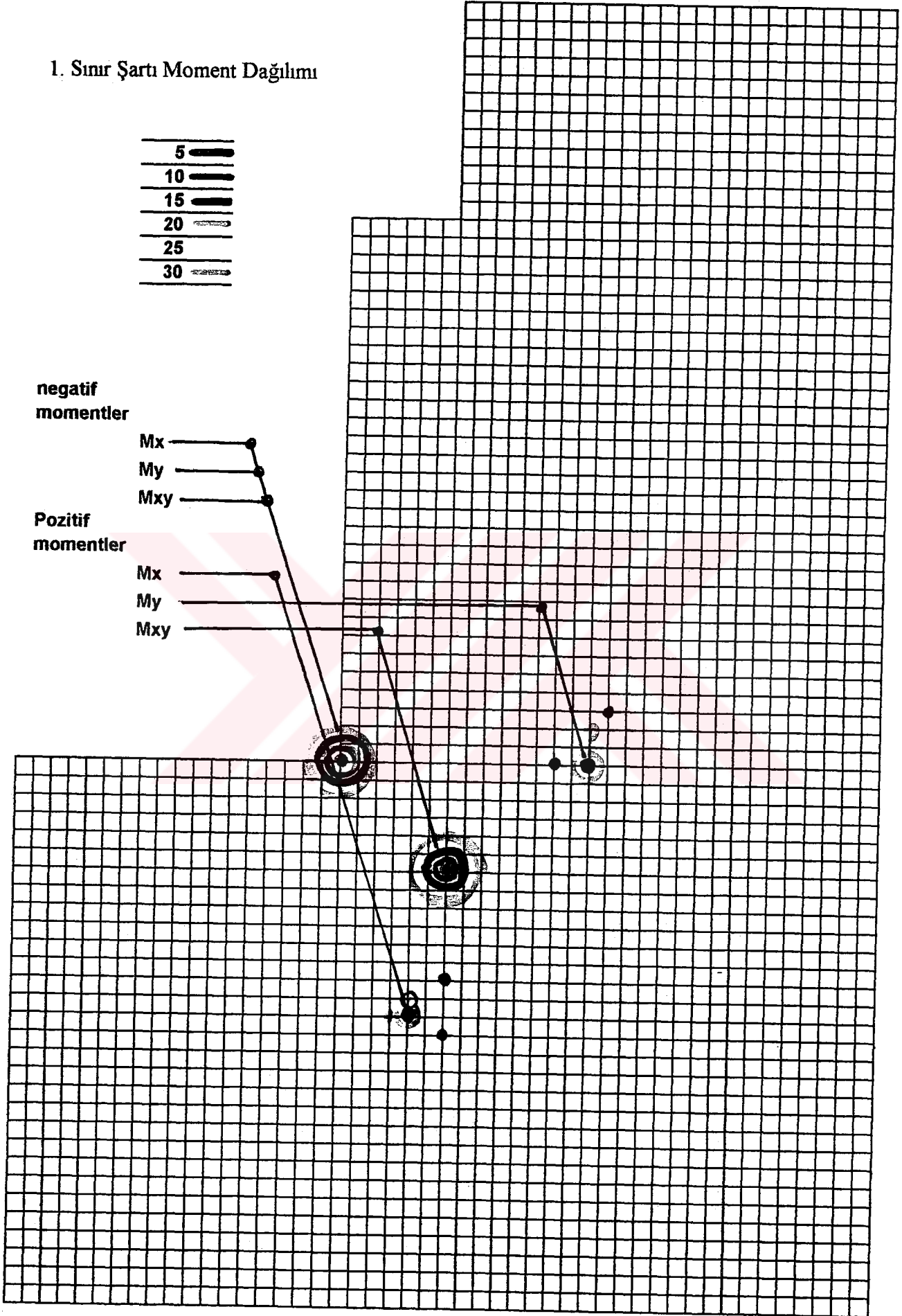
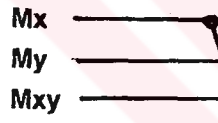
1. Sınır Şartı Moment Dağılımı



negatif momentler



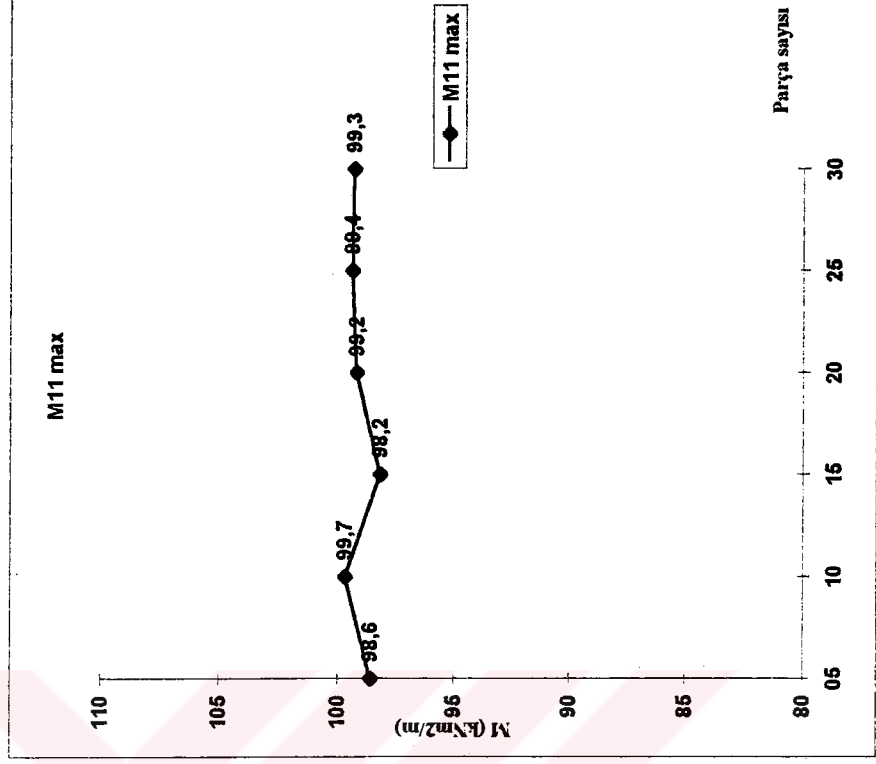
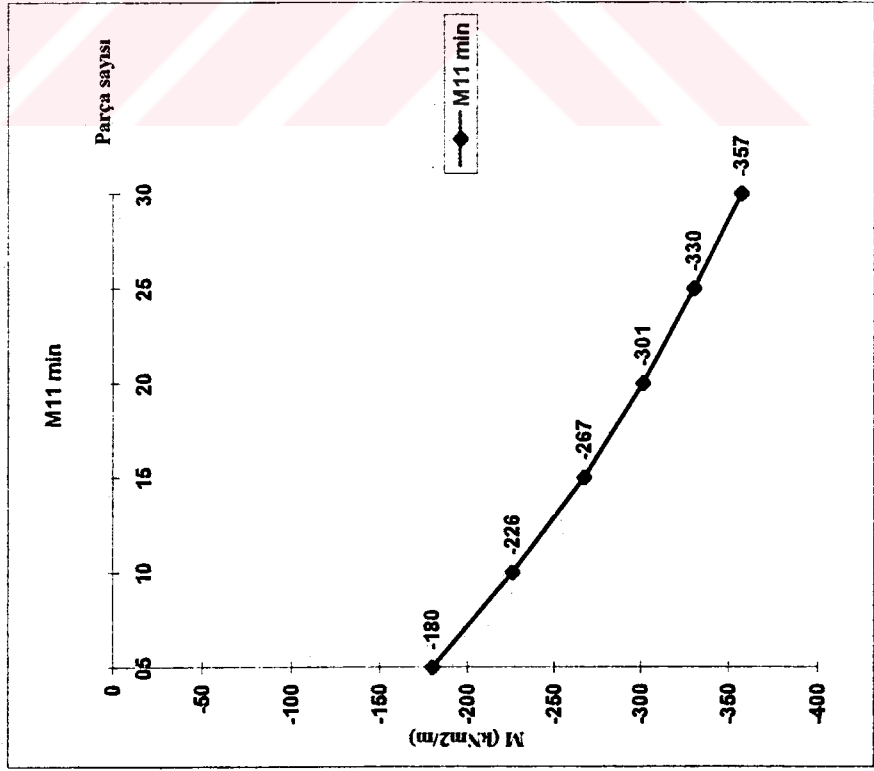
Pozitif momentler





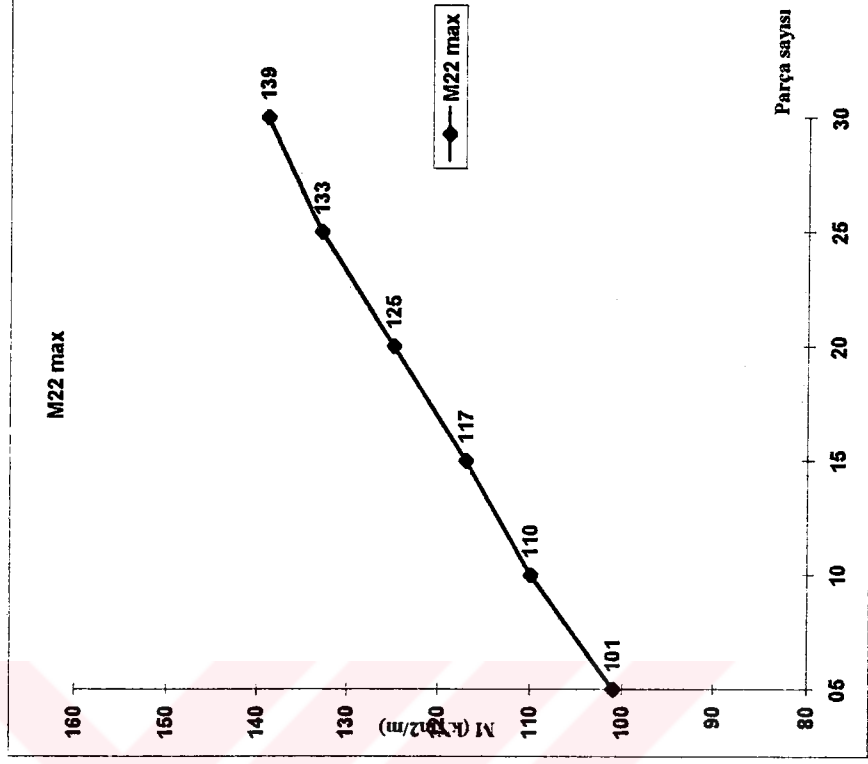
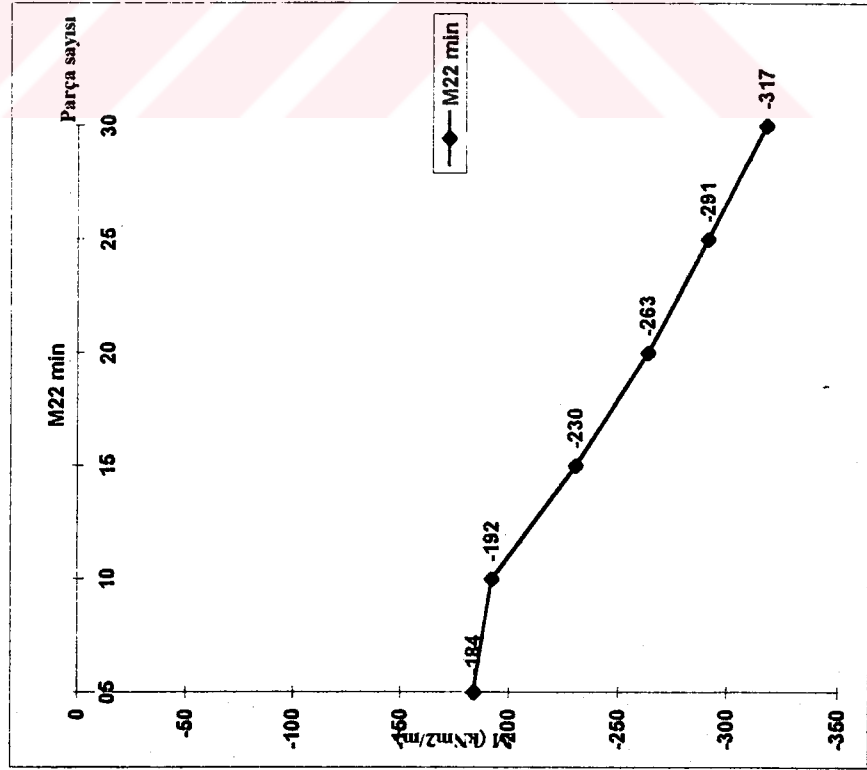
Boşluklu Durum

Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	-180	53	-180	257	-226	559	-267	977	-301	1511	-330	2161	-357
M11 max	98,6	56	98,6	206	99,7	453	98,2	795	99,2	1233	99,4	1767	99,3

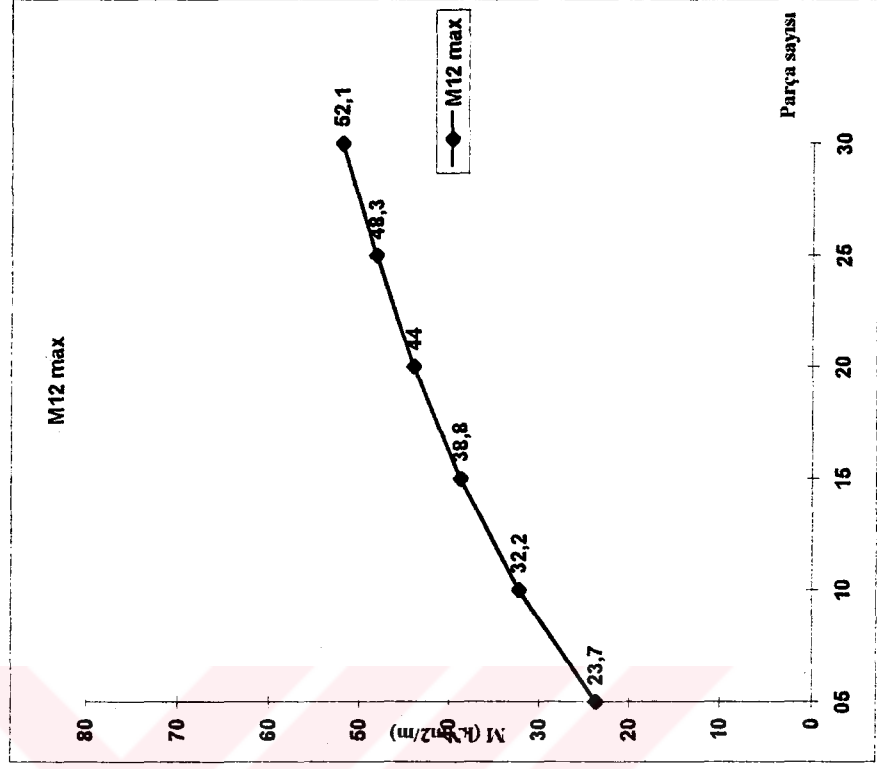
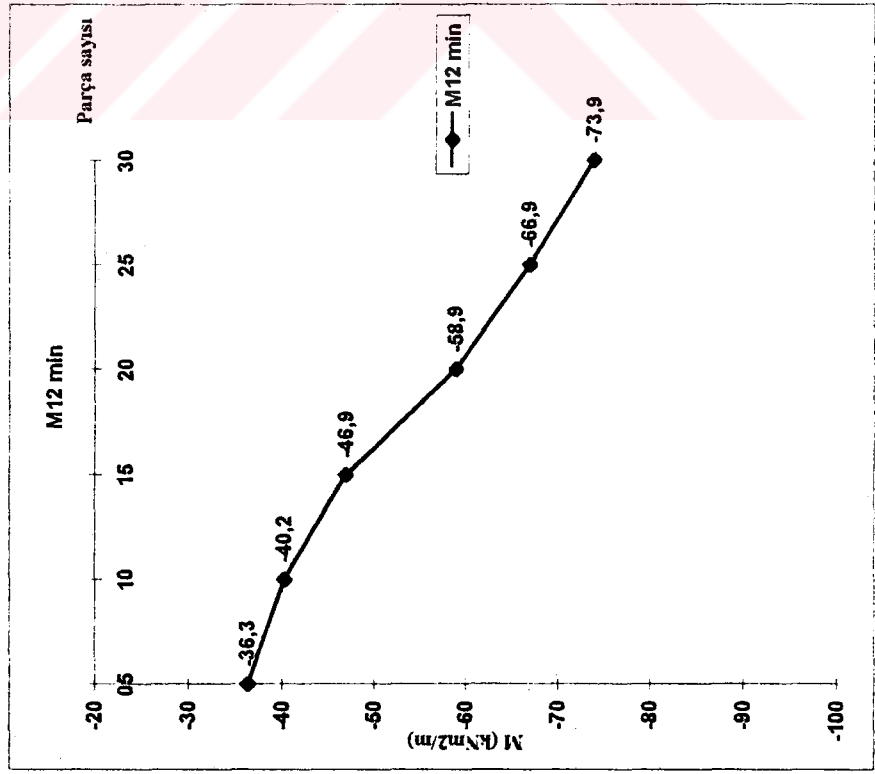


Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
--------------	----	----	----	----	----	----

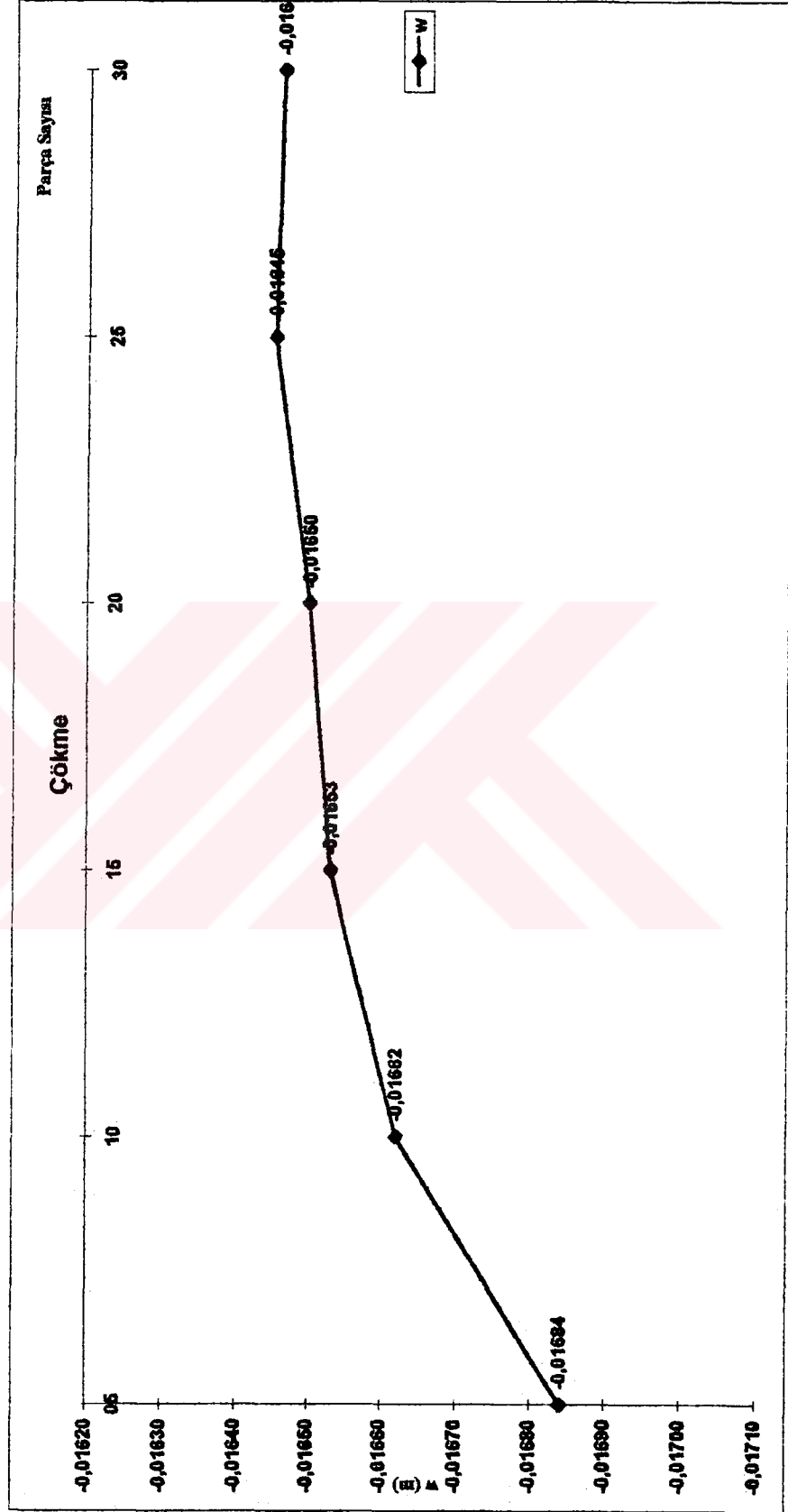
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer		
M22 min	74	-184	257	-192	559	-230	977	-263	1511	-291	2161	-317
M22 max	33	101	139	110	241	117	417	125	641	133	913	139



Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 min	29	-36,3	105	-40,2	559	-46,9	977	-58,9	1511	-66,9	2161	-73,9	
M12 max	25	23,7	205	32,2	451	38,8	793	44	1231	48,3	1765	52,1	



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	-0,01684	-0,01662	-0,01653	-0,01650	-0,01645	-0,01646

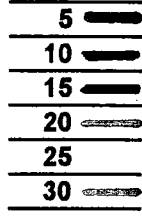


05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	-180	257	-226	559	-267	977	-301	1511	-330	2161	-357
M11 max	98,6	206	99,7	453	98,2	795	99,2	1233	99,4	1767	99,3
M22 min	-184	257	-192	559	-230	977	-263	1511	-291	2161	-317
M22 max	101	139	110	241	117	417	125	641	133	913	139
M12 min	-36,3	105	-40,2	559	-46,9	977	-58,9	1511	-66,9	2161	-73,9
M12 max	23,7	205	32,2	451	38,8	793	44	1231	48,3	1765	52,1
w	-0,01684		-0,01662		-0,01653		-0,01650		-0,01645		-0,01646

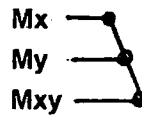
Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	1,98	1,58	1,34	1,19	1,08
M11 max	1,01	1,00	1,01	1,00	1,00
M22 min	1,72	1,65	1,38	1,21	1,09
M22 max	1,38	1,26	1,19	1,11	1,05
M12 min	2,04	1,84	1,58	1,25	1,10
M12 max	2,20	1,62	1,34	1,18	1,08

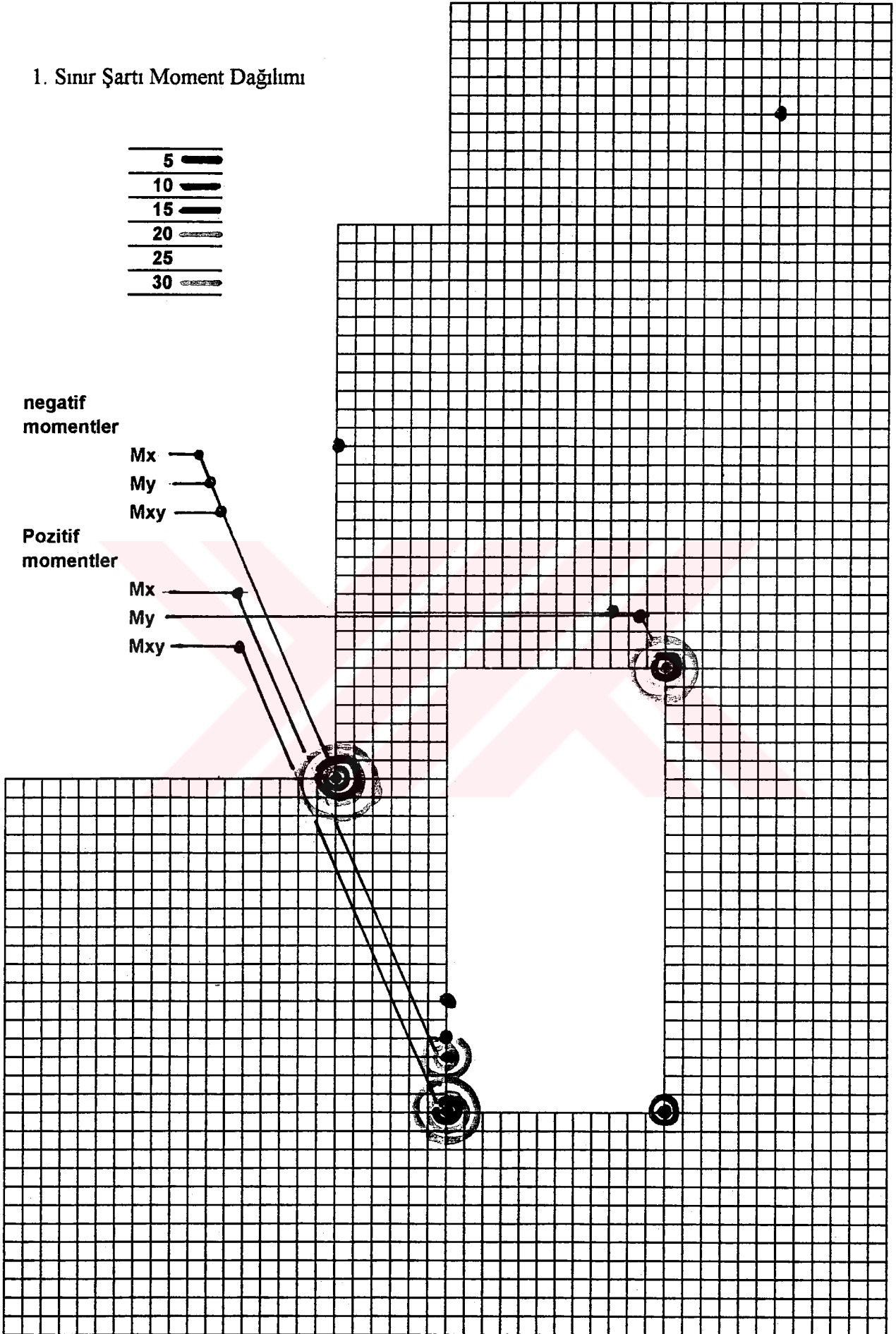
1. Sınır Şartı Moment Dağılımı



negatif momentler



Pozitif momentler

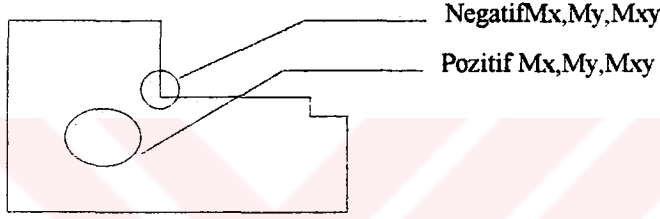


6.1.1.3 Bölüm Sonucu

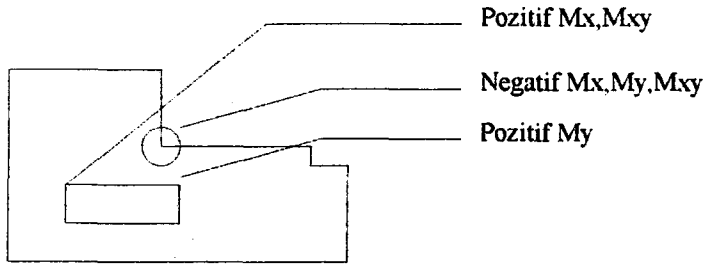
Plağı düz (boşluksuz) halindeki 6 farklı ağ yapısı için bulunmuş olan momentler Tüm kenarlarından ankastre durum için en sık ağ durumundaki (2629 elemana sahip plak) momentlere bölünerek değişim oranları bulunmuştur. Buna göre, dikkat edildiği üzere açıklık momentleri değerce sabit kalmaktadır. Negatif momentler ise 05 lik ağ ile karşılaştırıldığında 2,21 ila 3,38 arasında değişen oranlarla büyümektedir. Bu oran 10 luk ağ yapısından sonra 1,62 ila 1,95 e kadar düşmektedir. Ve ağ sıklaştıkçada küçülmekte, 25 lik ağ yapısı için 1,08 ila 1,11 arasına yerleşmektedir. Ayrıca dikkat edilirse x ve y yönlerindeki momentlerin minimumları kendi ağ yapılarında orantılıdır.(Bkz: Moment değişim oranları tablosu 30/05 M11min ve M22min yada 30/15 M11max M22max)

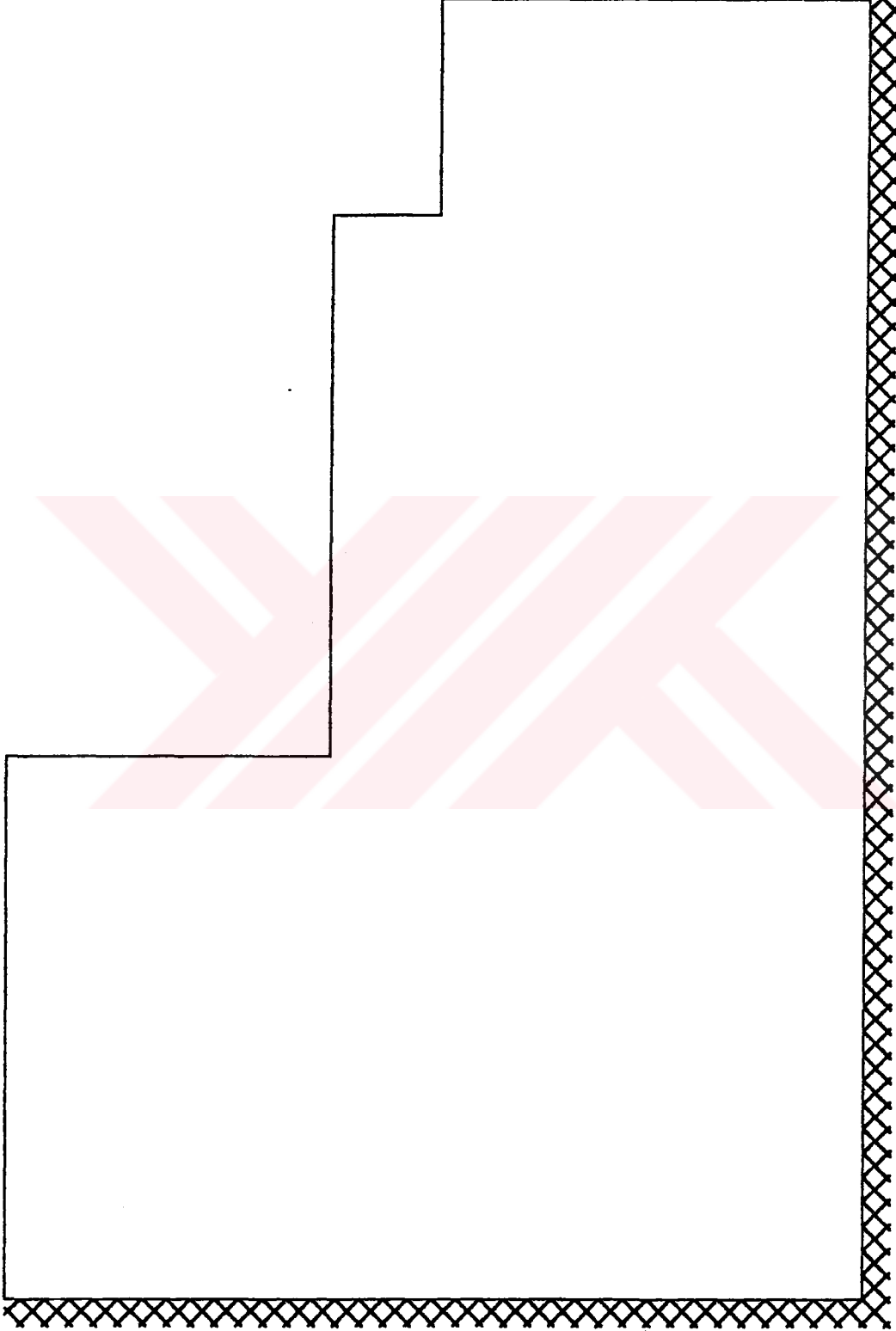
Çökme değerleri için yüzde 2 lik bir azalma söz konusudur.

Negatif ve pozitif momentler ile deplasmanların meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir.



Boşluk durumunda ise x yönündeki açıklık momenti sabit kalmakta, diğer tüm negatif ve Pozitif momentler değişmektedir. Oranlar aynı şekilde gittikçe azalan bir şekilde 1'e yaklaşmaktadır. Momentlerin meydana geldikleri yerler yine 05 ve 10 ağ yapıları hariç hemen hemen aynıdır.

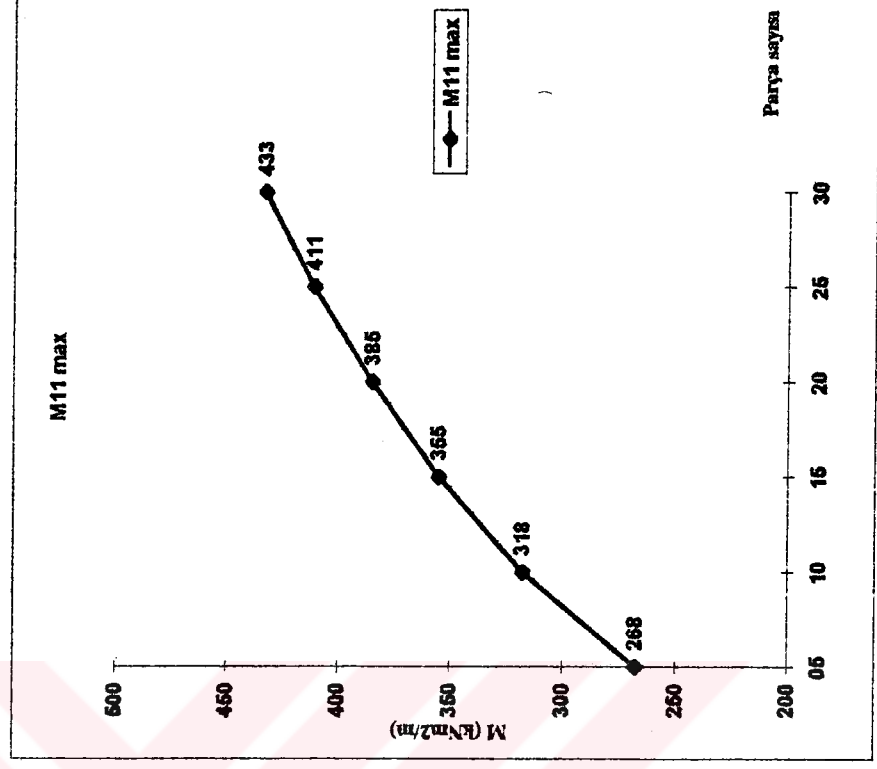
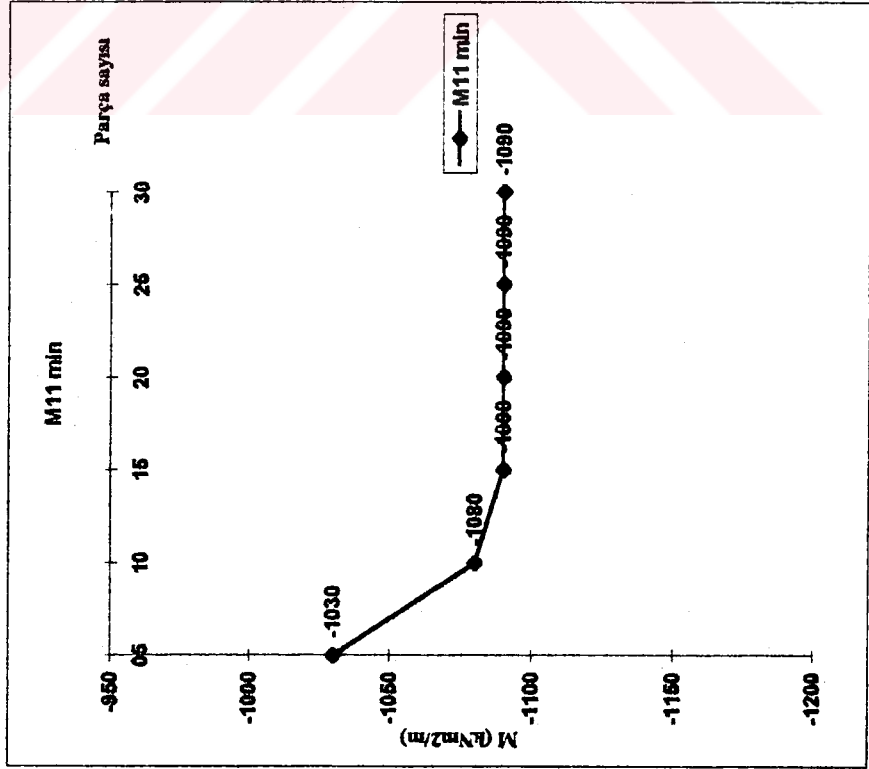


6.2.2. Sınır Şartı**(İki Kenarından Ankastre Diğer Kenarlarından Basit Mesnetli L Plak)**

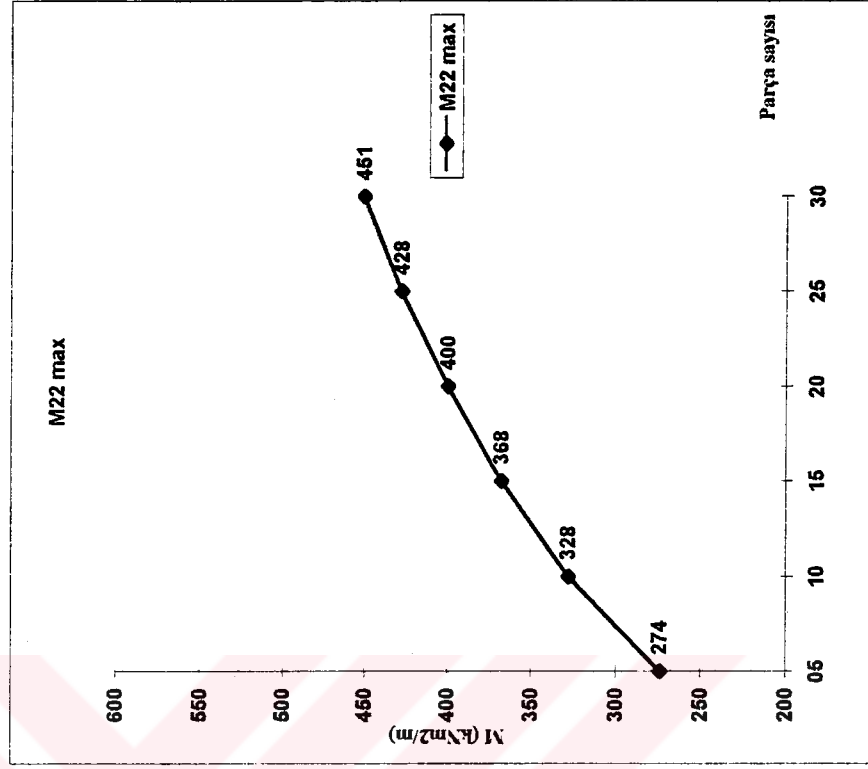
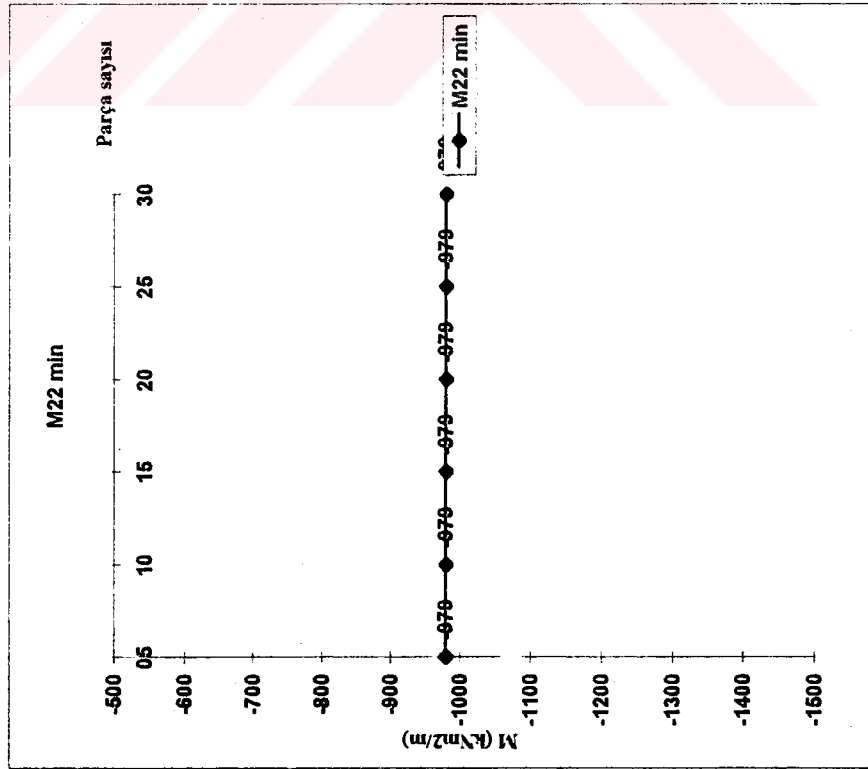


Boşluksuz Durum

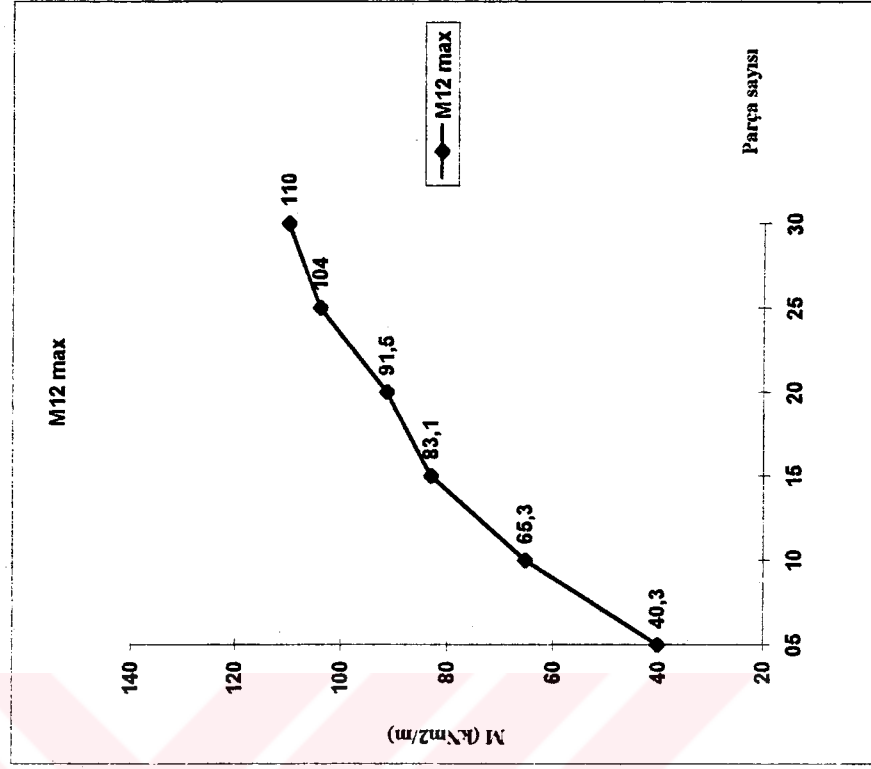
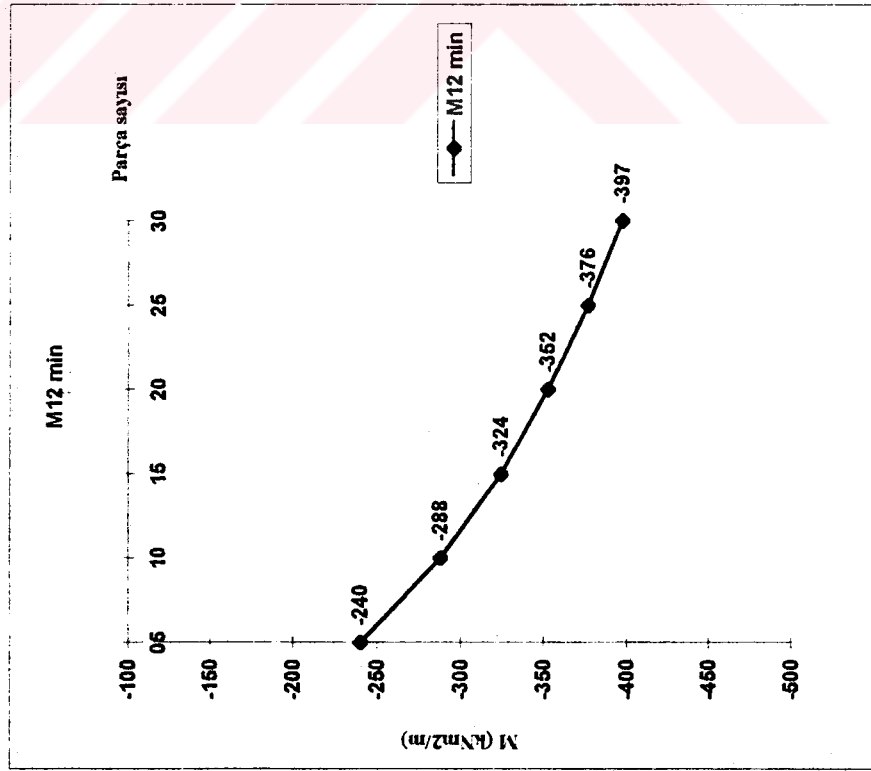
Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
M11 min	M11 max	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
-1030	268	83	-1030	312	-1080	687	-1090	1208	-1090	1849	-1090	2657	-1090
		71	268	257	318	559	355	977	385	1511	411	2161	433



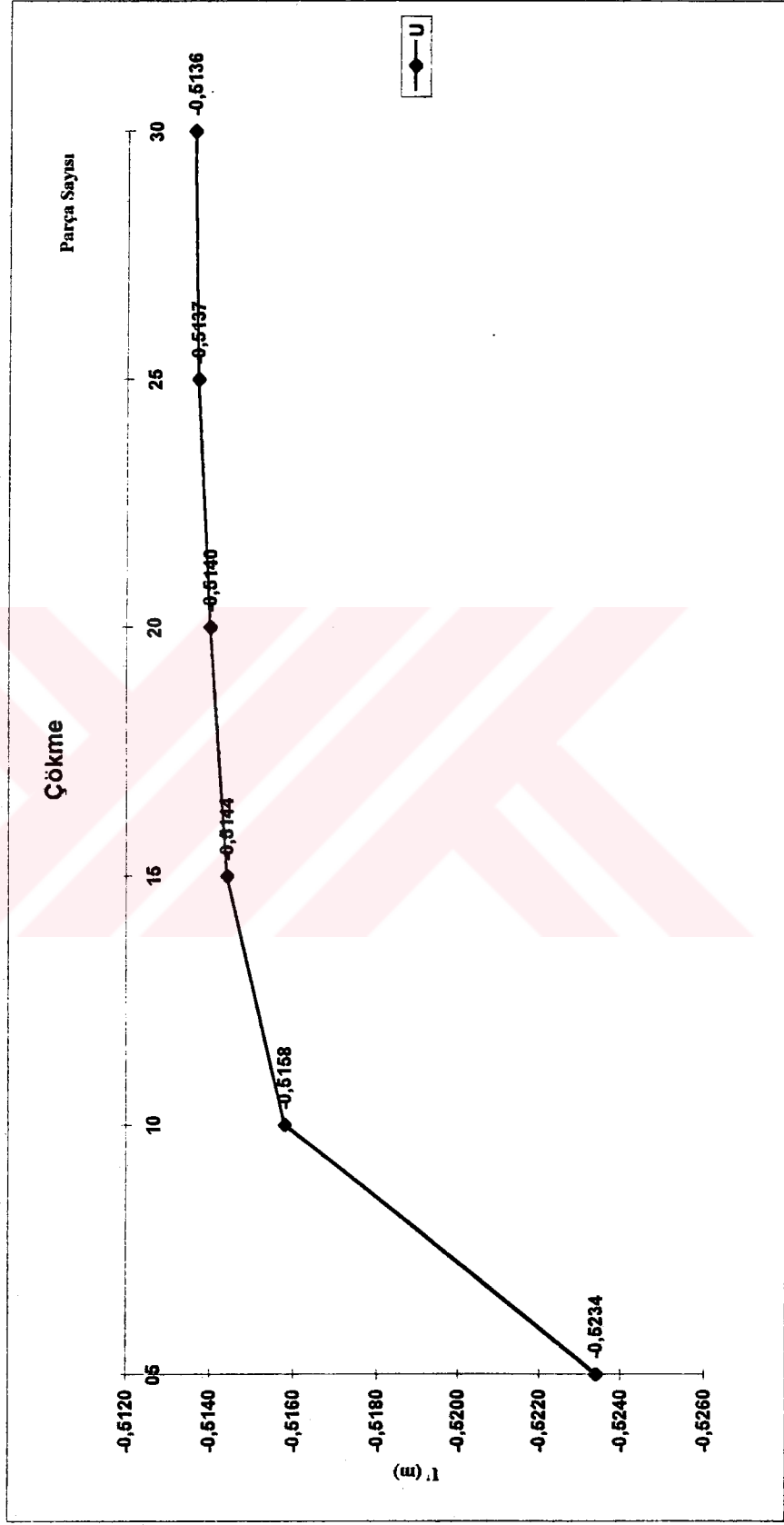
Parça sayısı	05		10		15		20		25		30	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 min	11	-979	20	-979	29	-979	39	-979	48	-979	57	-979
M22 max	71	274	257	328	559	368	977	400	1511	428	2161	451



Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M12 min	No	71	257	559	977	1511	2161
	Değer	-240	-288	-288	-324	-352	-397
M12 max	No	13	50	74	98	122	146
	Değer	40,3	65,3	83,1	83,1	91,5	104



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	Değer -0,5234	Değer -0,5158	Değer -0,5144	Değer -0,5140	Değer -0,5137	Değer -0,5136

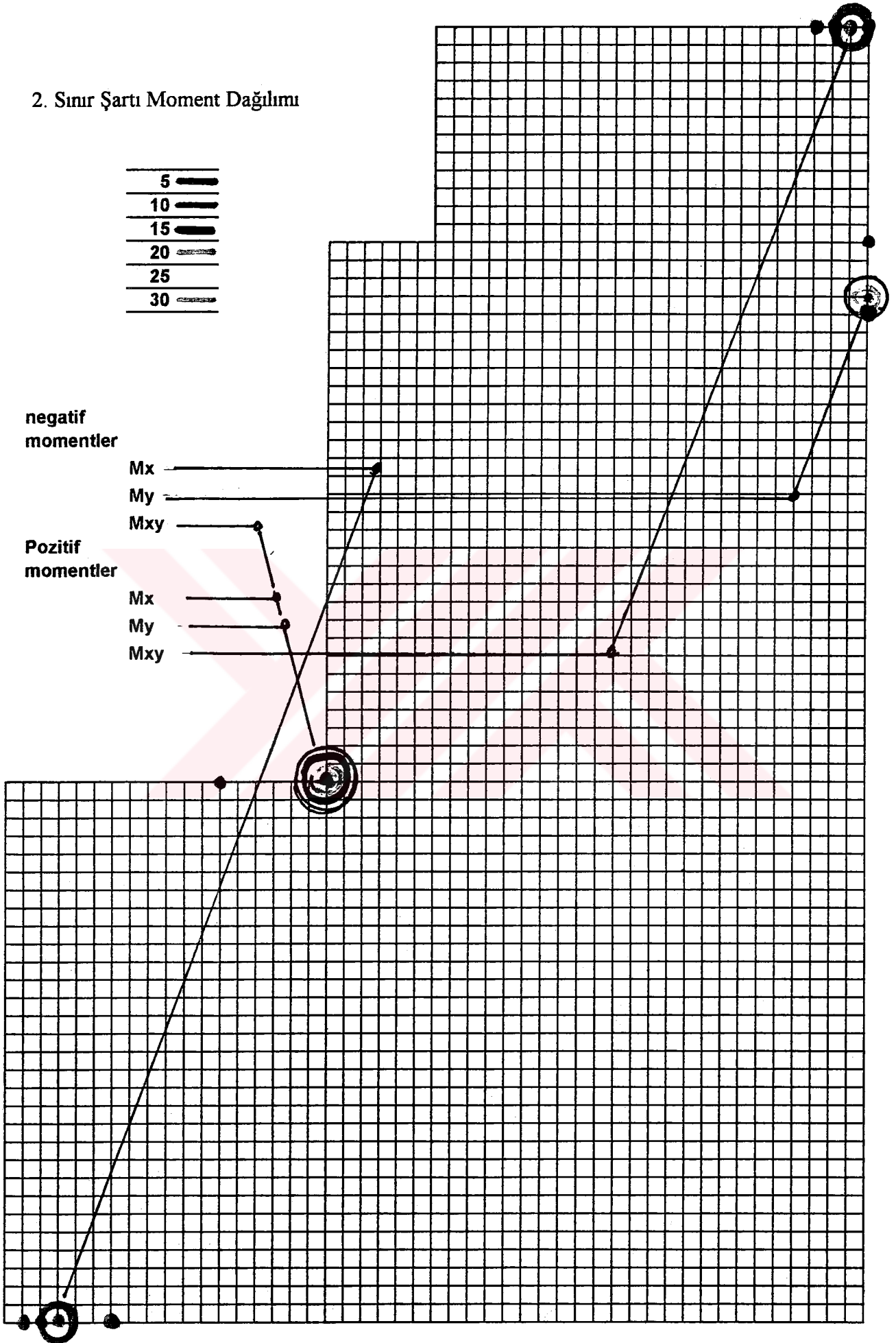


	05		10		15		20		25		30	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	83	-1030	312	-1080	687	-1090	1208	-1090	1849	-1090	2657	-1090
M11 max	71	268	257	318	559	355	977	385	1511	411	2161	433
M22 min	11	-979	20	-979	29	-979	39	-979	48	-979	57	-979
M22 max	71	274	257	328	559	368	977	400	1511	428	2161	451
M12 min	71	-240	257	-288	559	-324	977	-352	1511	-376	2161	-397
M12 max	13	40,3	50	65,3	74	83,1	98	91,5	122	104	146	110
w		-0,5234		-0,5158		-0,5144		-0,5140		-0,5137		-0,5136

Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	1,06	1,01	1,00	1,00	1,00
M11 max	1,62	1,36	1,22	1,12	1,05
M22 min	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M22 max	1,65	1,38	1,23	1,13	1,05
M12 min	1,65	1,38	1,23	1,13	1,06
M12 max	2,73	1,68	1,32	1,20	1,06

2. Sınır Şartı Moment Dağılımı

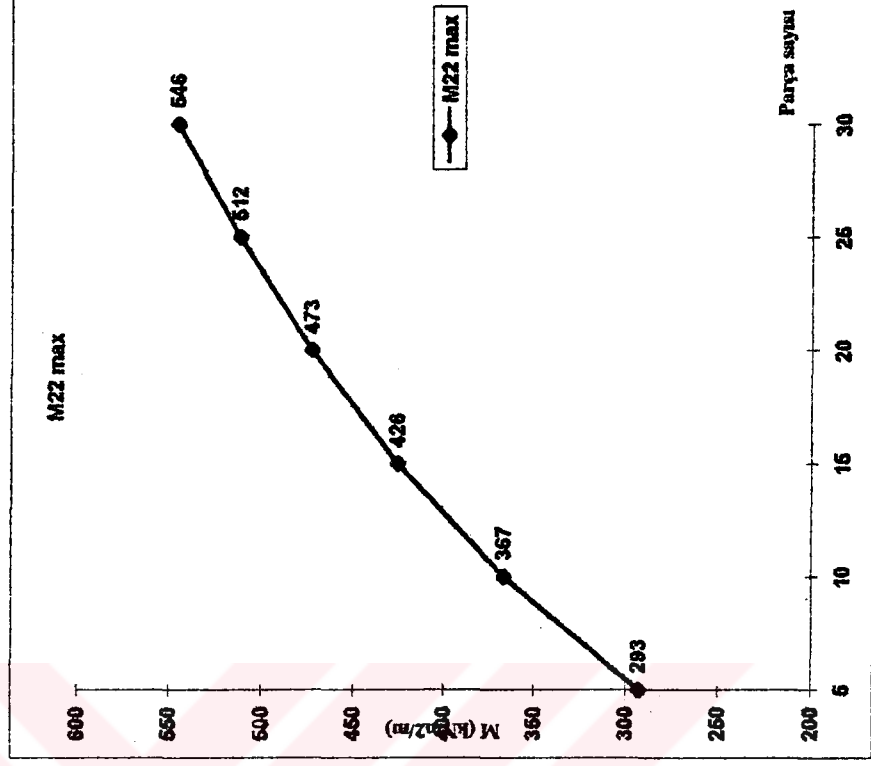
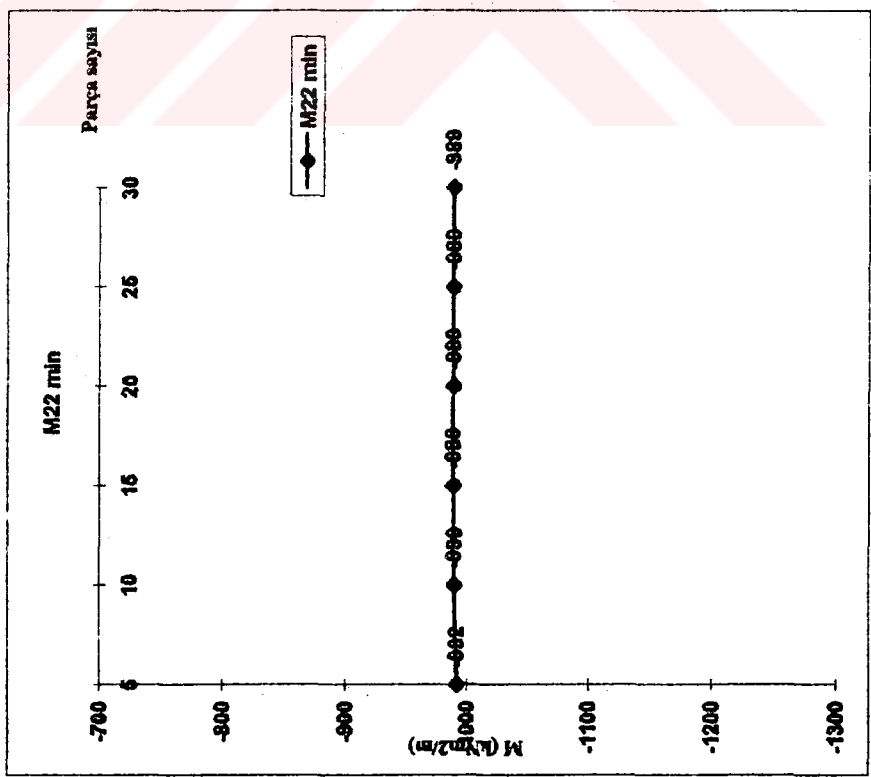




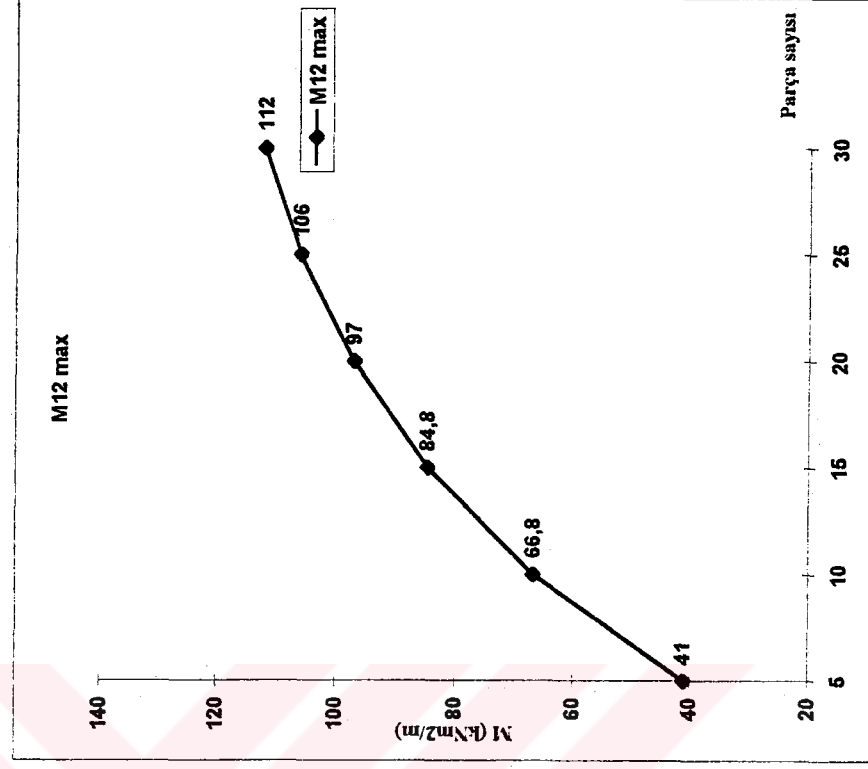
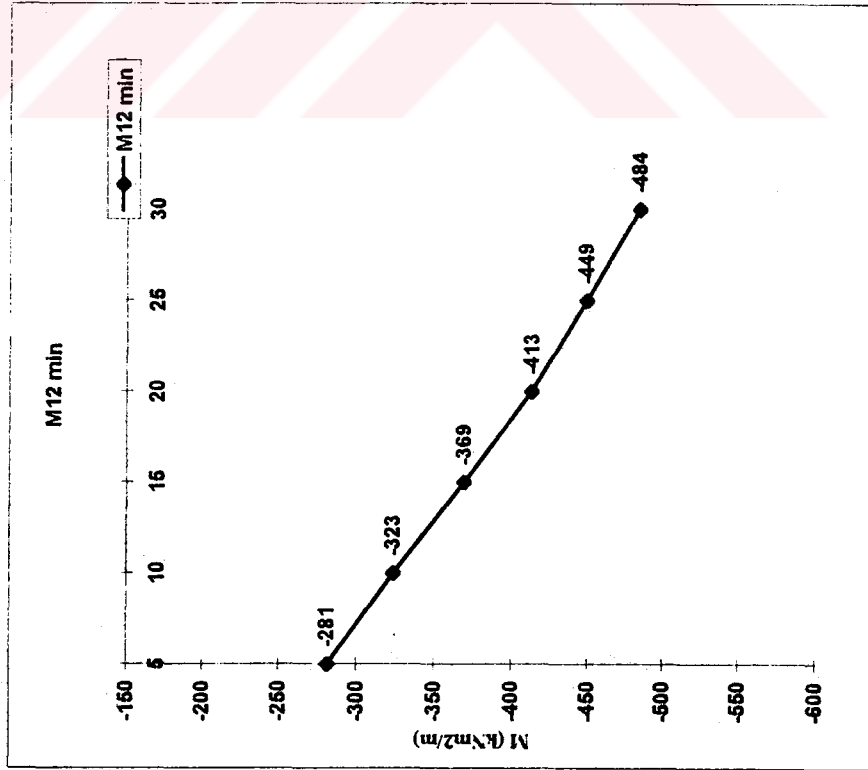
Boşluklu Durum

Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
--------------	----	----	----	----	----	----

	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 min	11	-992	21	-990	31	-989	41	-989	51	-989
M22 max	59	293	213	367	463	426	809	473	1261	512
									1789	546



05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 min	58	-281	257	-323	240	-369	416	-413	640	912	-484
M12 max	13	41	50	66,8	74	84,8	98	97	122	146	112



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	-0,5380	-0,5313	-0,5301	-0,5297	-0,5295	-0,5294

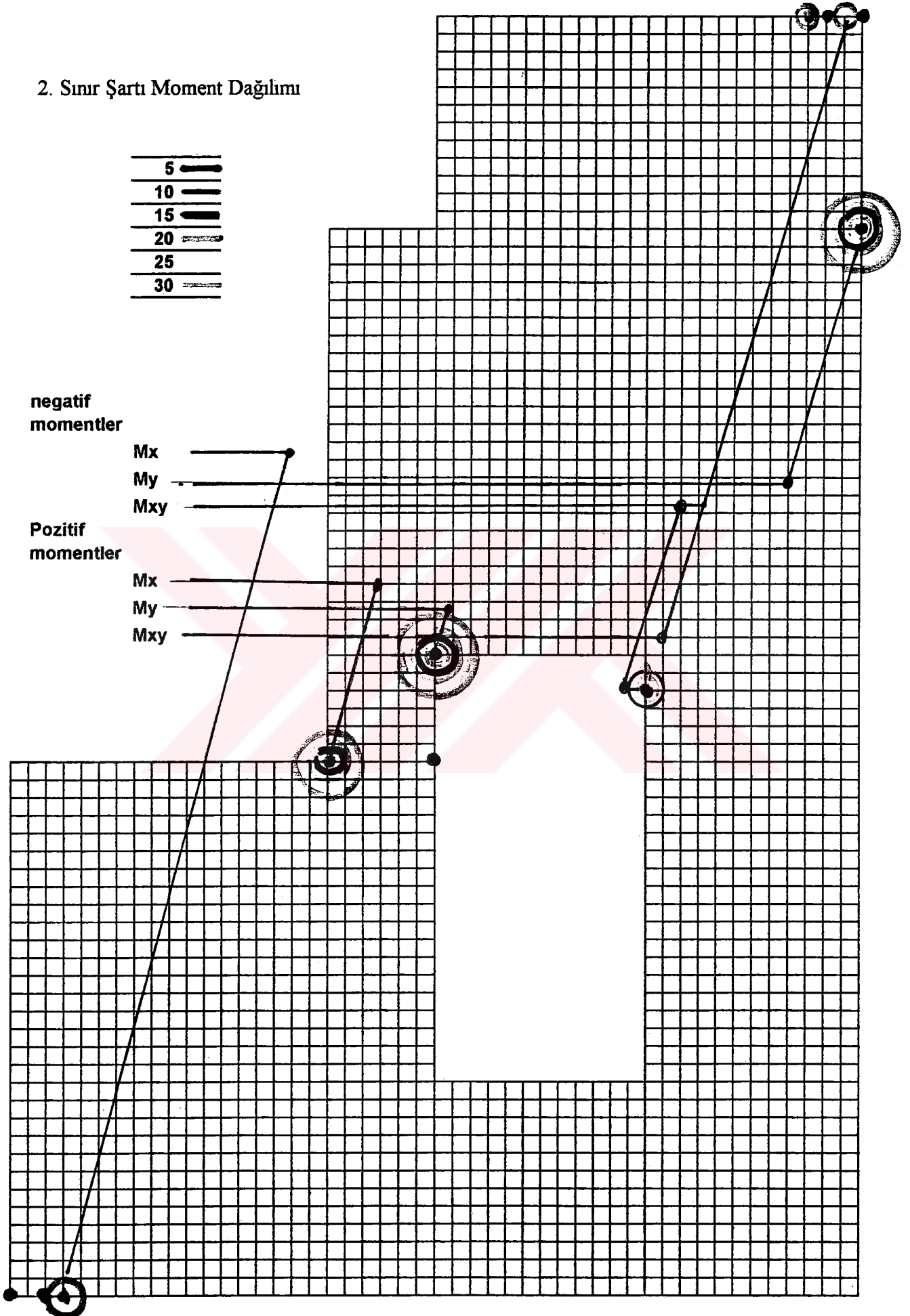


05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	89	-1030	312	-1080	687	-1090	1208	-1090	1849	2657	-1090
M11 max	58	340	257	381	559	424	977	475	1511	2161	511
M22 min	11	-992	21	-990	31	-989	41	-989	51	61	-989
M22 max	59	293	213	367	463	426	809	473	1251	1789	546
M12 min	58	-281	257	-323	240	-369	416	-413	640	912	-484
M12 max	13	41	50	66,8	74	84,8	98	97	122	146	112
w		-0,5380		-0,5313		-0,5301		-0,5297		-0,5295	-0,5294

Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	1,06	1,01	1,00	1,00	1,00
M11 max	1,50	1,34	1,21	1,08	1,05
M22 min	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M22 max	1,86	1,49	1,28	1,15	1,07
M12 min	1,72	1,50	1,31	1,17	1,08
M12 max	2,73	1,68	1,32	1,15	1,06

2. Sınır Şartı Moment Dağılımı

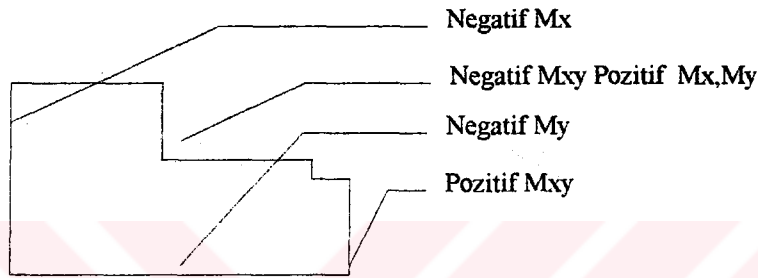


6.1.2.3 Bölüm Sonucu

İki uzun kenarından ankastre 2. Sınır şartı durumunda, bu kez negatif momentler burulma momenti hariç olmak üzere 6 farklı ağ boyunca değerlerini korumuşlardır. Burulma momenti 05 lik ağda 30 dakinin 1,65 de biri kadar olmuştur. Bu değerde 25 te 1,05 e kadar düşmüştür. Pozitif momentler ise 1,62-2,73 arasındayken 1,05-1,06 ya kadar inmiştir.

Çökme değerleri için yüzde 2 lik bir azalma söz konusudur.

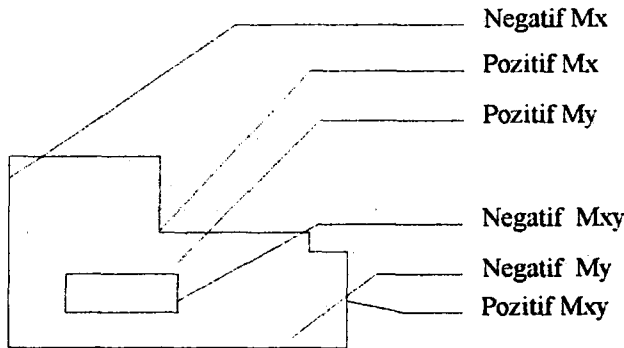
Maksimum ve Minimum momentler ile max. deplasman meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bunun tek istisnası 05 durumudur.

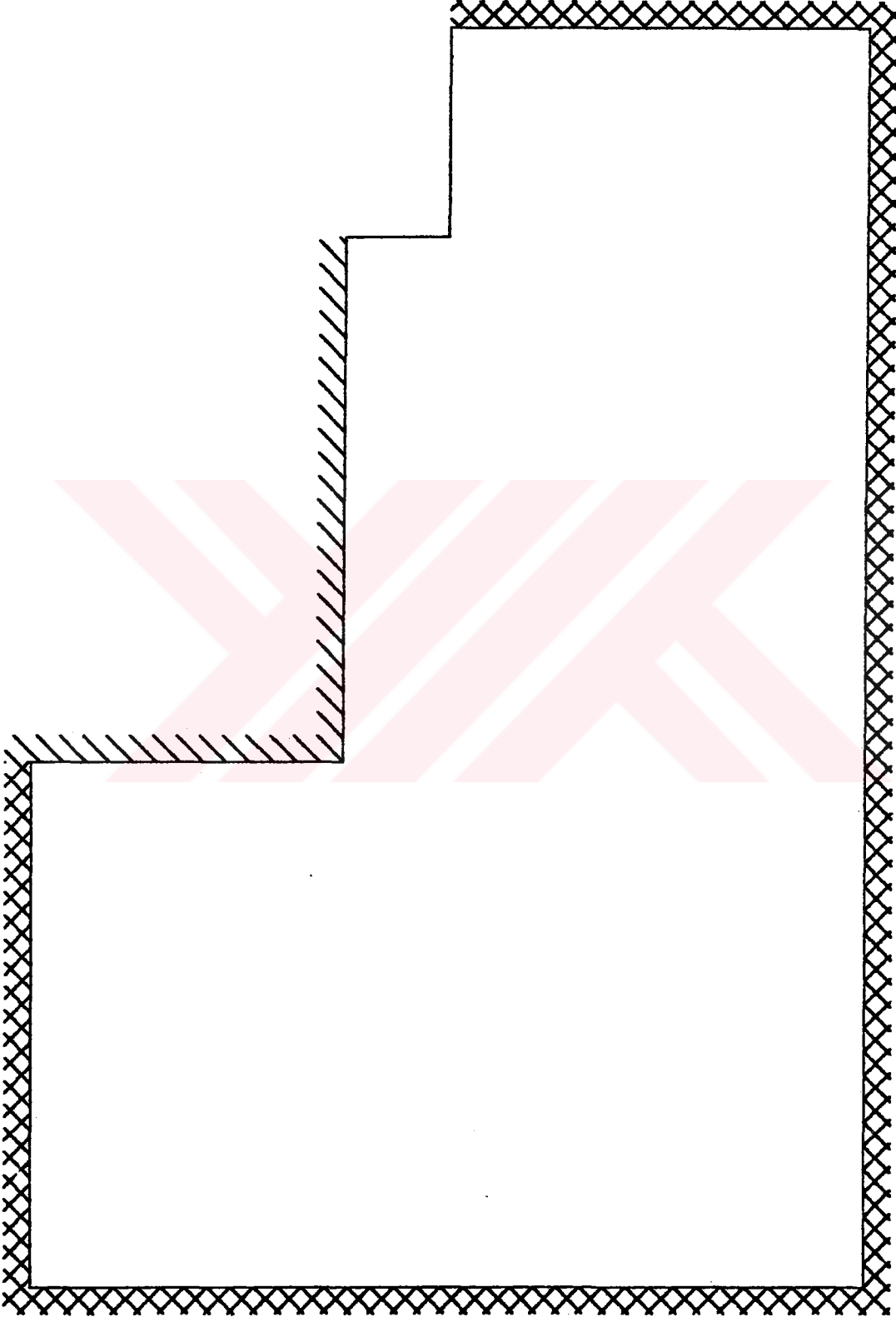


Boşluk durumunda da aynı şekilde x ve y yönündeki negatif momentler sabit kalmakta, burulma momenti 1,72 kat artmaktadır. Maksimum momentler değişmektedir. Oranlar aynı şekilde gittikçe azalan bir şekilde 1'e yaklaşmaktadır. Momentlerin meydana geldikleri yerler yine 05 ve 10 ağ yapıları hariç hemen hemen aynıdır.

Çökme değerinde yüzde 1,62 lik bir azalma söz konusudur.

Maksimum momentlerin oluştuğu yerler 05 lik ağ hariç yine aynıdır.



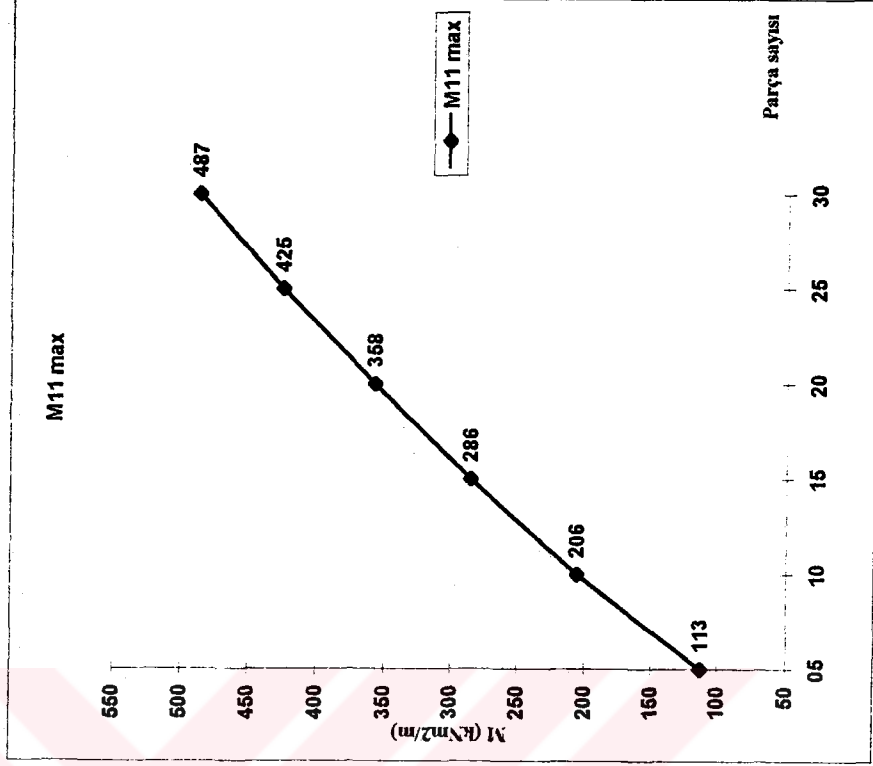
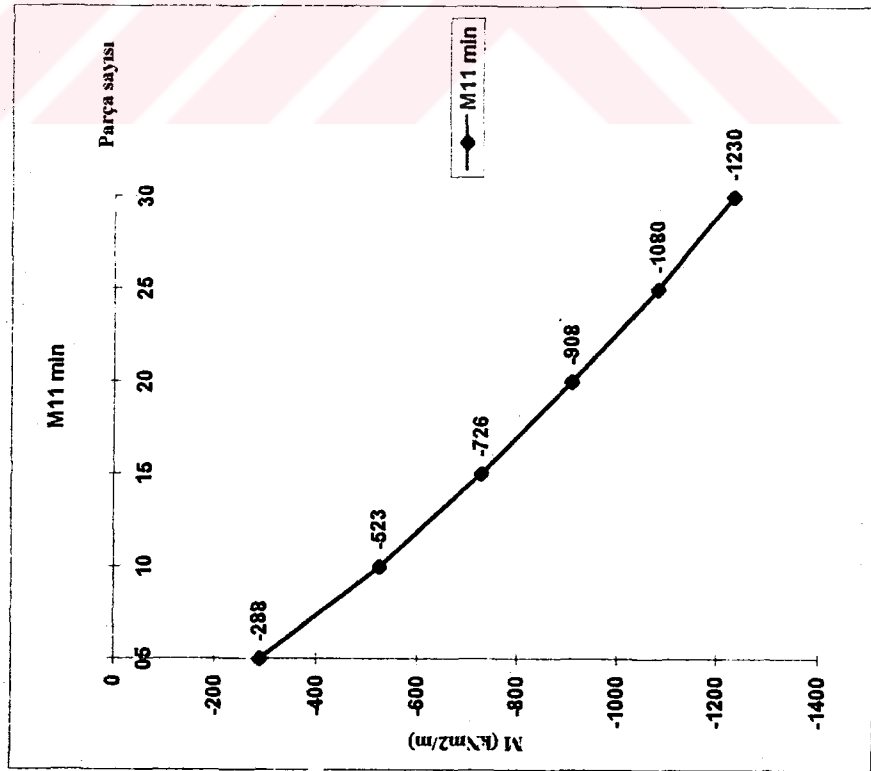
6.3.3. Sınır Şartı**(Dört Kenarından Ankastre İki Kenarından Basit Mesnetli L Plak)**



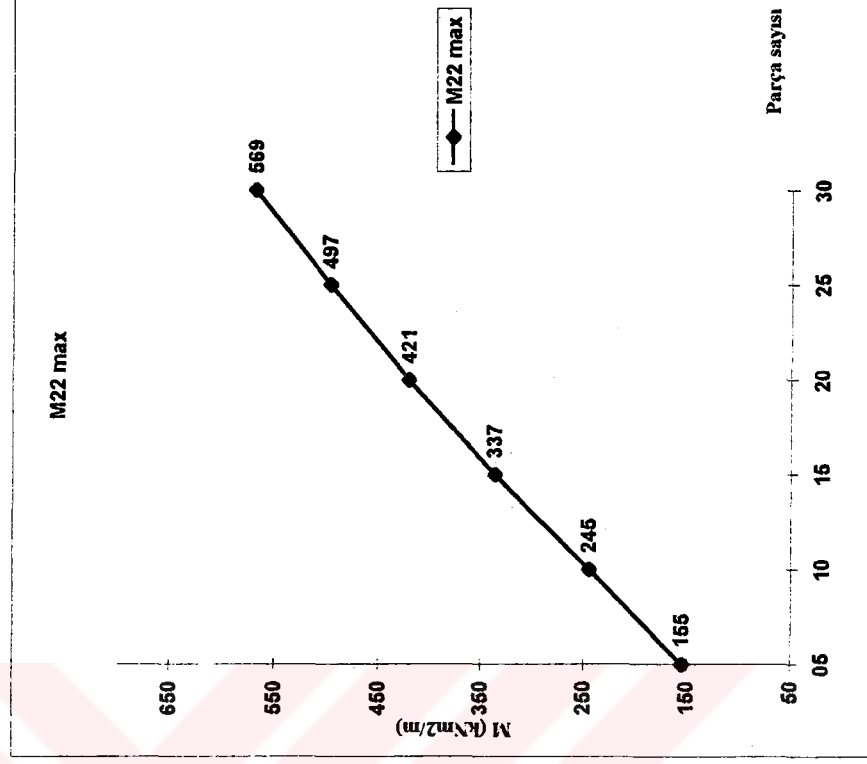
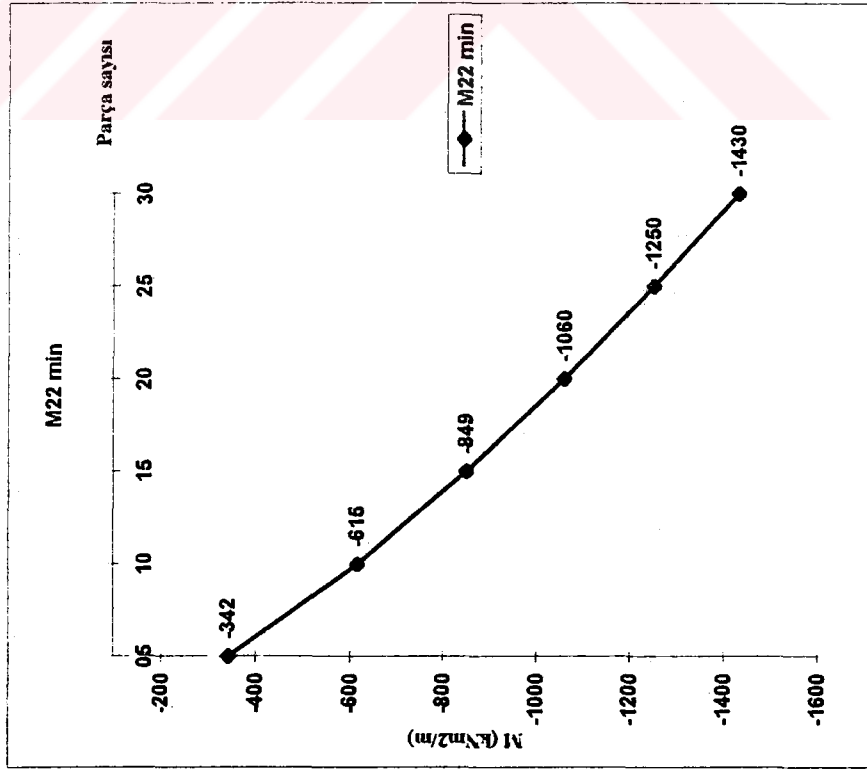
Boşluksuz Durum

Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
--------------	----	----	----	----	----	----

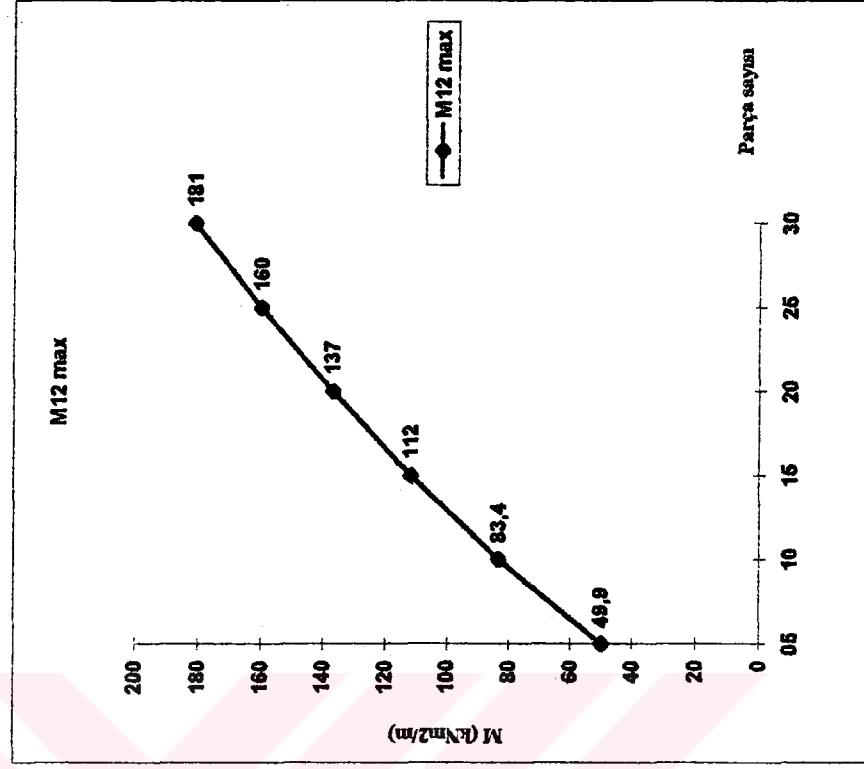
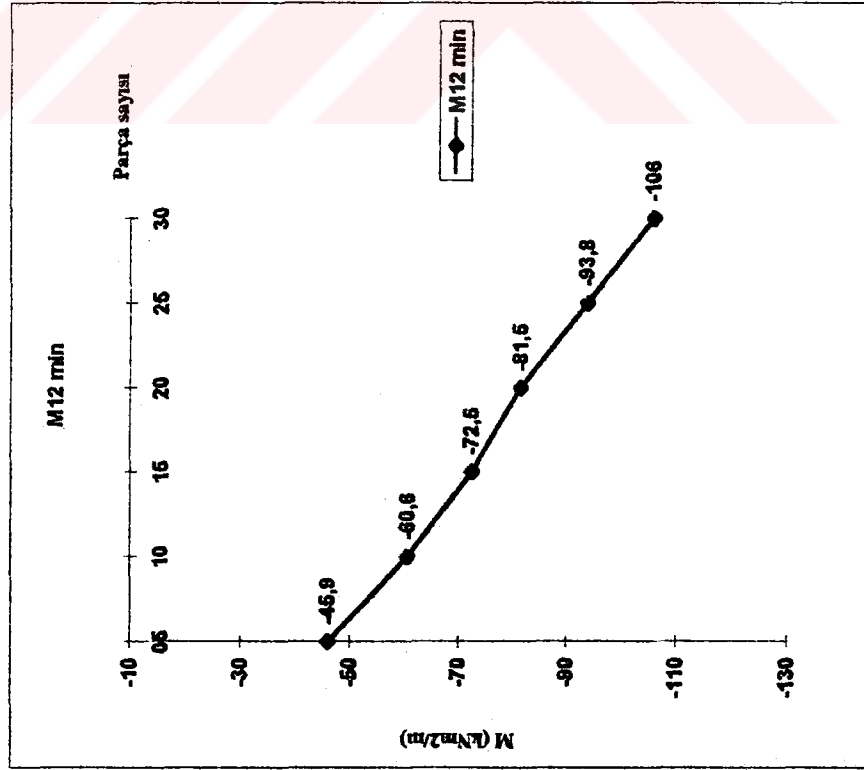
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer		
M11 min	71	-288	257	-523	559	-726	977	-908	1511	-1080	2161	-1230
M11 max	72	113	258	206	560	286	978	358	1512	425	2162	487



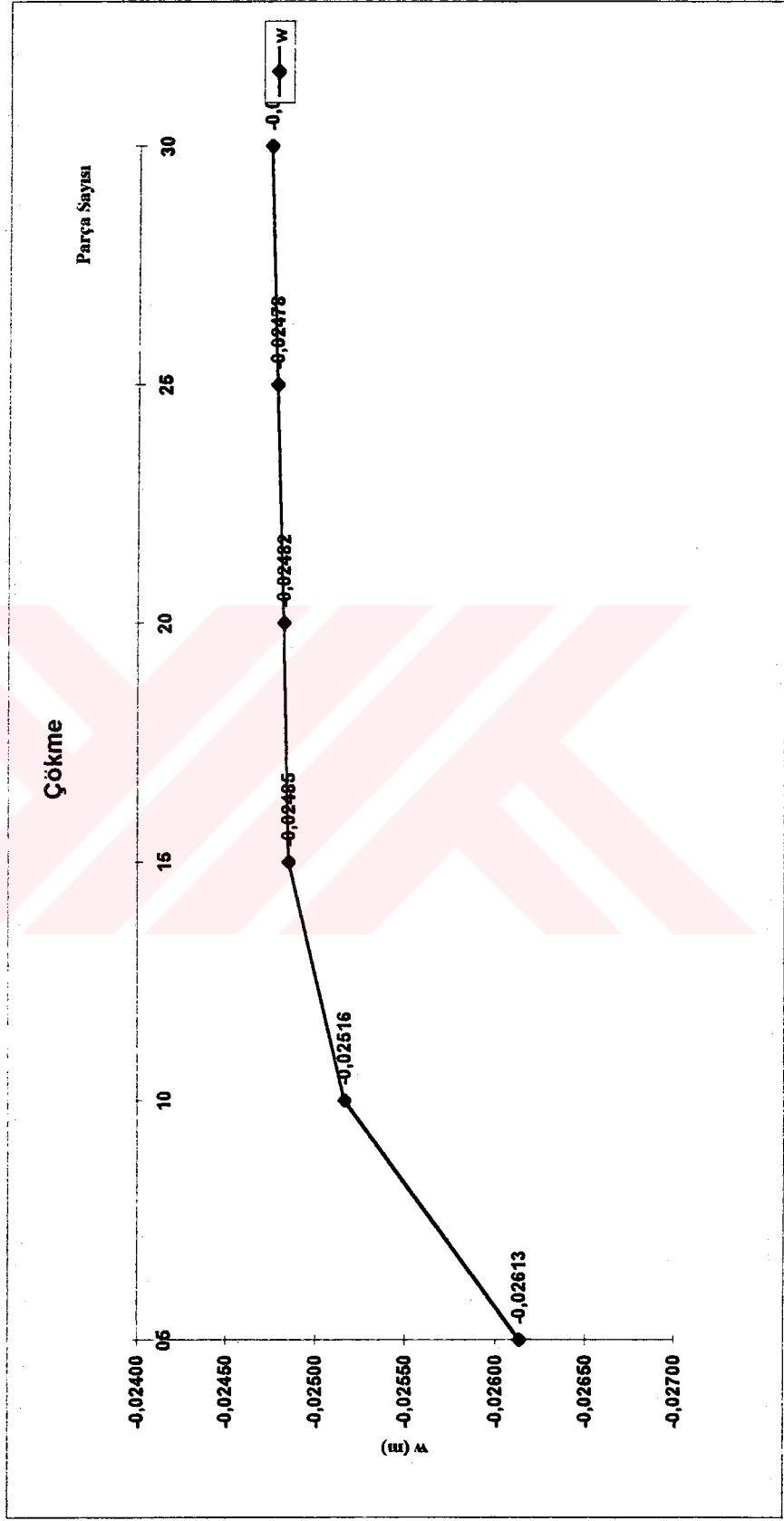
Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M22 min	No	71	257	559	977	1611	2161
	Değer	-342	-615	-849	-1060	-1250	-1430
M22 max	No	46	278	590	1018	1562	2222
	Değer	155	245	337	421	497	569



Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 min	-45,9	221	-60,6	475	-72,5	825	-81,5	1661	-93,8	2221	-106		
M12 max	49,9	257	83,4	559	112	977	137	1511	160	2161	181		



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
w	-0,02613	-0,02516	-0,02485	-0,02482	-0,02478	-0,02474

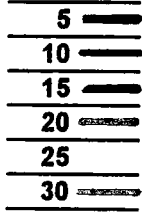


05		10		15		20		25		30		
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	
M11 min	71	-288	257	-523	559	-726	977	-908	1511	-1080	2161	-1230
M11 max	72	113	258	206	560	286	978	358	1512	425	2162	487
M22 min	71	-342	257	-615	559	-849	977	-1060	1511	-1250	2161	-1430
M22 max	46	155	278	245	590	337	1018	421	1562	497	2222	569
M12 min	82	-45,9	221	-60,6	475	-72,5	825	-81,5	1561	-93,8	2221	-106
M12 max	57	49,9	257	83,4	559	112	977	137	1511	160	2161	181
w		-0,02613		-0,02516		-0,02485		-0,02482		-0,02478		-0,02474

Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	4,27	2,35	1,69	1,35	1,14
M11 max	4,31	2,36	1,70	1,36	1,15
M22 min	4,18	2,33	1,68	1,35	1,14
M22 max	3,67	2,32	1,69	1,35	1,14
M12 min	2,31	1,75	1,46	1,30	1,13
M12 max	3,63	2,17	1,62	1,32	1,13

3. Sınır Şartı Moment Dağılımı

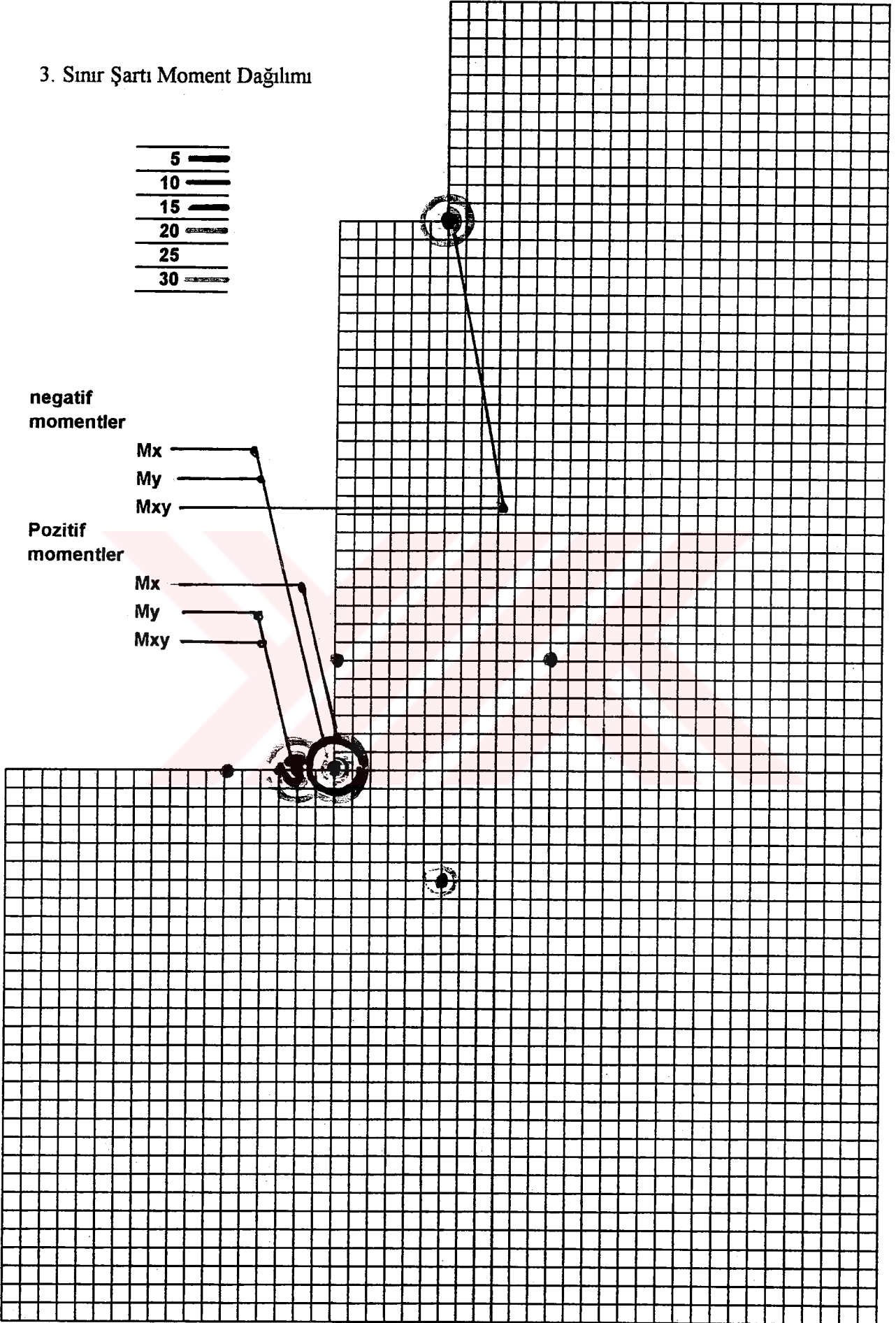


negatif
momentler

M_x ———
 M_y ———
 M_{xy} ———

Pozitif
momentler

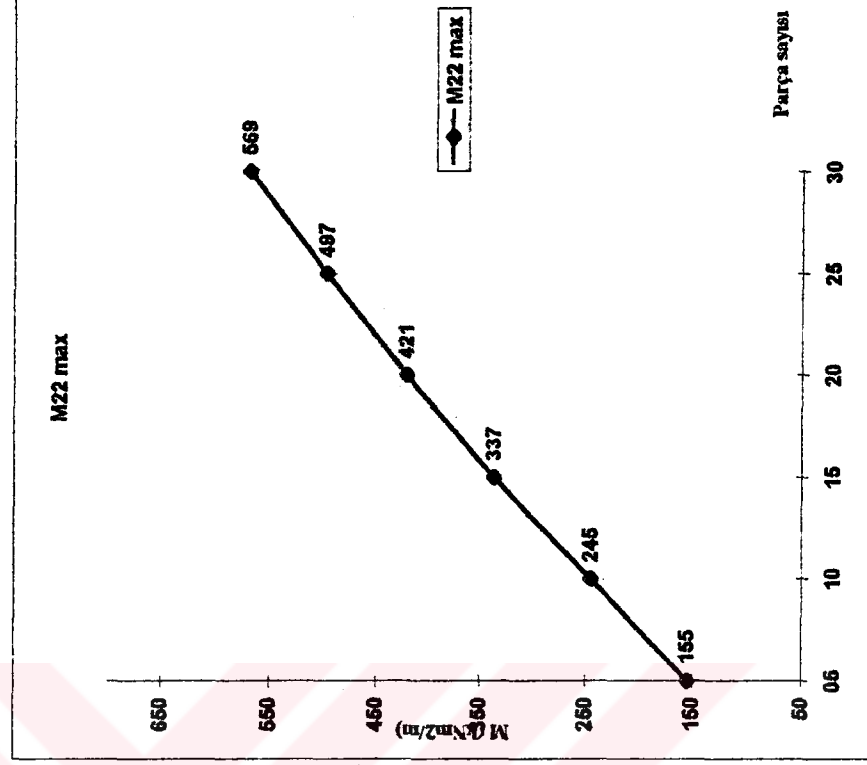
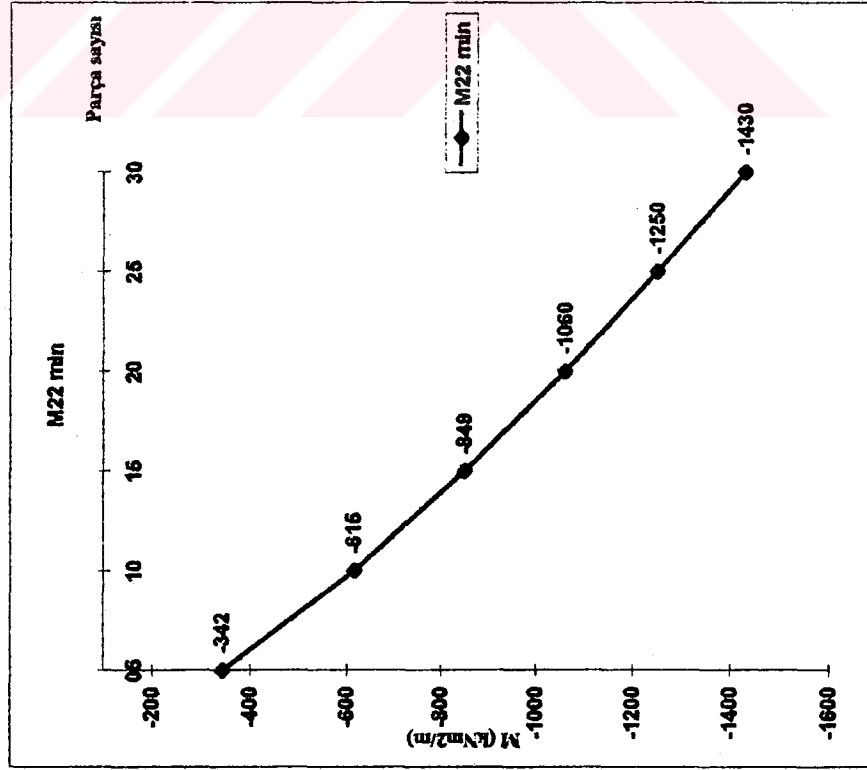
M_x ———
 M_y ———
 M_{xy} ———



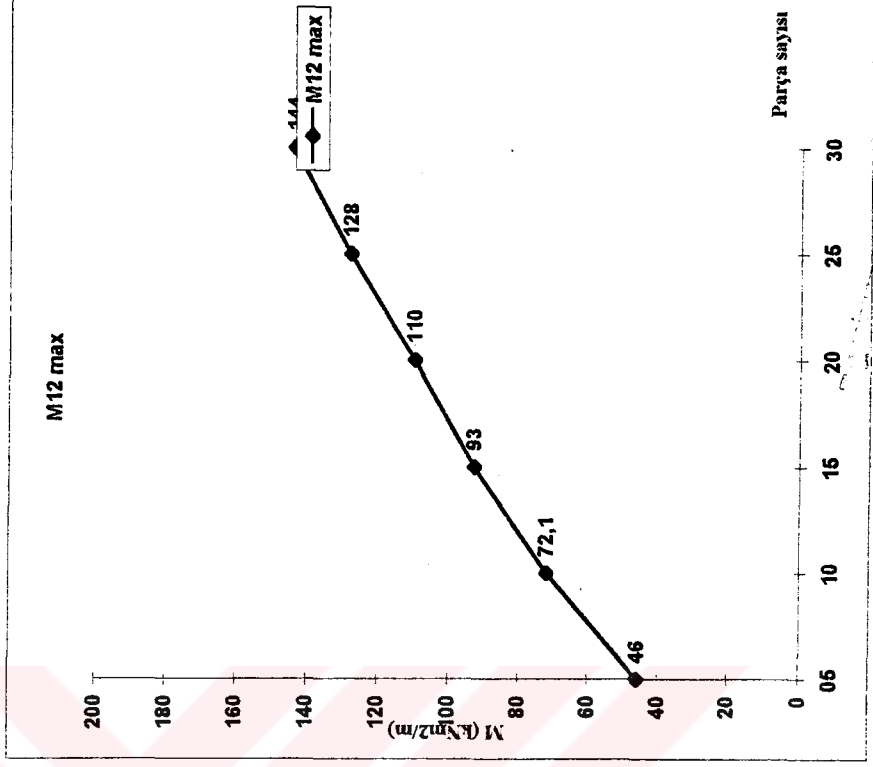
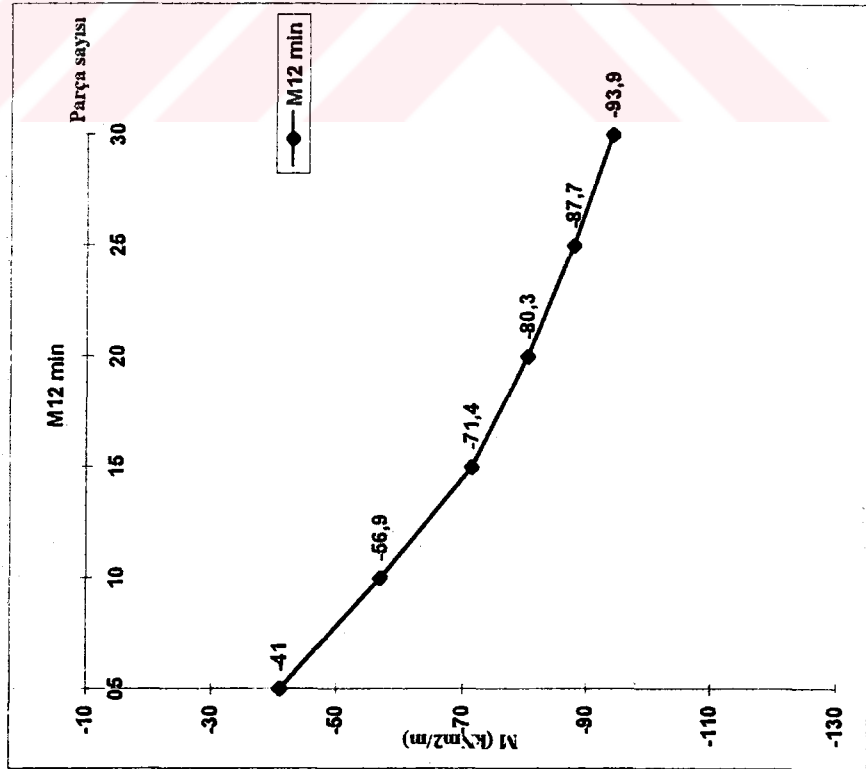


Boşluklu Durum

Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M22 min	No	71	257	559	977	1511	2161
	Değer	-342	-615	-849	-1060	-1250	-1430
M22 max	No	46	278	590	1018	1562	2222
	Değer	155	245	337	421	497	569



Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M12 min	No	63	221	475	825	1271	1813
	Değer	-41	221	-56,9	-71,4	-80,3	-87,7
M12 max	No	71	257	559	977	1511	2161
	Değer	46	257	72,1	93	110	128
	Değer						144



KOÇTİM MİMARLIK
İNŞAAT MÜHÜRÜ

Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	-0,02462	-0,02398	-0,02384	-0,02381	-0,02378	-0,02376

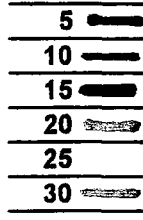


		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	-233	257	-406	559	-544	977	-686	1511	-808	2161	-922
M11 max	112	258	160	560	219	978	271	1512	319	2162	365
M22 min	-263	257	-459	559	-621	977	-764	1511	-896	2161	-1020
M22 max	160	278	182	590	246	1018	304	1562	357	2222	406
M12 min	-41	221	-56,9	475	-71,4	825	-80,3	1271	-87,7	1813	-93,9
M12 max	46	257	72,1	559	93	977	110	1511	128	2161	144
w	-0,02462		-0,02398		-0,02384		-0,02381		-0,02378		-0,02376

Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	3,96	2,27	1,69	1,34	1,14
M11 max	3,26	2,28	1,67	1,35	1,14
M22 min	3,88	2,22	1,64	1,34	1,14
M22 max	2,54	2,23	1,65	1,34	1,14
M12 min	2,29	1,65	1,32	1,17	1,07
M12 max	3,13	2,00	1,55	1,31	1,13

3. Sınır Şartı Moment Dağılımı



negatif
momentler

M_x

M_y

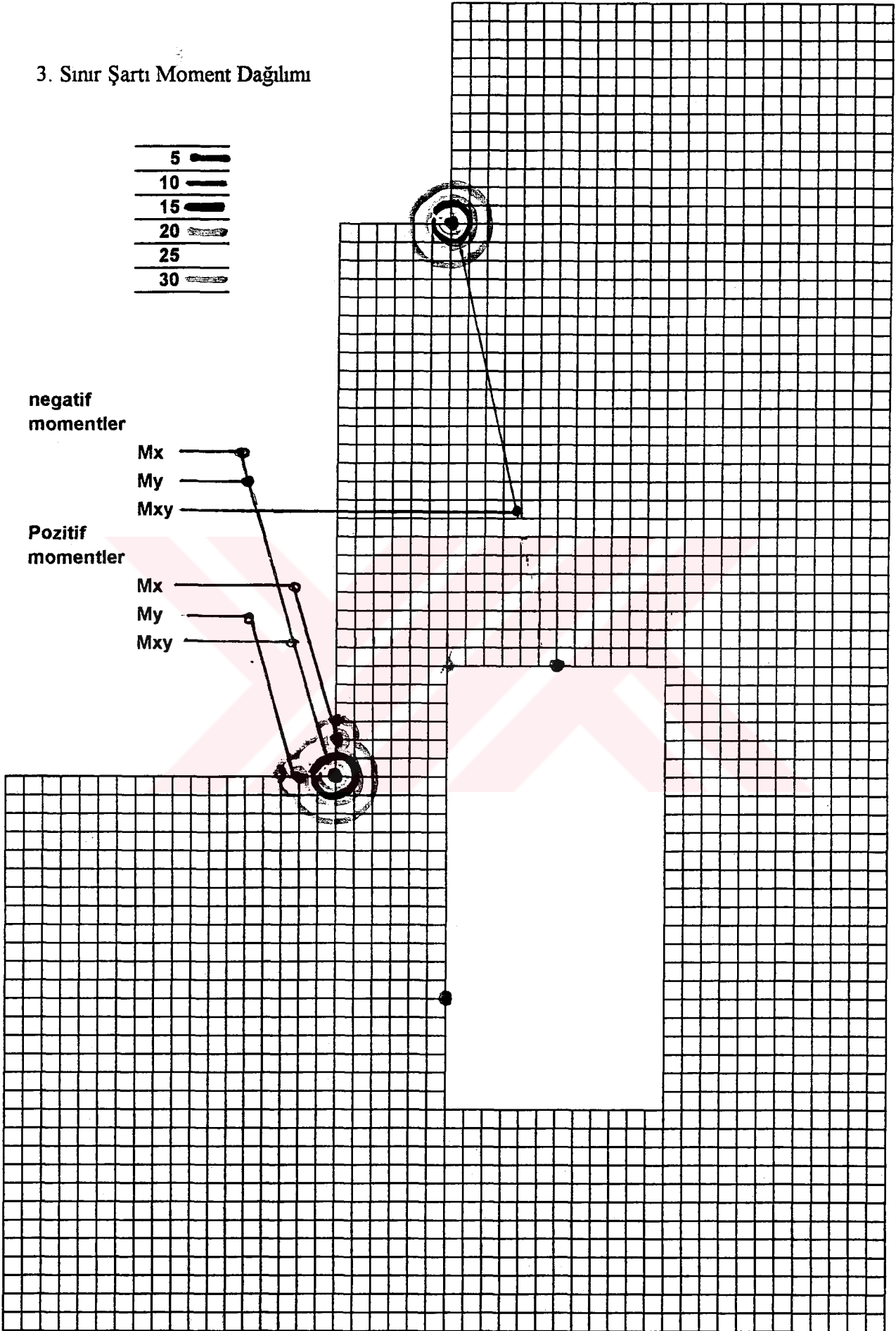
M_{xy}

Pozitif
momentler

M_x

M_y

M_{xy}

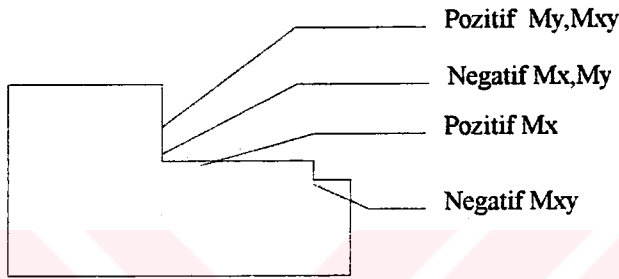


6.1.3.3 Bölüm Sonucu

Dört kenarından ankastre iki kenarından basit mesnetli 3. Sınır durumunda tüm momentlerde artış görülmektedir. En büyük oran yine 05 tedir ve 4,31 ile 2,31 arasında değişmektedir. 10 yapısında bu oran 2,36 ile 1,75 arasındadır. Ve giderek azalmaktadır.

Çökme değerleri için yüzde 5 lik bir azalma söz konusudur.

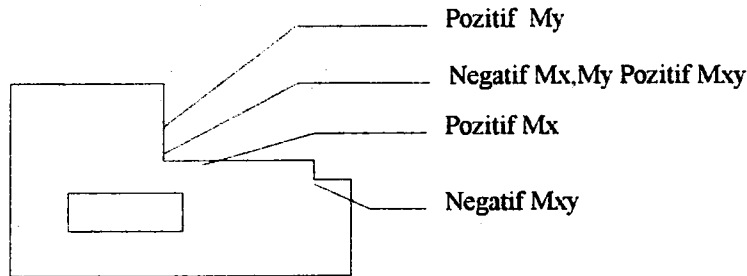
Maksimum ve Minimum momentler ile max. deplasmanların meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bunun tek istisnası yine 05 durumudur.

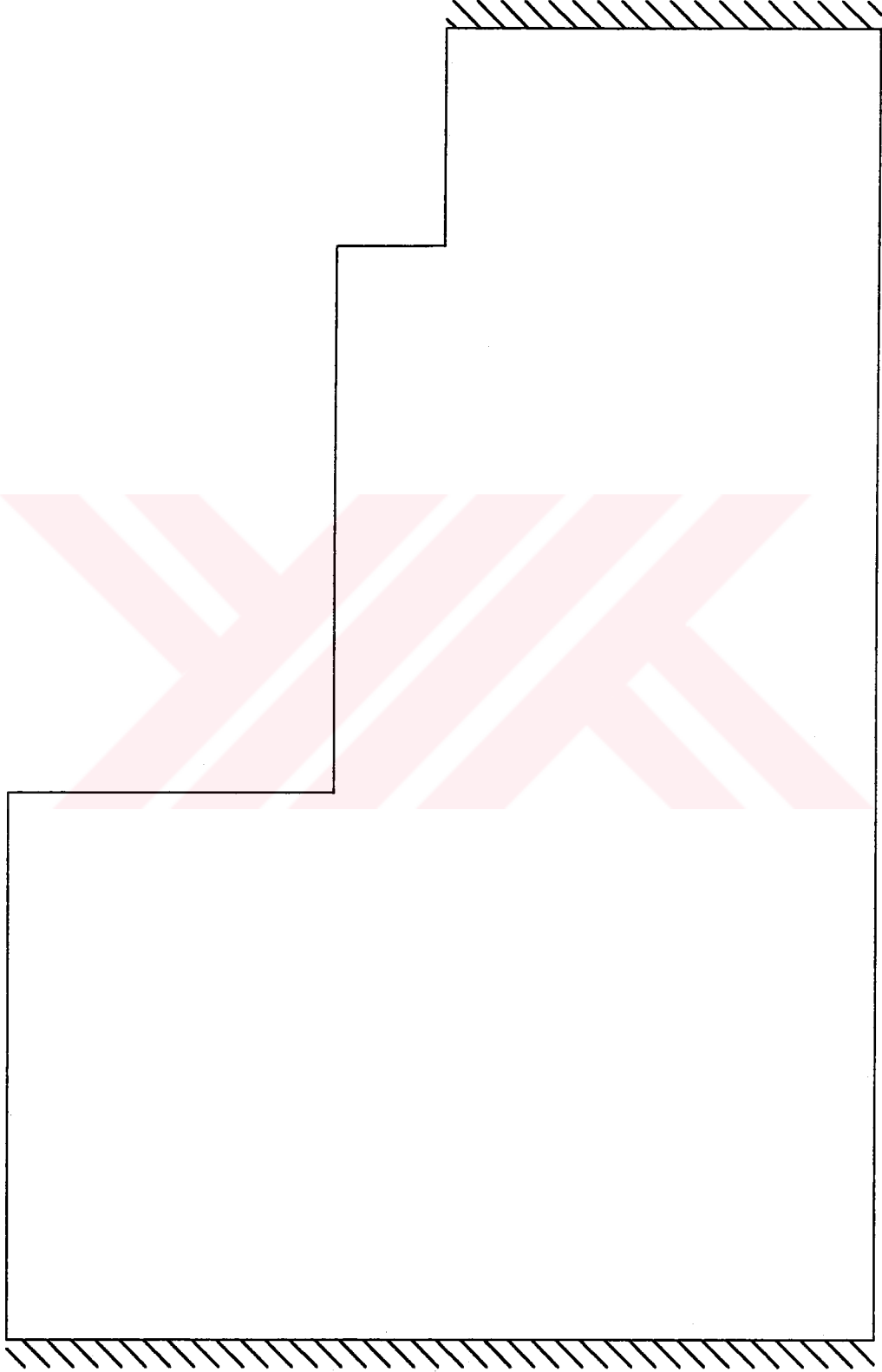


3. Sınır koşullarında boşluk durumundada momentlerde yüksek oranlarla artış görülmektedir. En büyük oran yine 05 tedir ve 3.96 ile 2,29 arasında değişmektedir. Ve giderek azalmaktadır. 10 yapısında bu oran 2,28 ile 1,65 arasındadır.

Çökme değerleri için yüzde 3,6 lik bir azalma söz konusudur.

Maksimum ve Minimum momentler ile max. deplasmanların meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bunun tek istisnası yine 05 durumudur. Dikkat edilirse boşluk etkisine rağmen her iki durumdada mometlerin maksimum ve minimum oldukları yerler aynıdır.

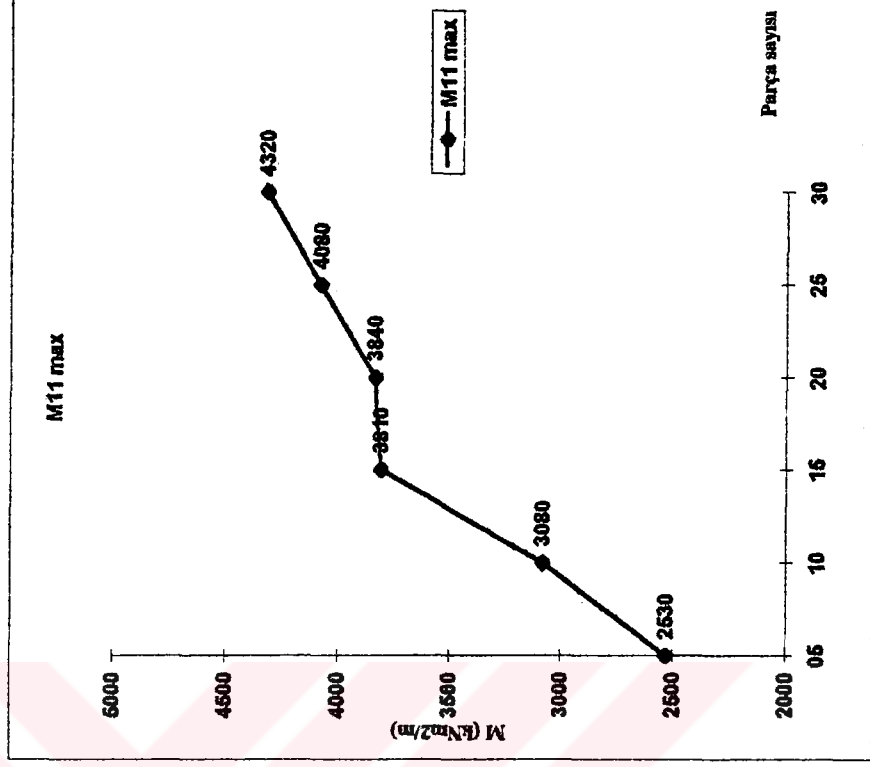
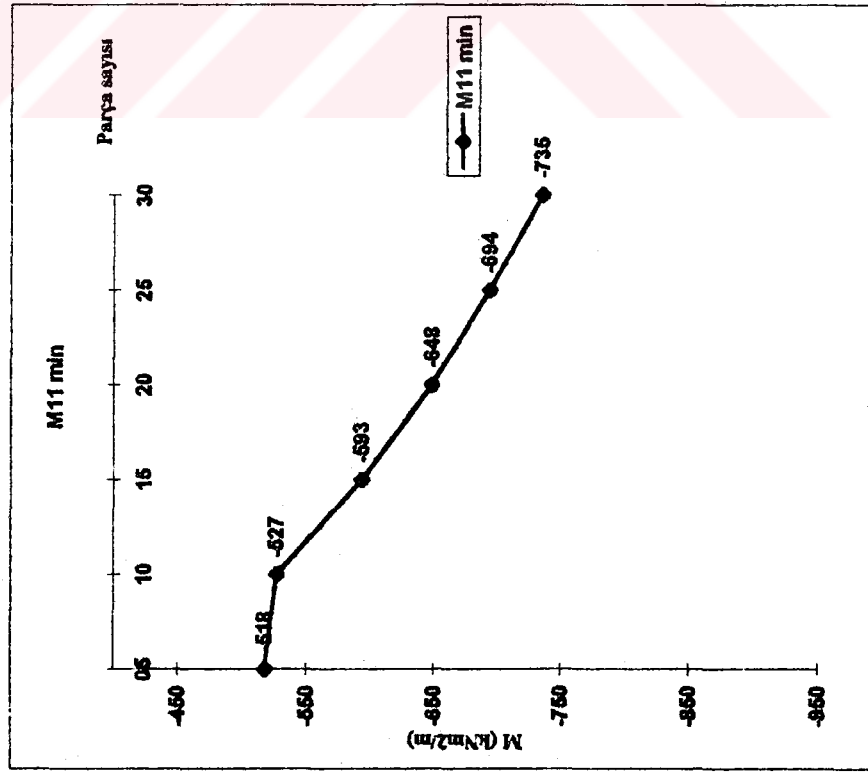


6.4 4. Sınır Şartı**(İki Kenarından Basit Mesnetli Diğer Kenarları Boşta L Plak)**

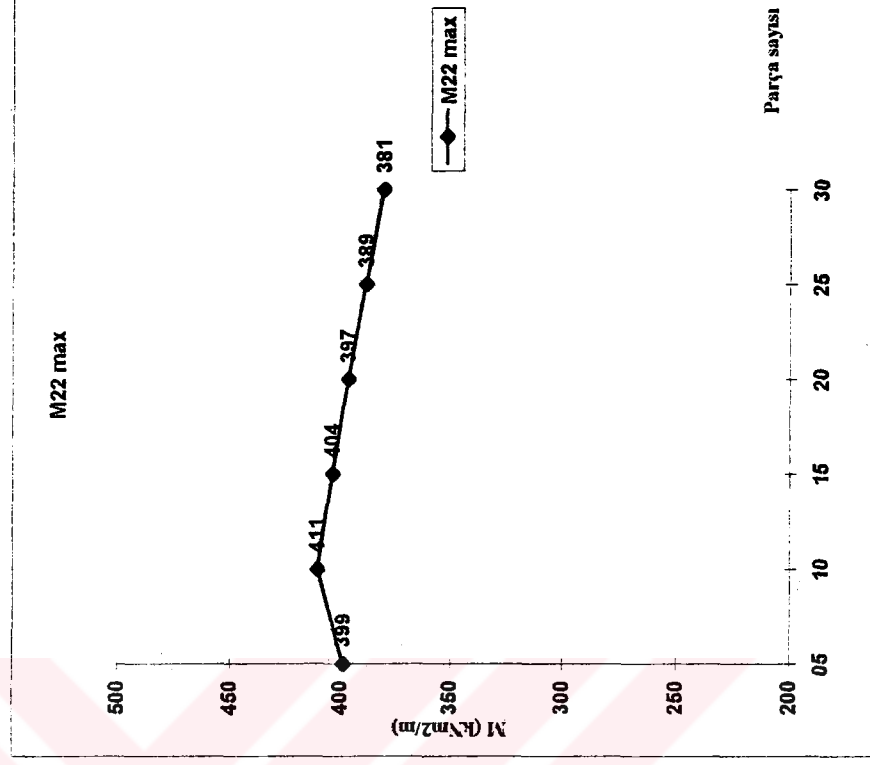
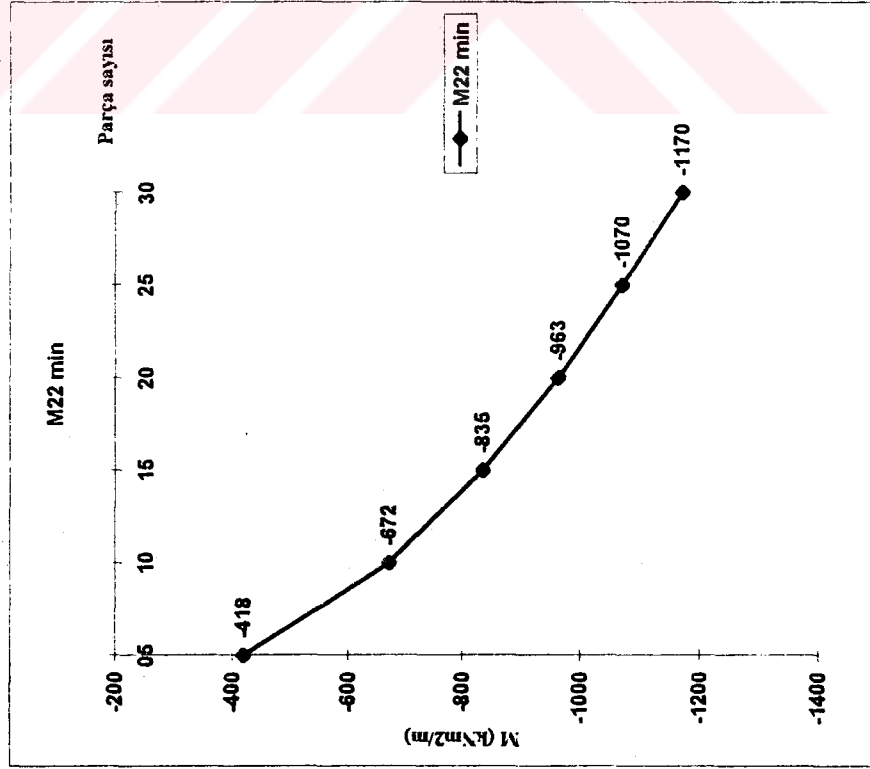


Boşluksuz Durum

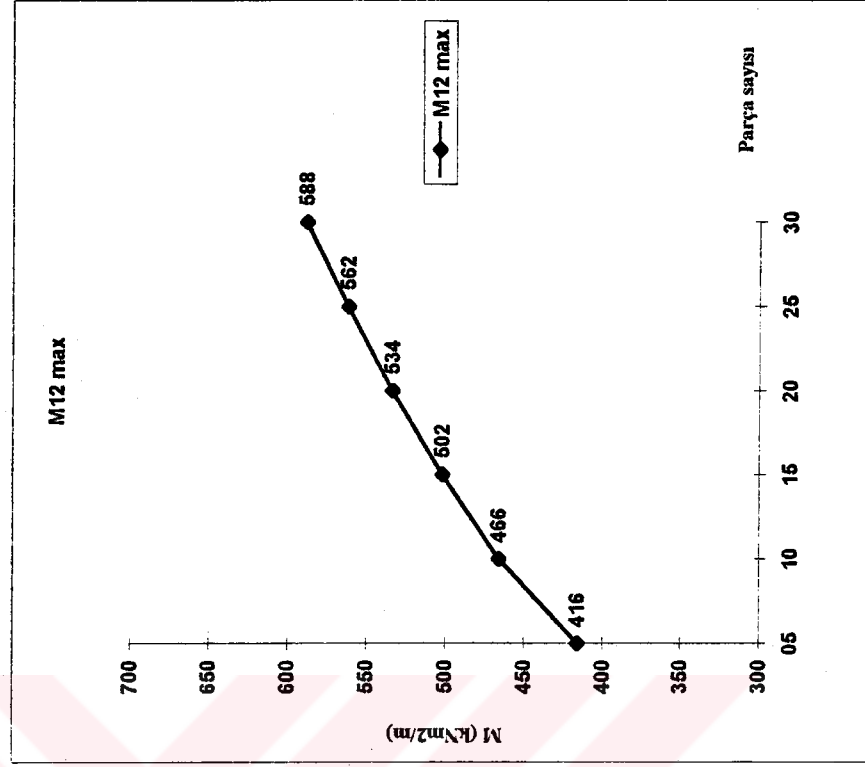
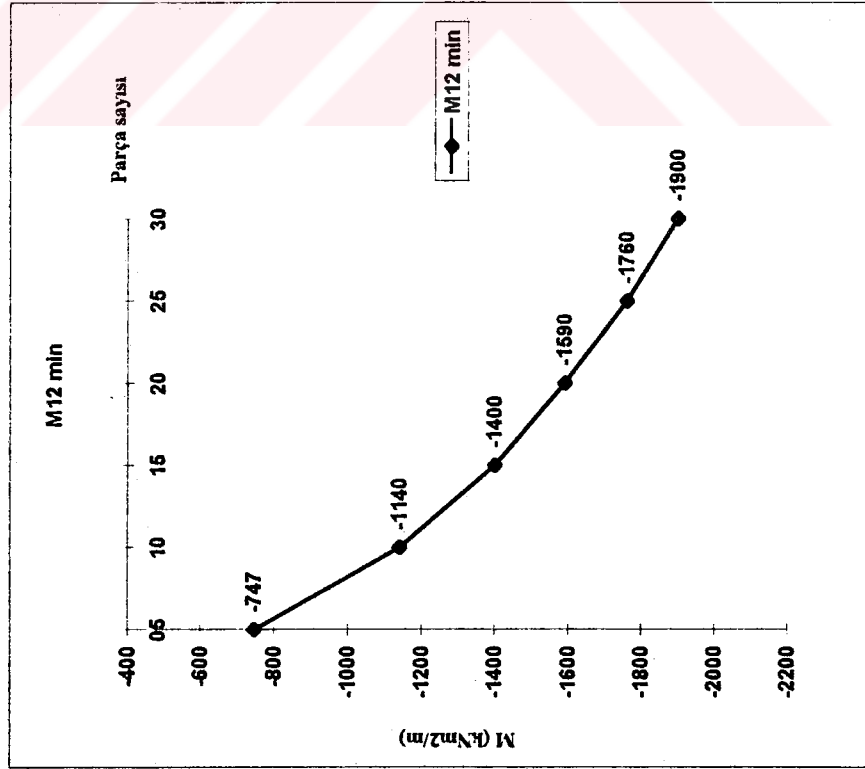
Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M11 min	M11 max	No	Değer	No	Değer	No	Değer
76	71	76	-518	278	-527	590	-593
		71	2530	257	3080	559	3810
				1018	-648	1562	-694
				977	3840	1511	4080
						2222	-735
						2161	4320



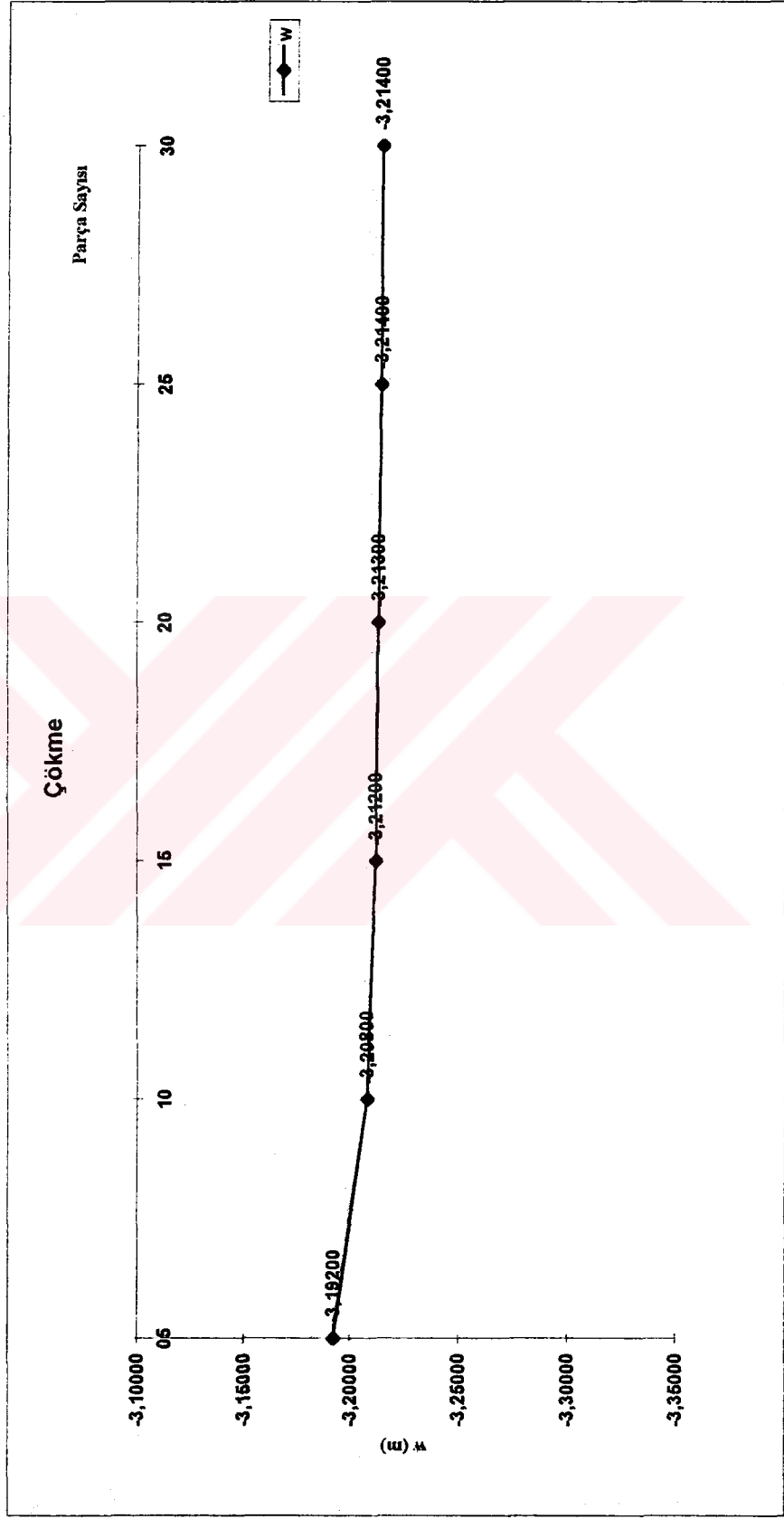
Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M22 min	No	63	221	475	825	1271	1813
	Değer	-418	-672	-835	-835	-963	-1070
M22 max	No	82	278	590	1018	1562	2222
	Değer	399	411	404	397	389	381



Parça sayısı		05	10	15	20	25	30
M12 min	No	82	278	590	1018	1562	2222
	Değer	-747	-1140	-1400	-1590	-1760	-1900
M12 max	No	64	222	476	826	1272	1814
	Değer	416	466	502	534	562	588



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	-3,192	-3,208	-3,212	-3,213	-3,214	-3,214

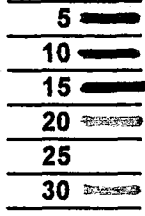


		10		15		20		25		30		
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	76	-518	278	-527	590	-593	1018	-648	1562	-694	2222	-735
M11 max	71	2530	257	3080	559	3810	977	3840	1511	4080	2161	4320
M22 min	63	-418	221	-672	475	-835	825	-963	1271	-1070	1813	-1170
M22 max	82	399	278	411	590	404	1018	397	1562	389	2222	381
M12 min	82	-747	278	-1140	590	-1400	1018	-1590	1562	-1760	2222	-1900
M12 max	64	416	222	466	476	502	826	534	1272	562	1814	588
w		-3,192		-3,208		-3,212		-3,213		-3,214		-3,214

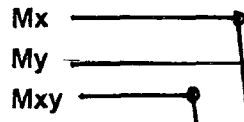
Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	1,42	1,39	1,24	1,13	1,06
M11 max	1,71	1,40	1,13	1,13	1,06
M22 min	2,80	1,74	1,40	1,21	1,09
M22 max	0,95	0,93	0,94	0,96	0,98
M12 min	2,54	1,67	1,36	1,19	1,08
M12 max	1,41	1,26	1,17	1,10	1,05

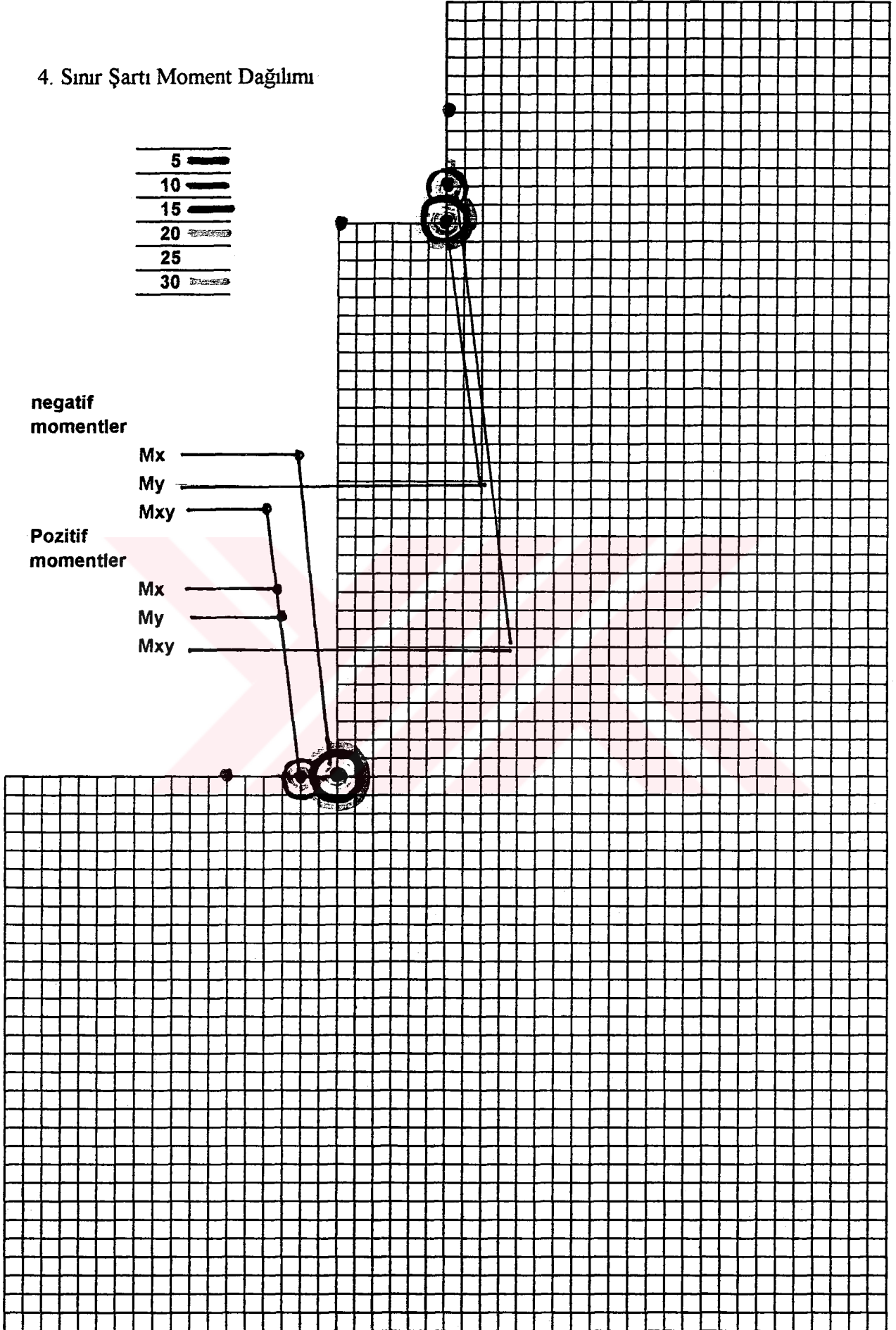
4. Sınır Şartı Moment Dağılımı



negatif
momentler



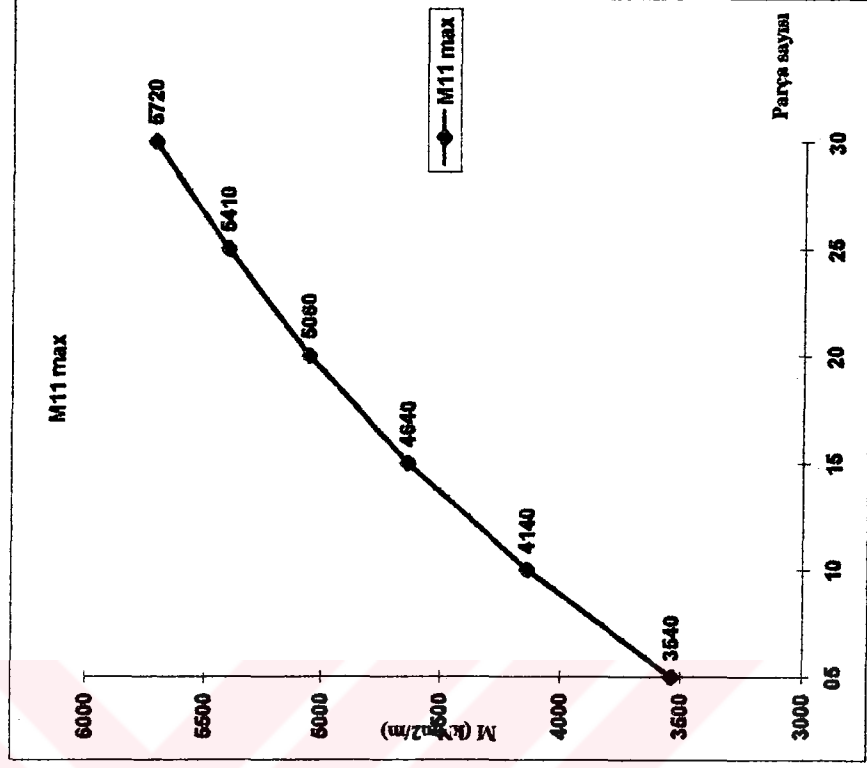
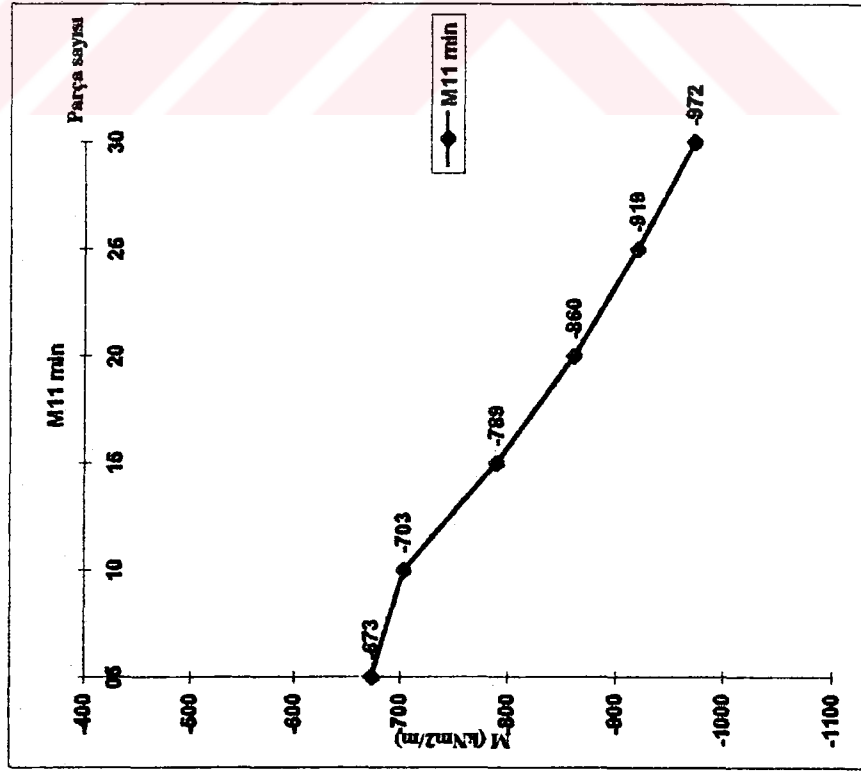
Pozitif
momentler



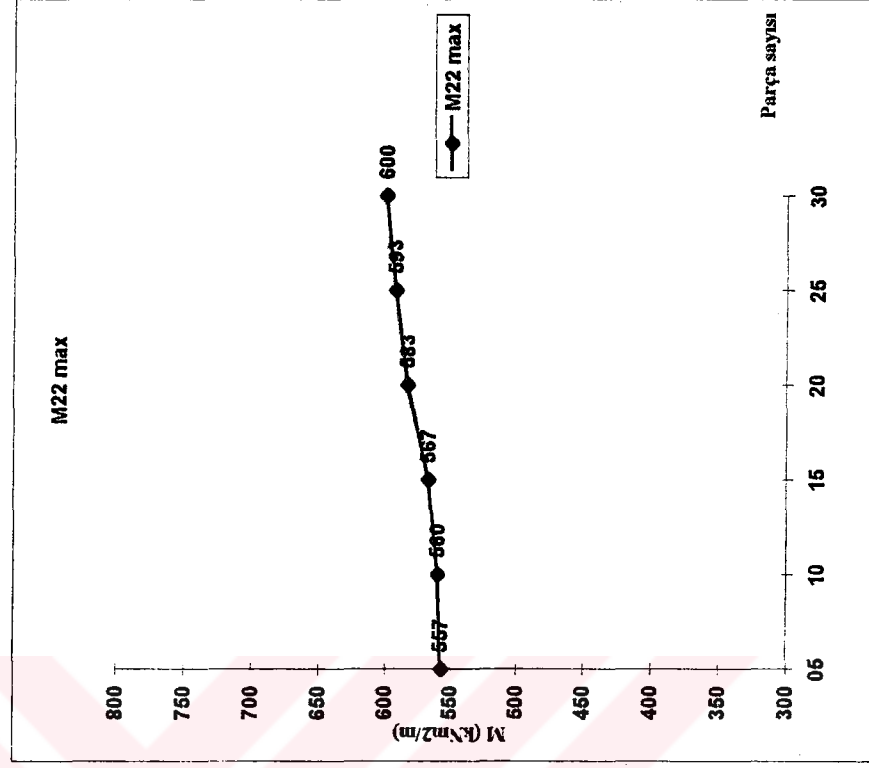
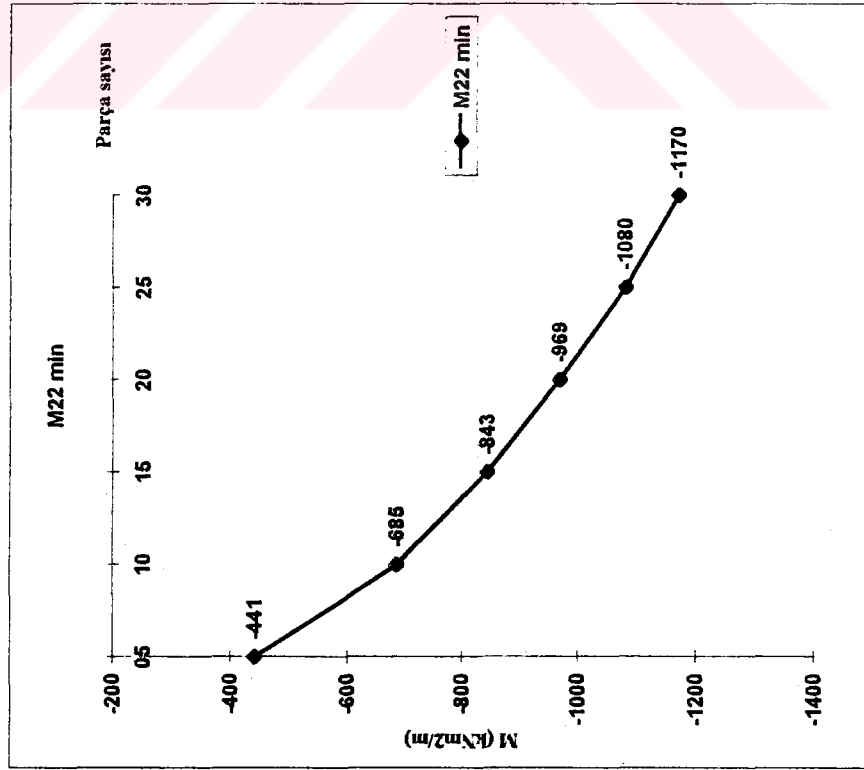


Boşluklu Durum

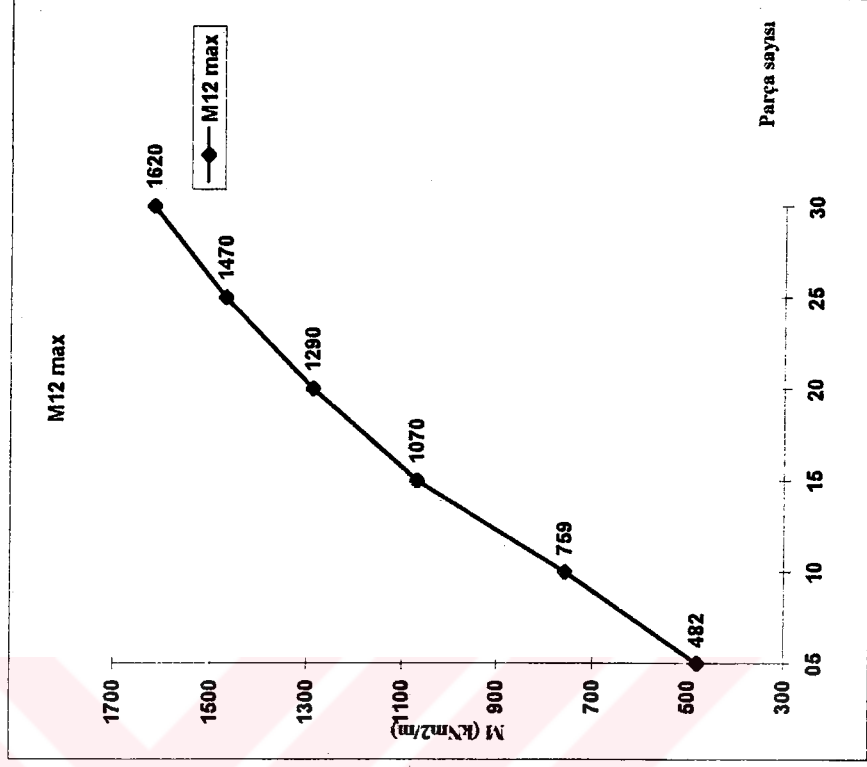
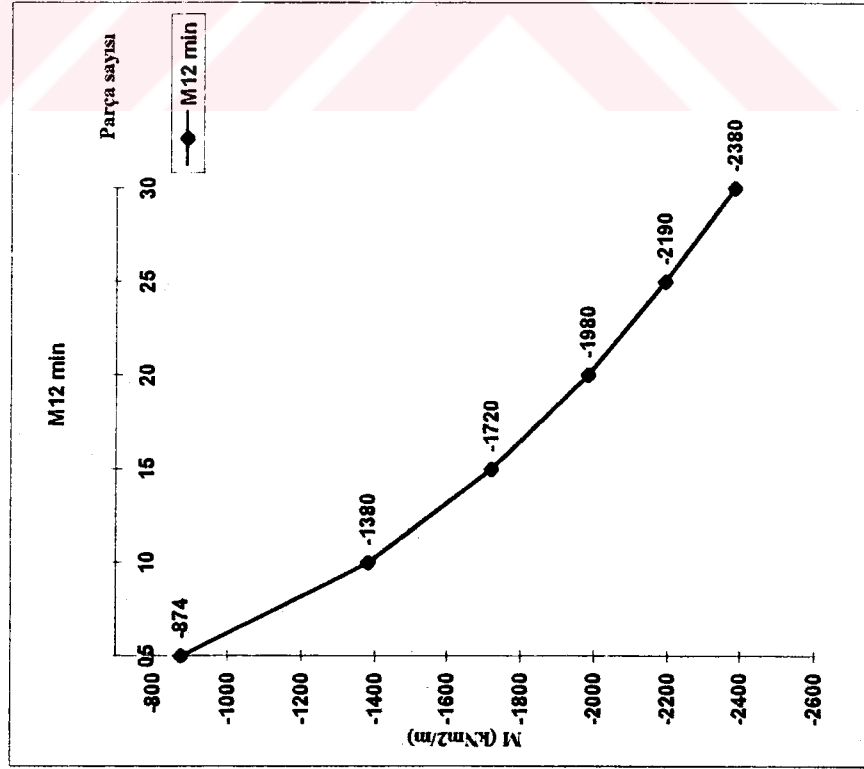
Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 min	46	-673	278	-703	590	-789	1018	-860	1562	-919	2222	-972	
M11 max	71	3540	257	4140	559	4640	977	5060	1511	5410	2161	5720	



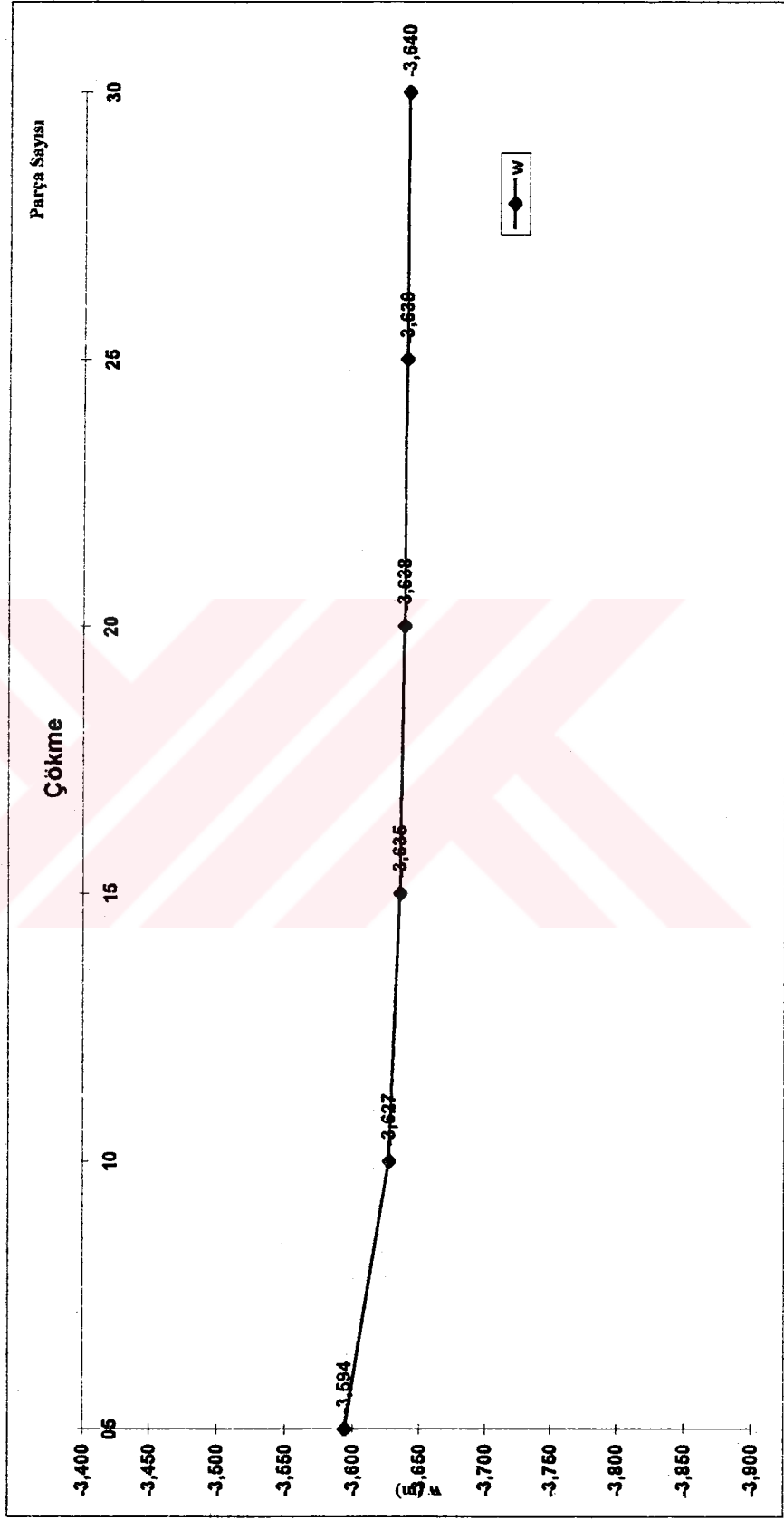
Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 min	63	-441	221	-685	475	-843	825	-969	1271	-1080	1813	-1170	
M22 max	46	557	188	560	426	567	760	583	1190	593	1716	600	



Parça sayısı		05		10		15		20		25		30	
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 min	82	-874	278	-1380	590	-1720	1018	-1980	1562	-2190	2222	-2380	
M12 max	33	482	138	759	278	1070	466	1290	702	1470	986	1620	



Parça sayısı	05	10	15	20	25	30
W	Deger -3,594	Deger -3,627	Deger -3,635	Deger -3,638	Deger -3,639	Deger -3,640

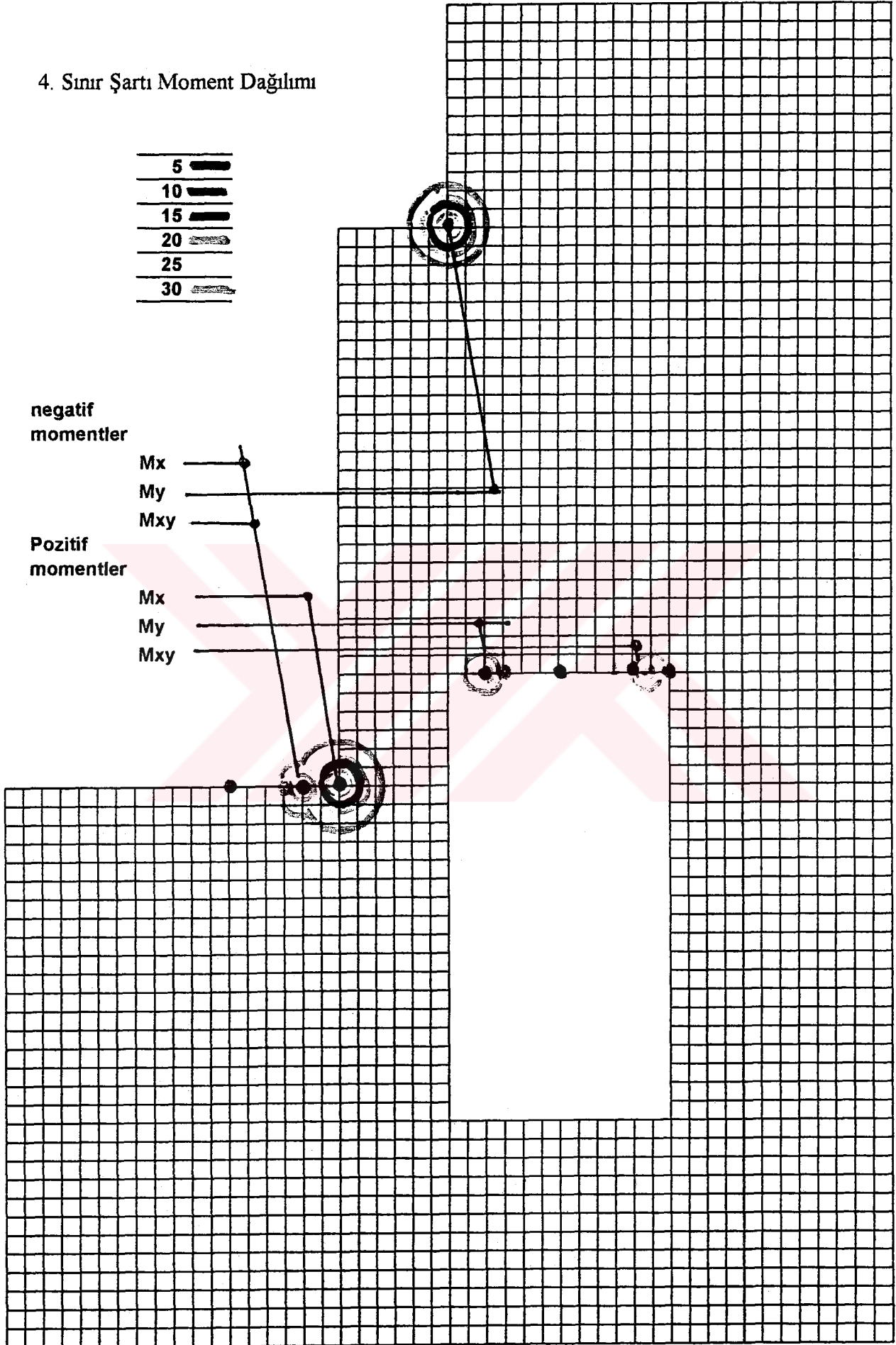


		05	10	15	20	25	30						
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer					
M11 min	46	-673	278	-703	590	-789	1018	-860	1562	2222	-919	2222	-972
M11 max	71	3540	257	4140	559	4640	977	5060	1511	2161	5410	2161	5720
M22 min	63	-441	221	-685	475	-843	825	-969	1271	1813	-1080	1813	-1170
M22 max	46	557	188	560	426	567	760	583	1190	1716	593	1716	600
M12 min	82	-874	278	-1380	590	-1720	1018	-1980	1562	2222	-2190	2222	-2380
M12 max	33	482	138	759	278	1070	466	1290	702	986	1470	986	1620
w		-3,594		-3,627		-3,635		-3,638			-3,639		-3,640

Moment Değişim Oranları Tablosu

	30/05	30/10	30/15	30/20	30/25
M11 min	1,44	1,38	1,23	1,13	1,06
M11 max	1,62	1,38	1,23	1,13	1,06
M22 min	2,65	1,71	1,39	1,21	1,08
M22 max	1,08	1,07	1,06	1,03	1,01
M12 min	2,72	1,72	1,38	1,20	1,09
M12 max	3,36	2,13	1,51	1,26	1,10

4. Sınır Şartı Moment Dağılımı

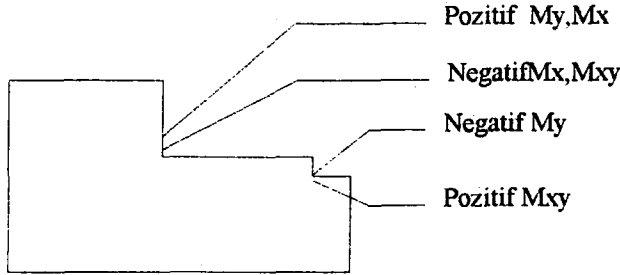


6.1.4.3 Bölüm Sonucu

İki kısa kenarından basit mesnetli 4. Sınır durumunda y yönündeki açıklık momenti hariç tüm momentlerde artış görülmektedir.

Çökme değerleri için binde 6 lik bir azalma söz konusudur.

Maksimum ve Minimum momentler ile max. deplasmanların meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bunun tek istisnası yine 05 durumudur.

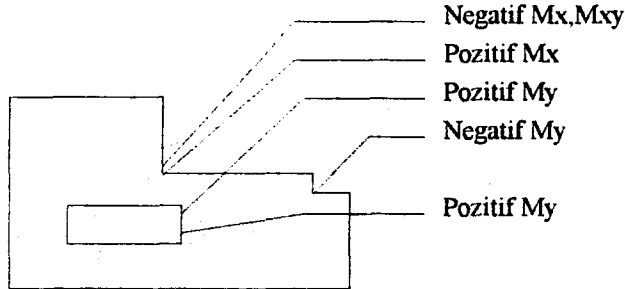


İki kısa kenarından basit mesnetli 4. Sınır durumunda y yönündeki açıklık momenti hariç tüm momentlerde artış görülmektedir.

Çökme değerleri için binde 2,78 lik bir azalma söz konusudur.

Maksimum ve Minimum momentler ile max. deplasmanların meydana geldikleri yerler içinde birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bunun tek istisnası yine 05 durumudur. Dikkat edilirse boşluk etkisine rağmen her iki durumdada momentlerin maksimum ve minimum oldukları yerler aynıdır. Bu kez her iki durumdada 05 ağı elemanların x ve y yönlerindeki moment değerleri arasında bir ilişki yoktur (Bkz: Moment değişim oranları tablosu 30/05 M11min ve M22min). Ancak ilişki ağırlık sıklığına ortaya çıkmaktadır. (Bkz: Moment değişim oranları tablosu 30/15 M11max M22max)

Delik durumunda görüldüğü yalnızca maksimum M22 momenti yer değiştirmiş ve boşluk kenarında meydana gelmiştir.



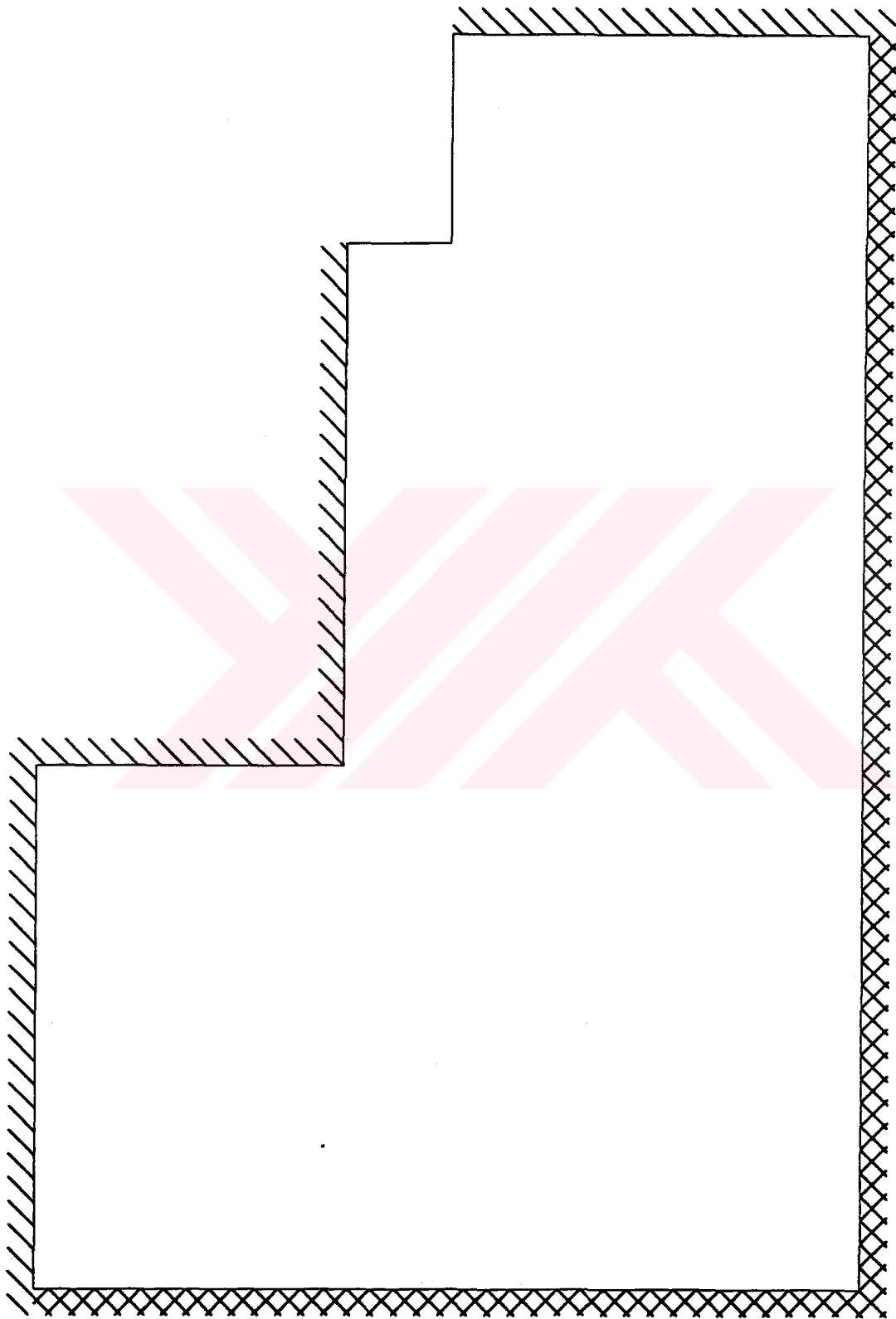
6.2 Dinamik Hesap

Bu bölümde, yine aynı plak bu kez bir sınır şartı ve 5 farklı ağ yapısı için incelenmiştir. Neyazık ki program 30 luk ağ yapısında (2629 ve 2341 eleman) meydana gelen yaklaşık 7500 matrisi çözmekte yetersiz kalmış ve çalıştırılmamıştır. Yırtık etkisi önemine inanıldığından dinamik hesapta da kullanılmıştır.

Dinamik hesap için 1992 Erzincan, 1995 Dinar depremlerinde Doğu -Batı yönlerinde oluşan spektrumlar ve yeni deprem yönetmeliği tasarım spektrumları Z eksenine doğrultusunda uygulanarak çözülmüştür .

Altbaşlıklarda, ağ yapısına göre moment ve düşey deplasman değişim grafikleri sunulmuş, oluşturulan moment dağılım tablolarında maksimum değerce en büyükleri ağ yapılarına bağlı olarak işaretlenmiştir.



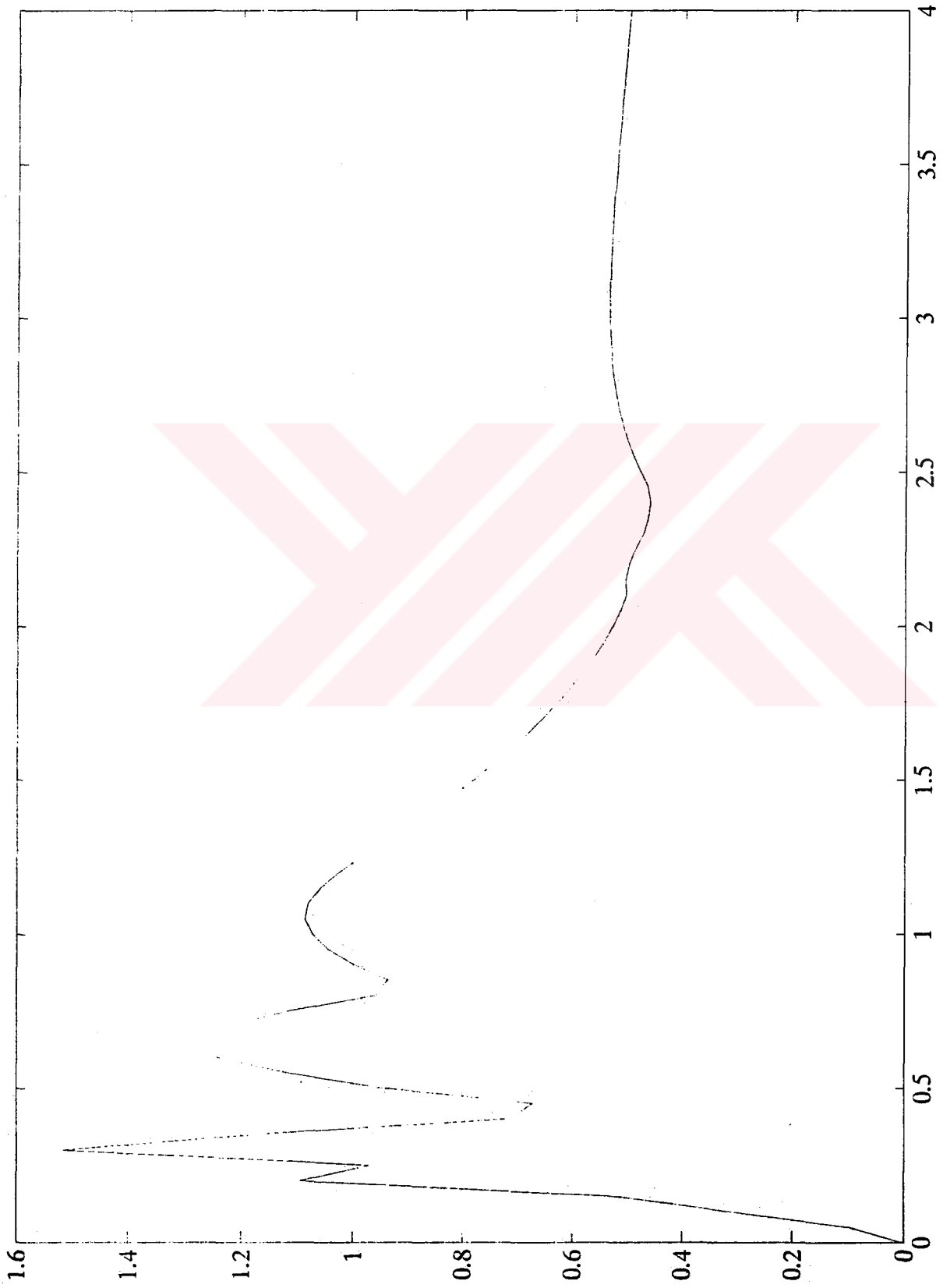


6.2.1.1 Erzincan Depremi

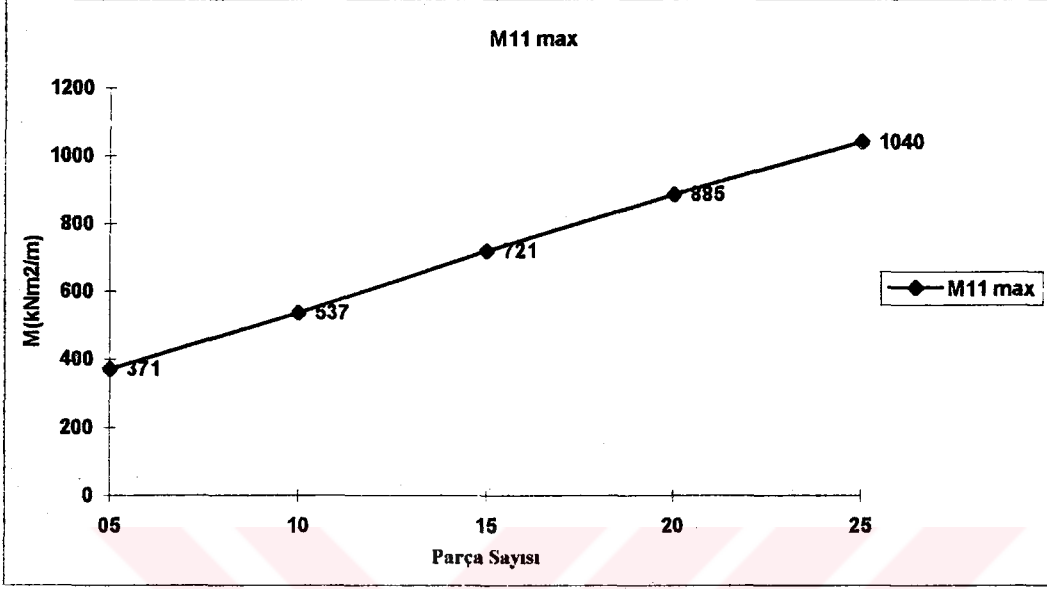
M= 6.8 Büyüğüünde gerçekleşen bu deprem 13 Mart 1992 günü 19.19 da erzincan ve çevresinde etkili olmuştur. Kuzey Anadolu fayı üzerinde bulunan Erzincan'ın kalın bir alüvyon tabakası üzerinde bulunmasının zemin büyütme katsayısı nedeniyle depremin şiddetini arttırdığı düşünölmektedir. (10)

Bu depremde çoğıu kamuya ait bina yıkılmış yada hasar görmüştür. Bunda en önemli sebep tahmin edileceğı gibi yapım kurallarına uyulmamasıdır.

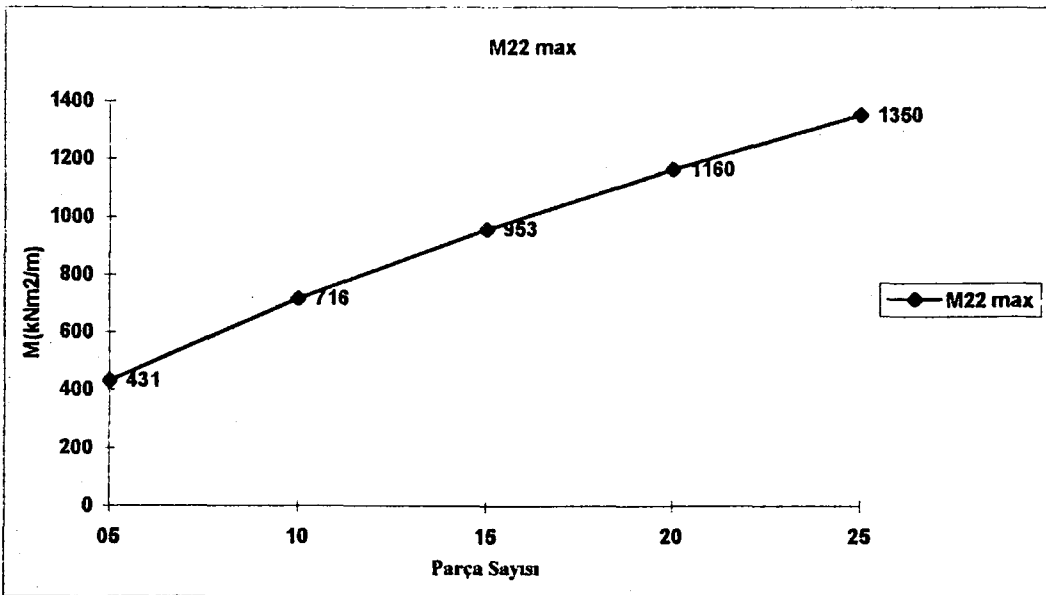




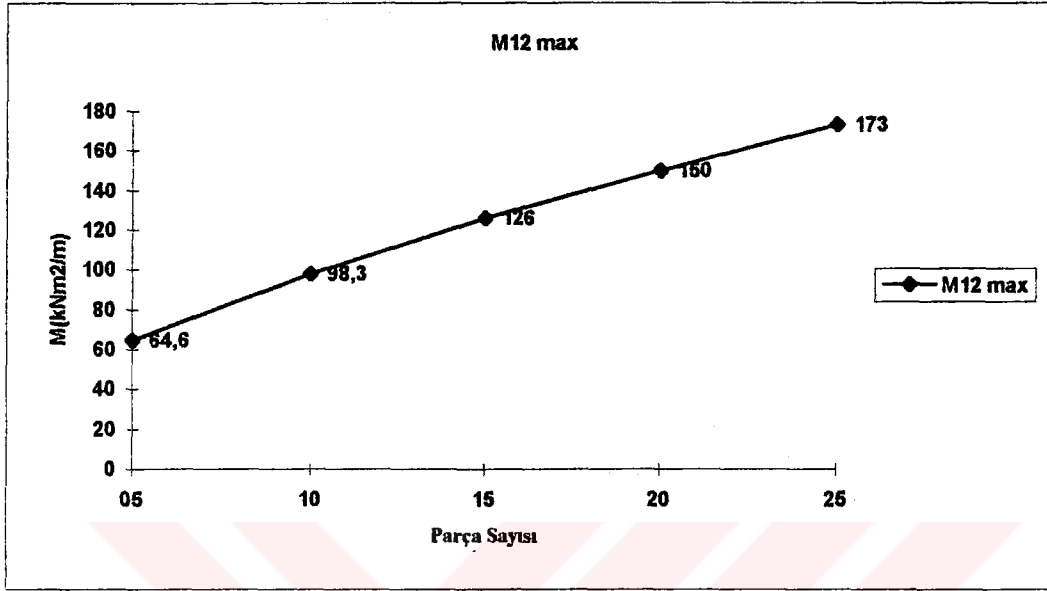
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	371	257	537	559	721	977	885	1511	1040



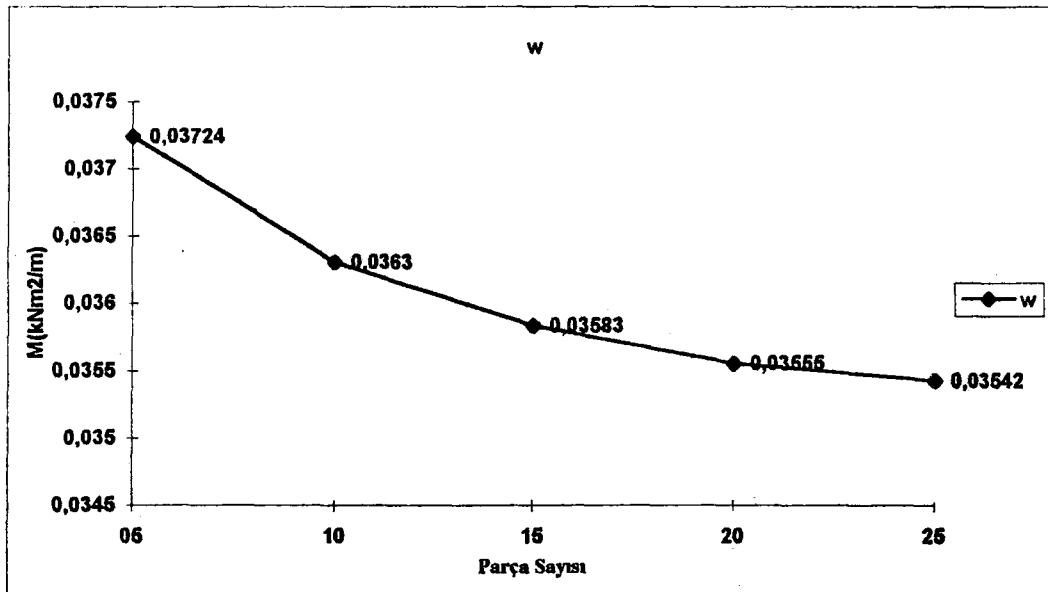
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	71	431	257	716	559	953	977	1160	1511	1350



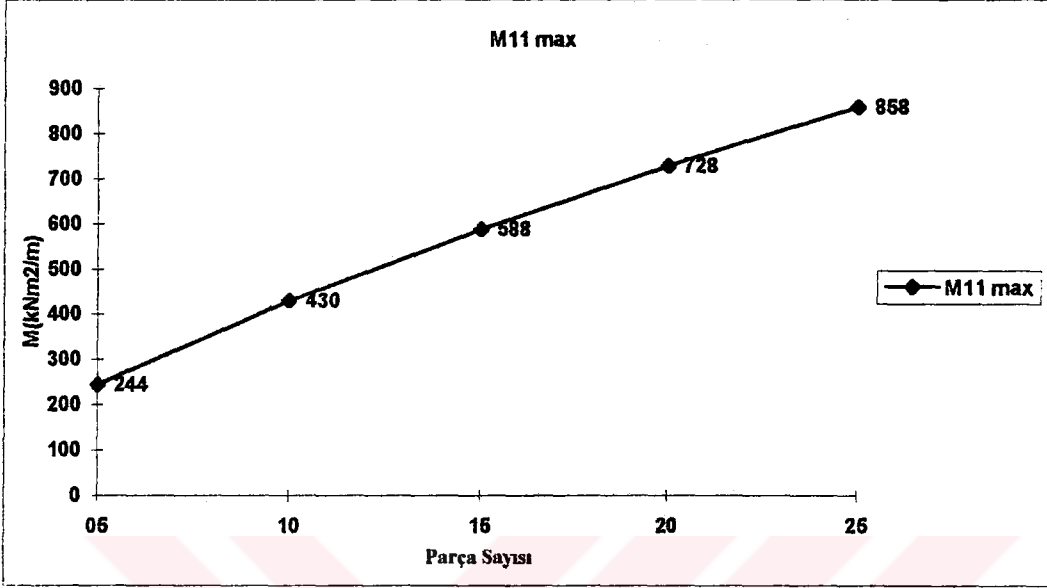
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	71	64,6	257	98,3	559	126	977	150	1511	173



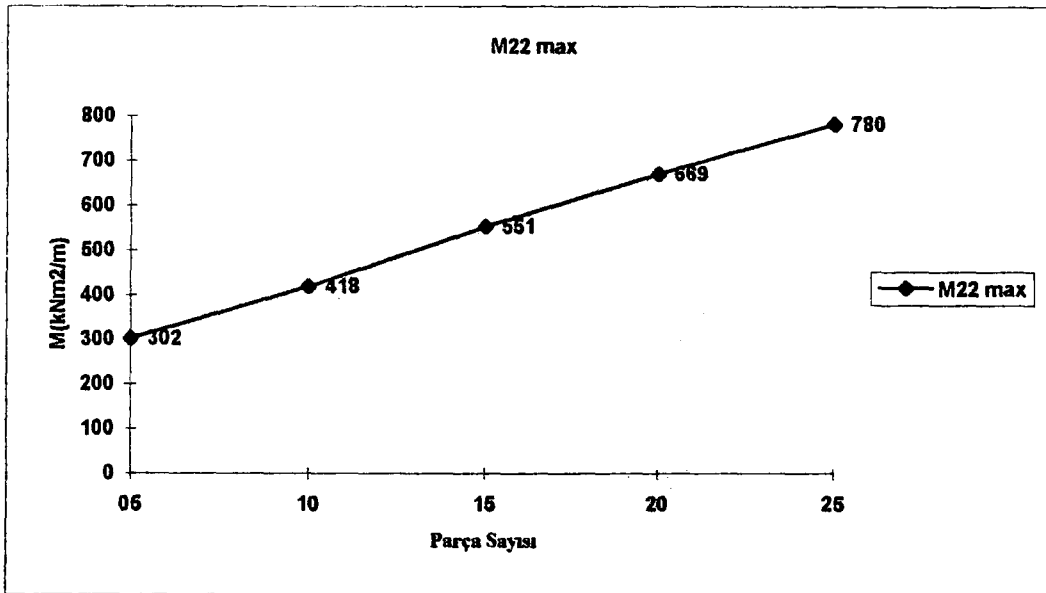
	05		10		15		20		25	
	Değer		Değer		Değer		Değer		Değer	
w	0,03724		0,0363		0,03583		0,03555		0,03542	



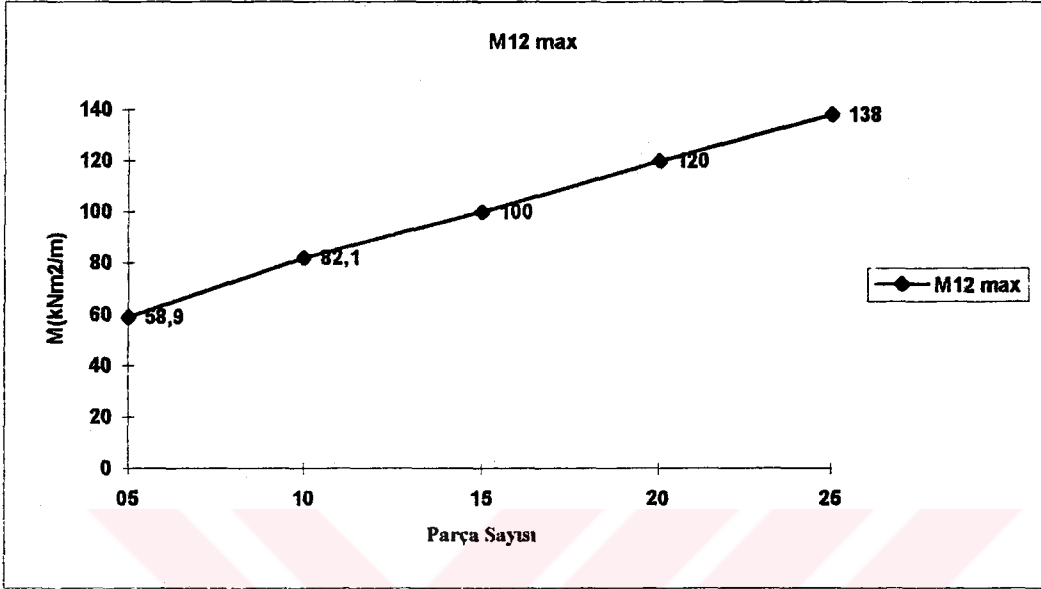
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	244	257	430	559	588	977	728	1511	858



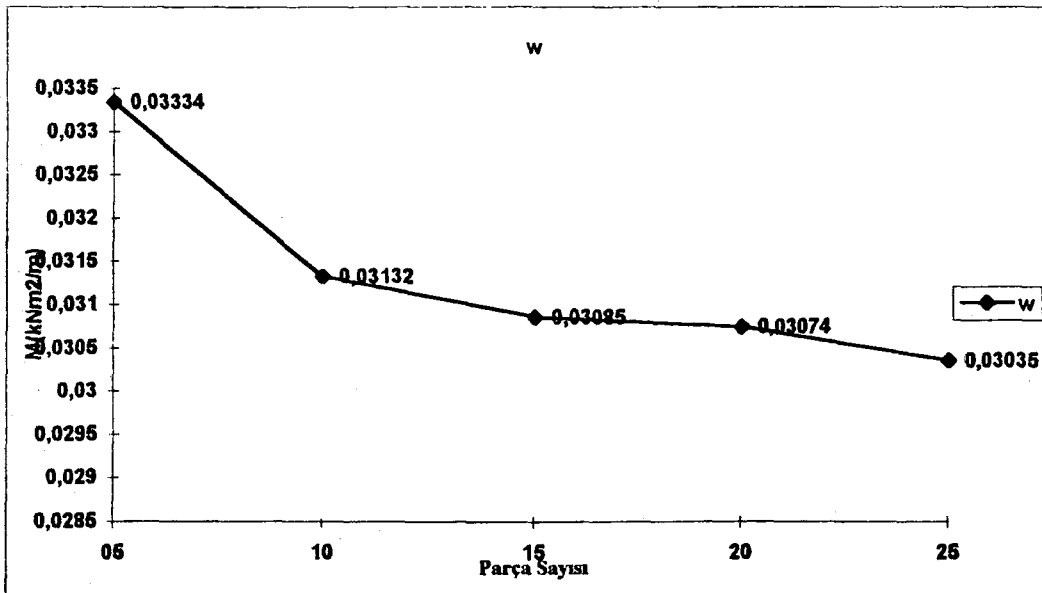
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	9	302	257	418	559	551	977	669	1511	780



	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	58	58,9	221	82,1	559	100	977	120	1511	138



	05		10		15		20		25	
	Değer		Değer		Değer		Değer		Değer	
w	0,03334		0,03132		0,03085		0,03074		0,03035	



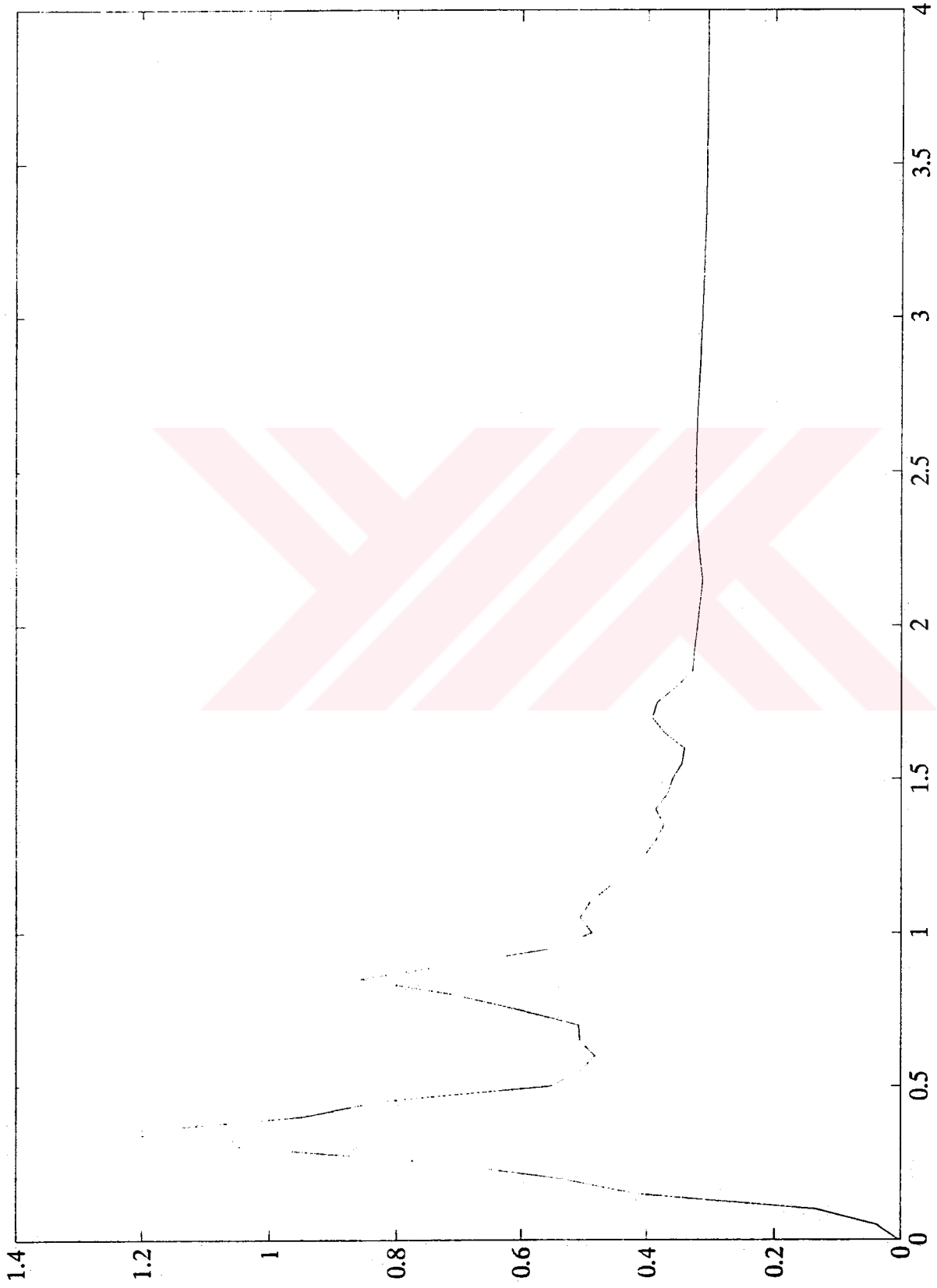
6.2.1.2 Dinar Depremi

Dinar ilçe merkez Dinar Fayı'nın kısmen yüzeyindeki izi üzerinde, fakat büyük kesimi fayın aşağı düşen bloğu üzerinde kurulmuştur. Dinar Fayı'nın yaklaşık 20-25 km uzunluğundaki bir kesimi, fay üzerinde ve derinde (33 km) gerçekleşen bir kırılma ile aktivite kazanmış ve bu hareket, Dinar Depremi olarak, 1 Ekim 1995 pazar günü saat 17:57'de tüm göller bölgesinde hissedilmiştir. Ayrıca deprem sırasında yaklaşık 13 km uzunluğunda yüzey kırık zonu oluşmuştur. (16)

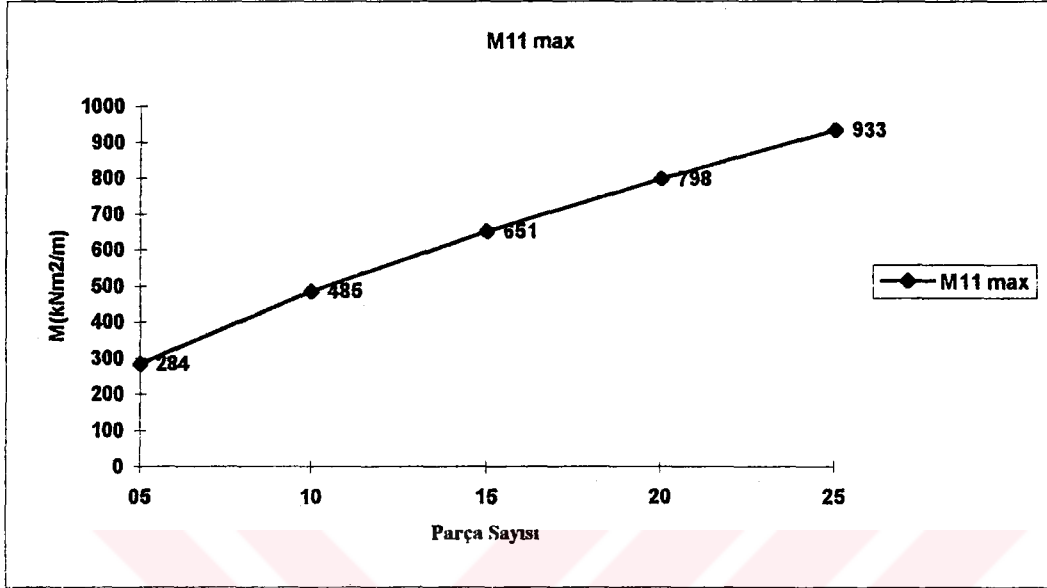
26 Eylül günü fay hareketlenmeye başlayıp önce küçük kırılmalarla hafif depremlere neden olmuş, 1 Ekimde saat 17:57'de en büyük kırılma oluşmuştur.

Yine oluşan hasarlarda en önemli sebep, yapım ve tasarım yetersizlikleridir.

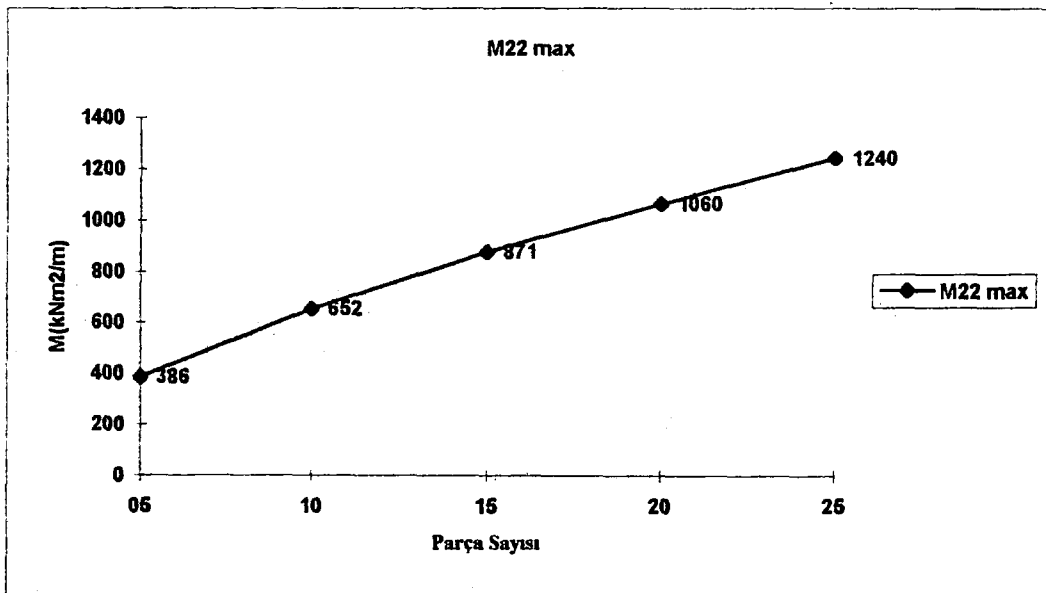




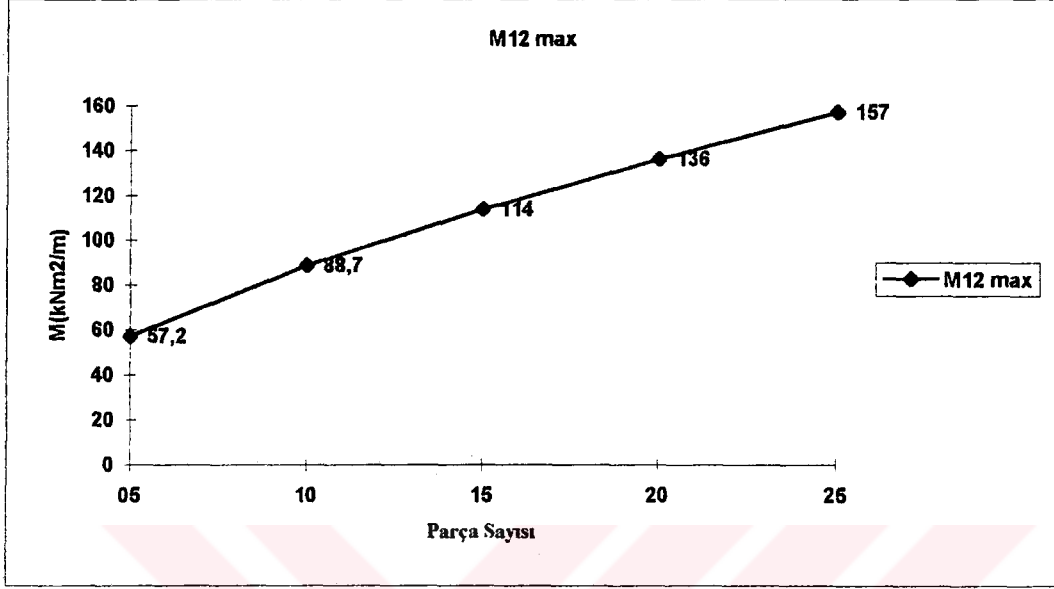
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	284	257	485	559	651	977	798	1511	933



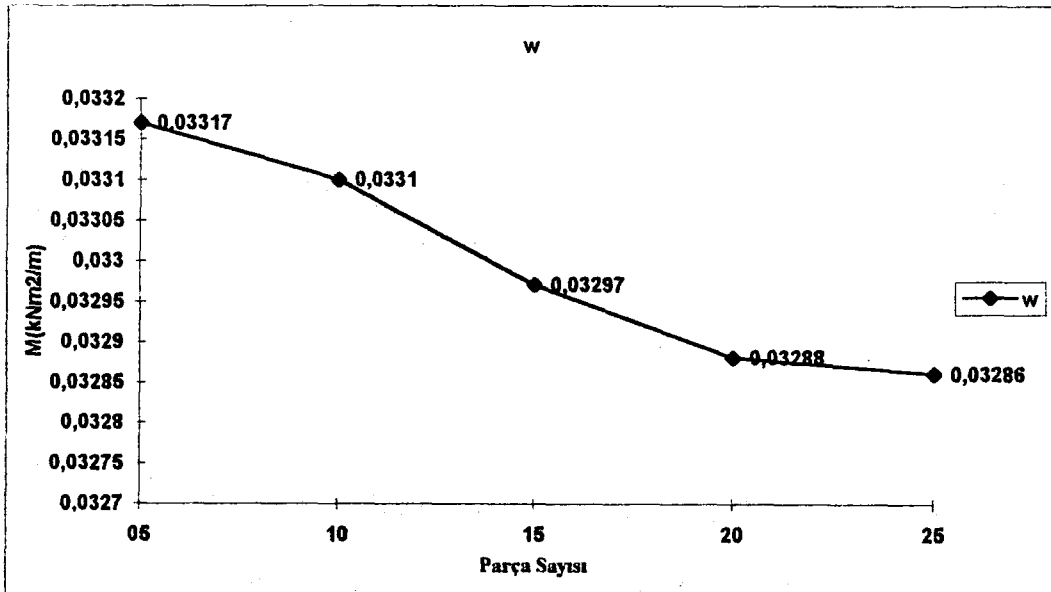
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	71	386	257	652	559	871	977	1060	1511	1240



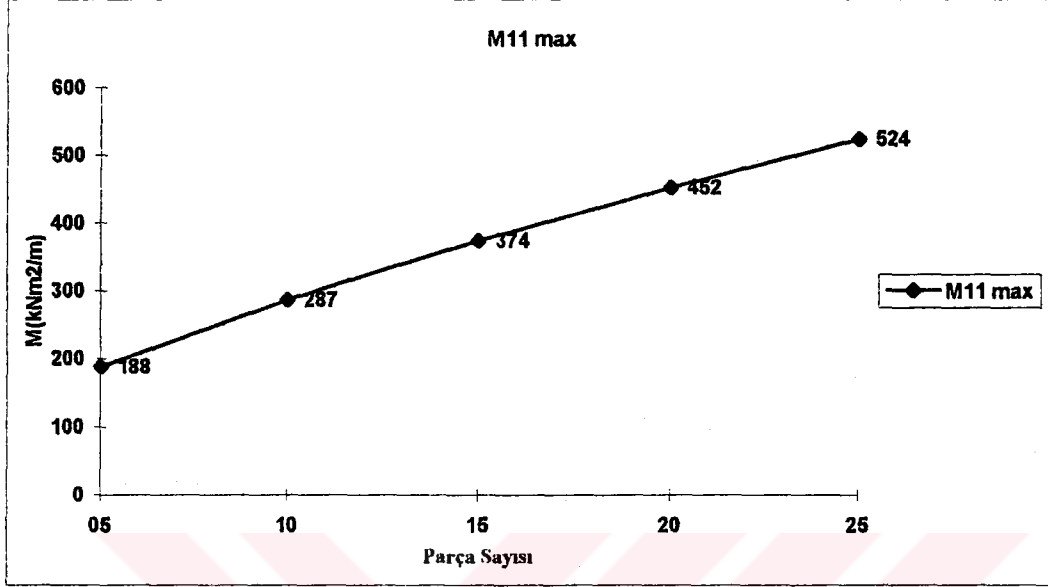
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	71	57,2	257	88,7	559	114	977	136	1511	157



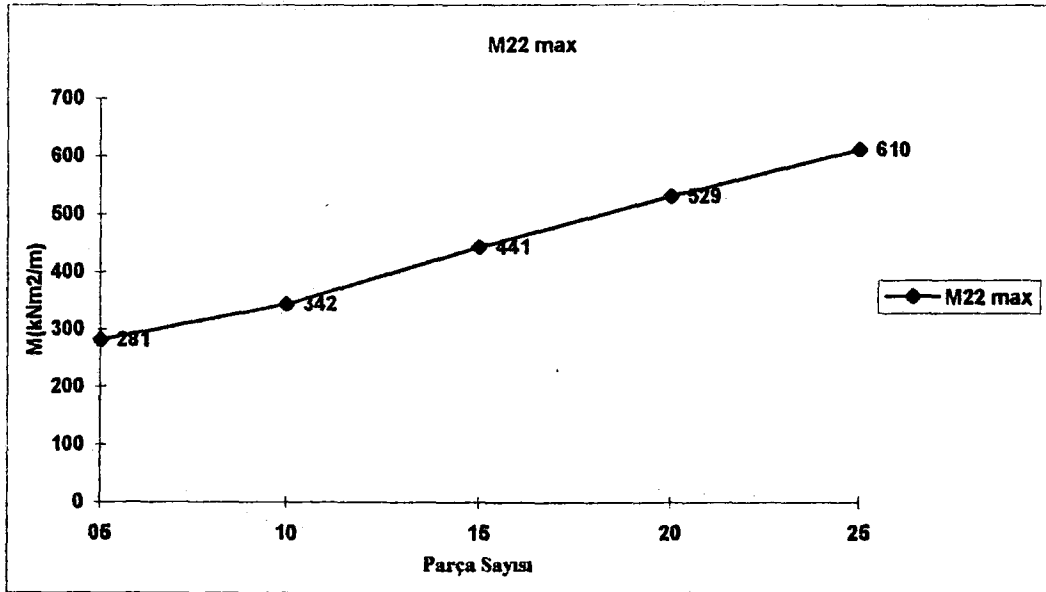
	05		10		15		20		25	
	Değer		Değer		Değer		Değer		Değer	
w	0,03317		0,0331		0,03297		0,03288		0,03286	



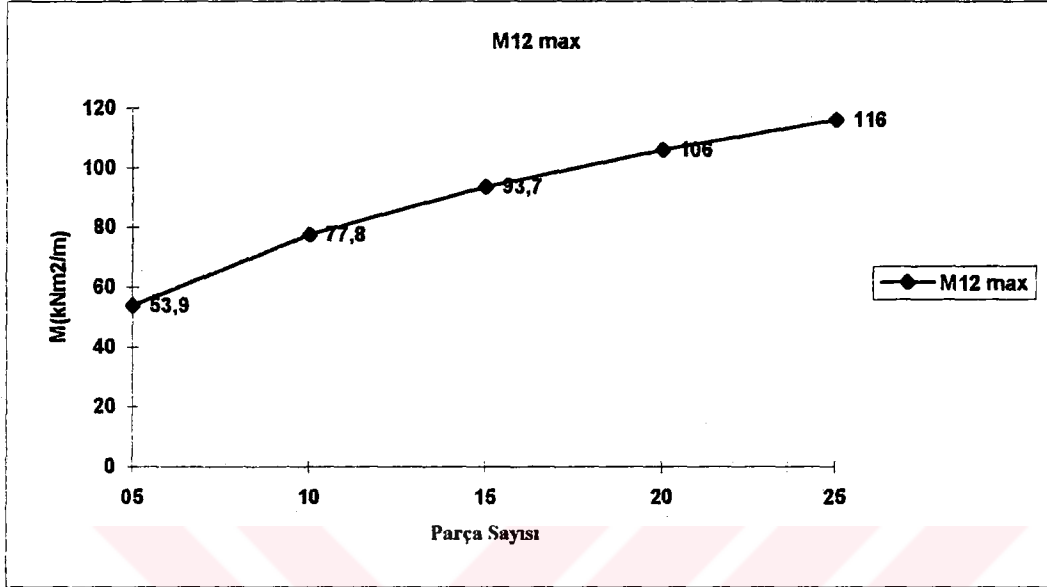
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	188	257	287	559	374	977	452	1511	524



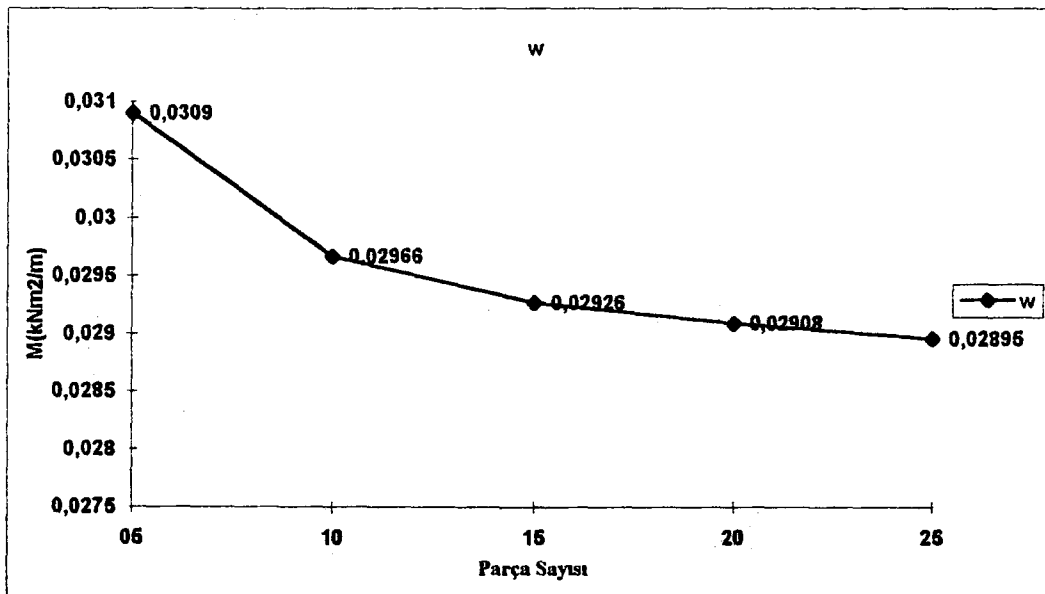
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	9	281	257	342	559	441	977	529	1511	610



	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	58	53,9	221	77,8	475	93,7	825	106	1271	116



	05		10		15		20		25	
	Değer		Değer		Değer		Değer		Değer	
w	0,0309		0,02966		0,02926		0,02908		0,02895	



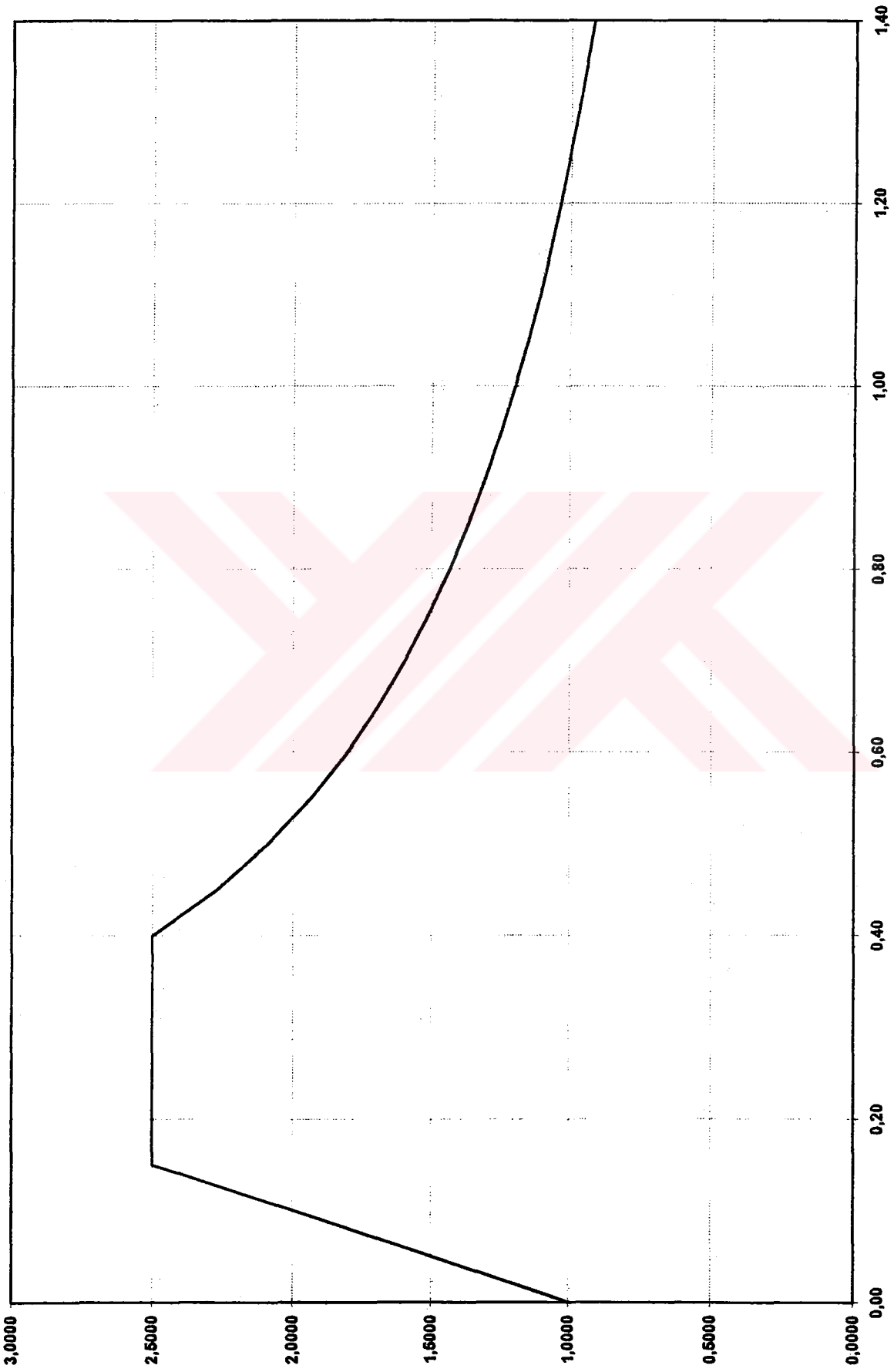
6.2.1.3 Afet B6lgeleri Y6netmeliği

Y6netmeliğin ana ilkesi hafif Őiddetteki depremlerin yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının hasarsız, orta Őiddetteki depremlerin onarılabılır, Őiddetli depremlerde ise can kaybını 6nlemektir. (8)

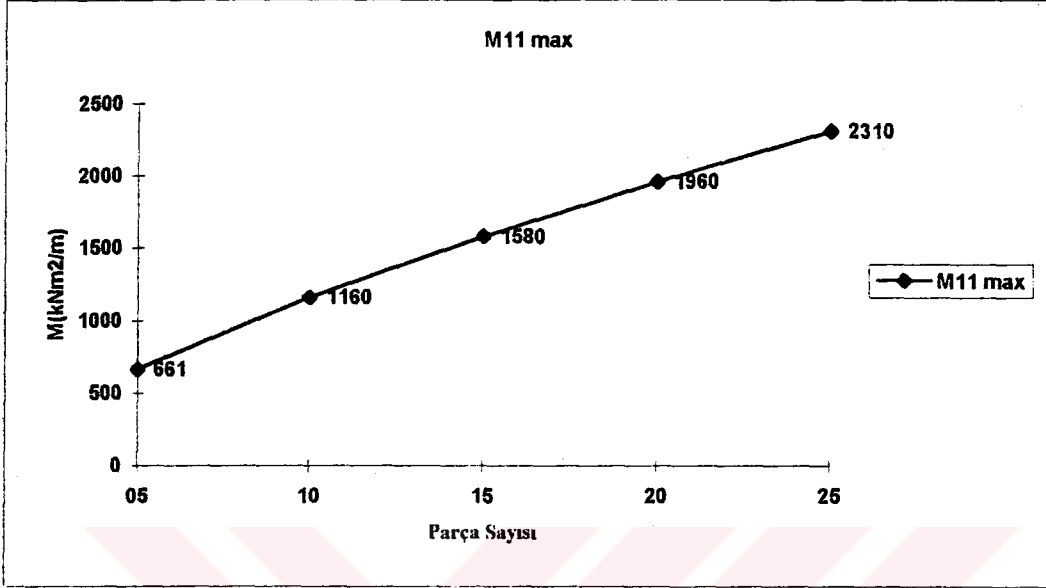
Bu da doğru tasarım ve uygulamayla sağlanabilir. 2 Eyl6l 1997 de Resmi Gazete'de yayınlanan y6netmelik tasarım koŐulunu sağlamaya y6neliktir.

Y6netmelikte bir 6zel tasarım ivme spektrumuda sunulmuŐtur. Spektrum katsayıları, yerel zemin koŐulları ve bina doğal periyoduna (T) bağlı olarak denklem Şeklinde sunulmuŐtur.

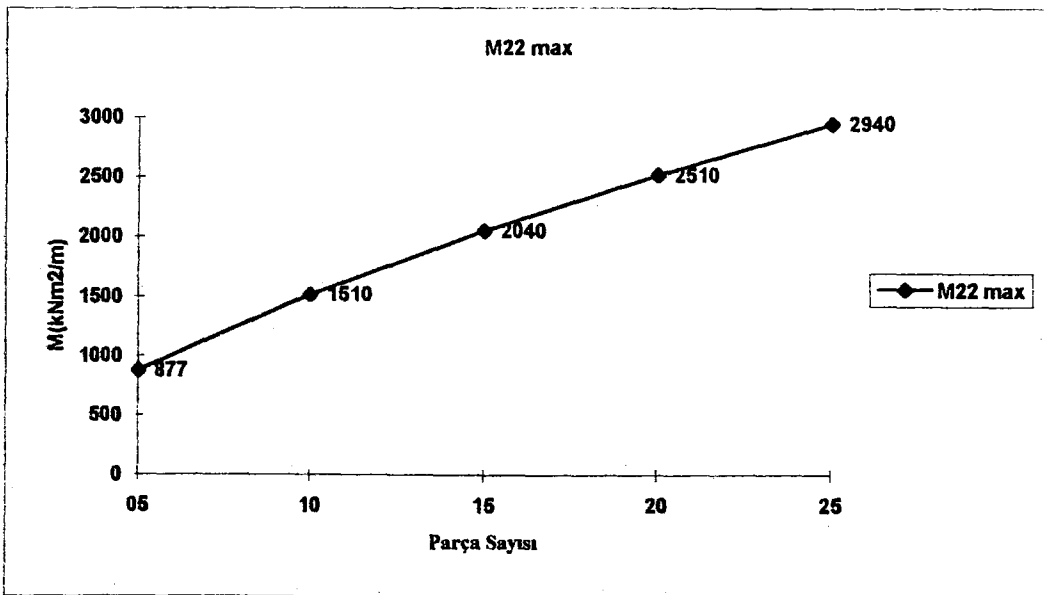




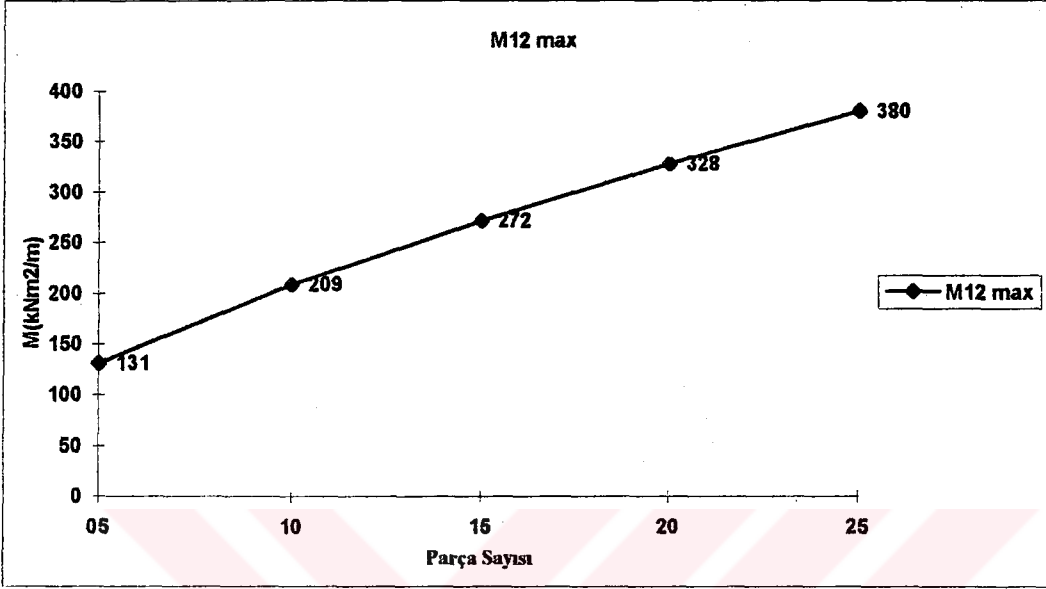
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	661	257	1160	559	1580	977	1960	1511	2310



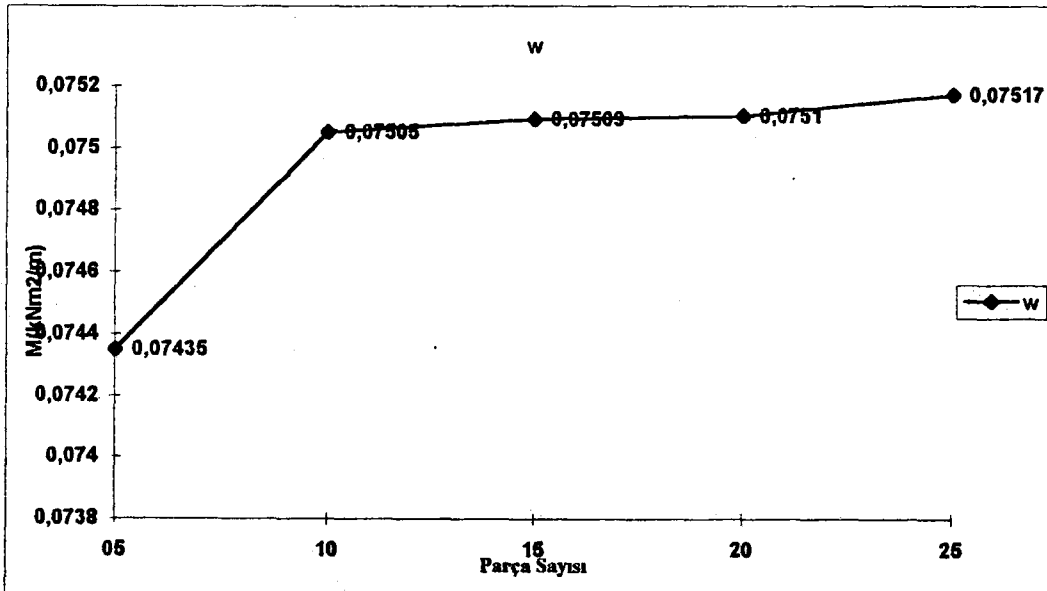
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	71	877	257	1510	559	2040	977	2510	1511	2940



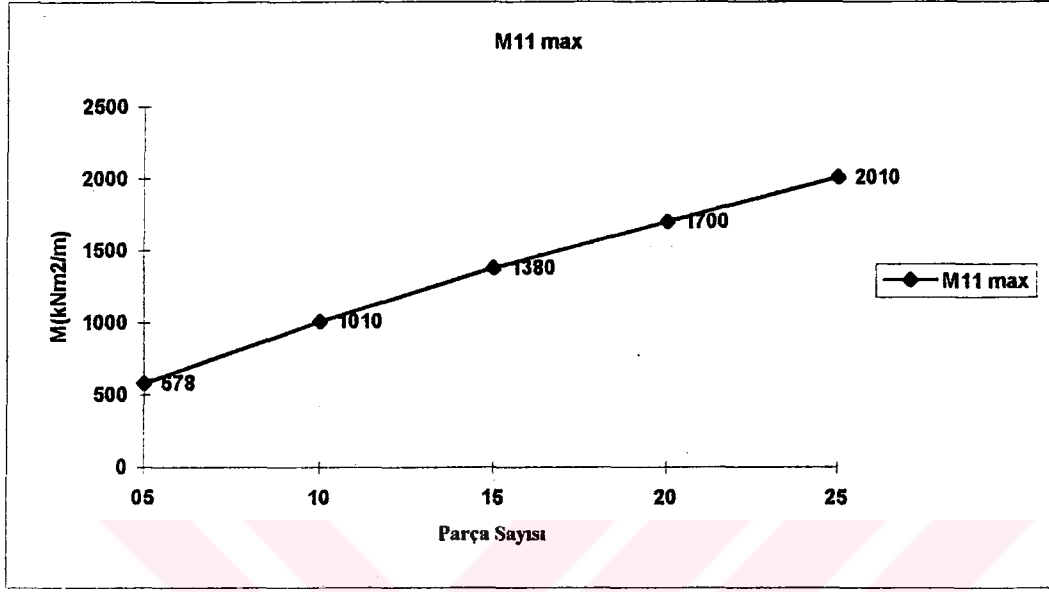
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	71	131	257	209	559	272	977	328	1511	380



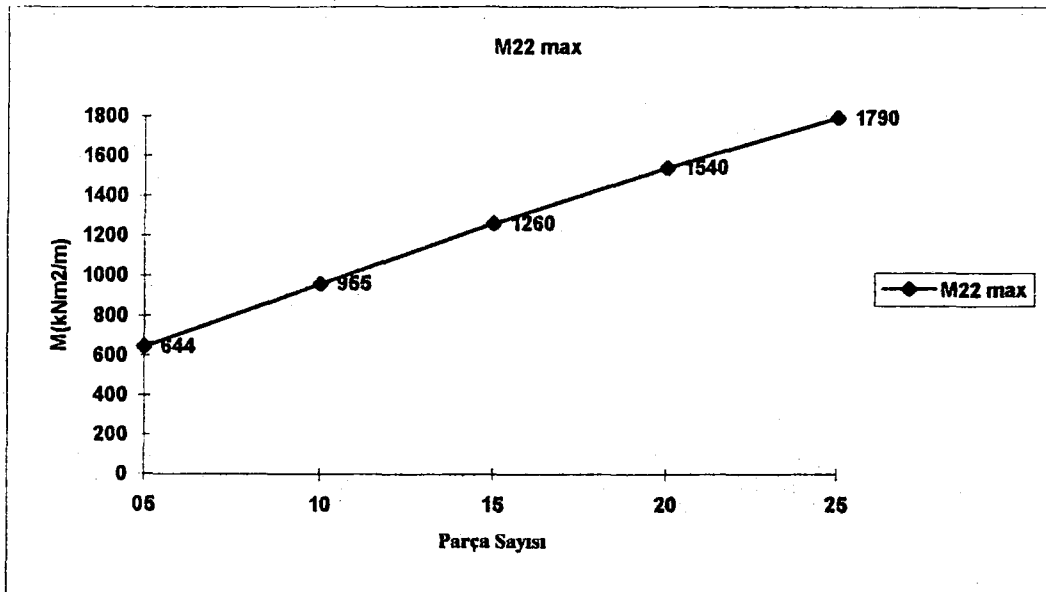
	05	10	15	20	25
	Değer	Değer	Değer	Değer	Değer
w	0,07435	0,07505	0,07509	0,0751	0,07517



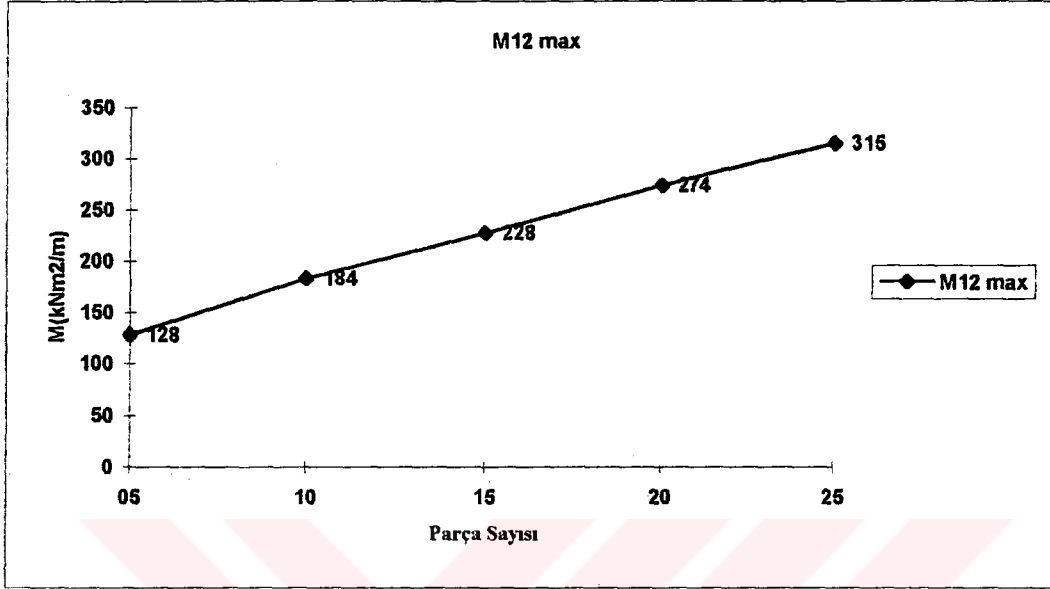
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M11 max	71	578	257	1010	559	1380	977	1700	1511	2010



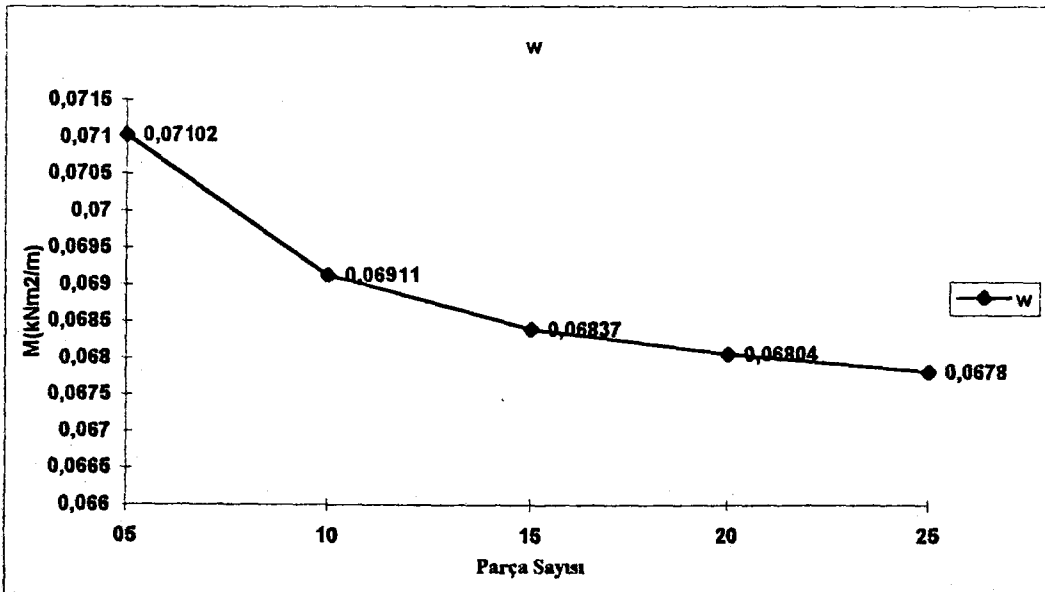
	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M22 max	9	644	257	955	559	1260	977	1540	1511	1790



	05		10		15		20		25	
	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
M12 max	58	128	258	184	559	228	977	274	1511	315



	05		10		15		20		25	
	Değer		Değer		Değer		Değer		Değer	
w	0,07102		0,06911		0,06837		0,06804		0,06780	



SONUÇ ve İRDELEMELER

Bu çalışmada boşluklu ve boşluksuz L şekilli plak çeşitli sınır şartları durumunda ağ sayısı artırılarak statik ve dinamik yükler altında çözümlenmiştir.

Her çözüm için elde edilen M_x , M_y , M_{xy} momentleri ile w deplasmanları belirlenmiştir.

1. Eleman boyutları küçülüp sayısı arttıkça hassasiyette azalan bir şekilde artmaktadır (Bkz.: Bölüm 6.1,6.2,6.3,6.4 moment değişim oranları)
2. Pozitif momentlerin büyüklüğü ve negatif momentlerin küçüklüğü hemen hemen aynı bölgelerde çıkmaktadır. Tam olarak aynı yerlerde çıkamamalarının bir sebebi de şüphesiz farklı ağların, düğüm noktalarının koordinatsal olarak çakışmamasıdır.
3. Bu durum için bir istisna 05 lik (2,5m*2,5m) ağ yapısıdır bu ağ yapısı genellikle gerek Pozitif momentlerin büyüğünün ve gerekse negatif momentlerin küçüğü için en büyük oranlı değerleri vermiştir. (alınan sonuçlar 30 luk ağa göre çok farklıdır) Ancak bu eleman boyutlarının doğru sonuç için yeterli hassasiyeti sağlamayacağı açıktır.
4. Elemanın kenarlarının oranı $a/b=1$ olduğu ve plağın iki doğrultuda ankastre olarak tutulduğu durumlarda $M_{x_{min}} / M_{y_{min}} \cong 1$ aynı şekilde $M_{x_{max}} / M_{y_{max}} \cong 1$ olmaktadır.
5. Ankastre mesnetli sınır şartının fazla olması durumunda açıklık momentleri eleman sayısından fazla etkilenmemektedir. Ancak mesnet momentlerinin doğruluğu eleman sayısının çokluğuna bağlıdır. Delik etkisi içinde burulma momenti hariç aynı olay sözkonusudur. Burulma momenti için delik etkisi altında eleman sayısını arttırmak gerekecektir.
6. Plağın komşu iki uzun kenardan ankastre mesnetli tutulması durumunda bu kez mesnet moment değerlerinde eleman sayısının artışıyla bir yükselme olmamaktadır. Ancak açıklık momentlerinin doğruluğu eleman sayısının çokluğuna bağlıdır. Delik

durumu için yine burulma momenti hariç aynı olay geçerlidir. Ve doğru çözüm için eleman sayısı arttırılmalıdır.

7. Plağın herhangi bir doğrultuda iki tarafından serbest yada ankastre olarak tutulması durumunda diğer doğrultudaki momentin hassasiyeti eleman sayısına bağlı değildir. Boşluk etkisinde de değişen bir durum olmaz.



KAYNAKLAR:

- 1-AYDOĞAN, M., (1993) , “Dinamik Analize Giriş”
İ.M.O. İstanbul Şubesi, Şişli Temsilciliği
- 2- BERKTAY, İ., (1992) , “Plak Teorisi ve Uygulamaları - Küçük Sehimli İnce Plaklar”
YTÜ , İstanbul
- 3- BİB , (1998) , “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı , Ankara
- 4- CELEP, Z., KUMBASAR, N., (1993) , “Deprem Mühendisliğine Giriş ve depreme
Dayanıklı Yapı Tasarımı” , Sema Matbaası , İstanbul
- 5- ERDİK, M., YÜZÜGÜLLÜ, Ü., (1980) , “Deprem Mühendisliği Açısından Yapı
Dinamiğine Giriş” T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, deprem Araştırma Ens. Başk. ,Ankara
- 6- HABIBULLAH, A., WILSON, L., (1989) “SAP90 vers. 5.40Programı Kullanım
Klavuzu”
- 7- İMO İstanbul Şubesi, (1993) , “Erzincan Depremi” , İstanbul
- 8- İMO İzmir Şubesi, (1997) , “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında
Yönetmelik”
- 9- KAYA, F., (1991) , “Titreşim Mühendisliği”
Acar Matbaası , İstanbul
- 10- KOÇAK, A., (1996) , “Yapıların Dinamik Analizi ve Spektral Hesap”
İ.M.O. , Meslek İçi Eğitim Seminerleri , İstanbul
- 11- KOÇAK, A., (1993) , “Plakların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Serbest Titreşimlerinin
İncelenmesi” Y.T.Ü. Yapı Anabilim Dalı Seminerleri , İstanbul
- 12- KÖKSAL, T., (1995) , “Sonlu Elemanlar Metodu”
Y.T.Ü. Matbaası , İstanbul
- 13- POLAT, Z., (1995) , “Sonlu Elemanlar İle Plak Çözümlerinde Hassasiyet”
Y.T.Ü. Dergisi Sayfa:49-59 , İstanbul
- 14- ÖZTEPE, H., (1975) , “Plakların Titreşimleri”
İ.T.Ü. (Özarkadaş Matbaası) , İstanbul
- 15- TIMOSHENKO, S., “Plak ve Kabuklar teorisi”
(Çev.: M. İnan , F. Sönmez)

İZMİR İLİ MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
 İZMİR İLİ MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
 İZMİR İLİ MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

16- Tübitak , (1995) , “1 Ekim 1995 Dinar Depremi” , Ankara

17- ZIENKIEWICZ, O.V., (1971) , “The Finite Element Method in Engineering Science” , Mc Graw-Hill , London



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	14.12.1972	
Doğum Yeri	Ankara	
Lise	1983-1991	Galatasaray Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
Çalıştığı Kurum	1995-Devam ediyor	Mimko Mimarlık Mühendislik Organizasyon Ltd. Şti.