

T. C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

57096

**YAYILI TEMELLER, GELENEKSEL VE BİLGİSAYAR  
HESAP METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Sedat SERT**

**Enstitü Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**

**HAZİRAN 1996**

T. C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAYILI TEMELLER, GELENEKSEL VE BİLGİSAYAR  
HESAP METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sedat SERT

Enstitü Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez ....../....../1996 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

ile kabul edilmiştir.



Y. Doç. Br. Zeki GÜNDÜZ

Jüri Başkanı



Prof. Dr. Akın ÖNALP

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Muzaffer ELMAS

Jüri Üyesi

## ÖNSÖZ

Bu tez, Adapazarı'nda iyi - kötü her cins zeminde inşa edilen yayılı temellerin farklı metodlarla hesabını içermektedir. Yapılacak gözlemlerle hemen her inşaatın temel sisteminin bu tip temellerden oluşturulduğu görülebilir; bu da insanın aklına tüm Adapazarı'nda zemin koşulları aynı mıdır, temel sistemi seçiminde yapı ağırlığı, yapı alanı, gömme derinliği vb. gibi değerlerin hiç mi etkisi yoktur, hesaplarda bunlar dikkate alınmakta mıdır gibi soruları getirmektedir. Çalışma sırasında karşılaşılan durumlar uygulamacıların büyük bir çoğunlukla bu tip temel kavramlardan bilerek veya bilmeyerek uzak olduğunu göstermiştir. Çalışmada örnek olarak Sakarya Üniversitesi'nin Ozanlar'daki binalarının bahçesine inşa edilen bir lise binası seçilmiştir. Bunun sebebi arazi deneylerinin kolaylıkla yapılabilmesi ve zahmetsiz bir şekilde numune alınabilmesidir.

Önemsiz sayılabilecek sebeplerden dolayı gereksiz yere uzatılan bu çalışma bir çok kişinin katkılarıyla sonuçlandırılmıştır. Tezin hazırlanması sırasında fikirlerinden istifade ettiğim danışmanım Y. Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ, yapılacak işler için gerek maddi gerekse ilmi destek veren Prof. Dr. Akın ÖNALP ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi için kendi hazırladığı programların kullanılmasına izin veren Jeo. Y. Müh. Ersin AREL'e çok teşekkür ederim. Çözümde kullanılan Lusas sonlu elemanlar paket programının bu aşamaya yetecek kadar öğrenilmesine vesile olan İnş. Y. Mühendisi Ahmet Naci ÇAĞLAR ile tezin yazılması, grafiklerin oluşturulması ve şekillerin bilgisayarda çizilmesi için gece - gündüz ayırdetmeden çalışan sevgili kardeşim Sinan SERT çalışmanın başlatılıp sona ermesinde en büyük pay sahibi olan kişilerdir. Aynı zamanda arazi deneylerinin yapılmasında büyük yardımlarını gördüğüm Geoteknik Laboratuvarı teknisyenleri Ekrem ÇATALBAŞ, Recai ŞENYURT ve İsmail CANAYAKIN ile teknisyen Ahmet abiye teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xii
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. TEMELLER .....	3
2.1. Temel Bilgiler Ve Sınıflandırma .....	3
2.2. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü .....	7
2.2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi .....	9
2.2.2. Genel Taşıma Gücü Eşitliği .....	13
BÖLÜM 3. YAYILI TEMELLER .....	15
3.1. Yayılı Temellerin Kullanıldığı Durumlar .....	15
3.2. Yayılı Temel Türleri ve İşlevleri .....	16
3.3. Yayılı Temellerin Taşıma Gücü .....	17
3.3.1. Kilde Yayılı Temel .....	18
3.3.2. Kumda Yayılı Temel .....	20
3.4. Oturmalar ve Oturma Limitleri .....	25
BÖLÜM 4. YAYILI TEMELLERİN YAPISAL BOYUTLANDIRMA YÖNTEMLERİ .....	30
4.1. Geleneksel Hesap Metodları .....	31
4.1.1. Geleneksel Rijit Metod .....	31
4.1.2. Yaklaşık Esnek Metod .....	35
4.1.2.1. Yatak Katsayısı .....	40
4.2. Bilgisayar Hesap Metodları .....	43
4.2.1. Sonlu Farklar Metodu (FDM) .....	43
4.2.2. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) .....	44
4.2.3. Sonlu Şebeke Metodu (FGM) .....	47
BÖLÜM 5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE SAYISAL ÖRNEK ....	49
BÖLÜM 6. SONUÇLAR .....	78
BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....	81
KAYNAKLAR .....	84

EKLER.....	87
EK - A. Fotoğraflar .....	88
EK - B. Deney Sonuçları .....	94
İNGİLİZCE - TÜRKÇE GEOTEKNİK TERİMLER.....	105
ÖZGEÇMİŞ .....	108



## SİMGELER LİSTESİ

A	Alan
B	Temel genişliği
c	Kohezyon
$c_u$	Drenajsız kohezyon
$D_f$	Gömme derinliği
E	Elastisite modülü
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$	Temel şekil faktörleri
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	Temel derinlik faktörleri
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	Yük eğim faktörleri
G.S.	Güvenlik sayısı
I	Atalet momenti
$K_r$	Rijitlik faktörü
L	Temel boyu
M	Moment
N	Düzeltilmiş standart penetrasyon değeri
$N_c, N_q, N_\gamma$	Taşıma gücü faktörleri
Q	Yapının sabit ve hareketli yük toplamı
q	Sürşarj yükü, katman yükü
$q_{all, net}$	İzin verilebilir net taşıma gücü
$q_c$	Koni penetrasyon direnci
$q_u$	Son taşıma gücü
$q_{u, net}$	Net son taşıma gücü
$\rho$	Birim hacim ağırlık
$\phi$	İçsel sürtünme açısı
$\Delta$	Toplam oturma
$\Delta \delta$	Farklı oturma

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Bir yayılı temelin iki doğrultuda şeritlere ayrılması ve sonlu eleman ağı .....	2
Şekil 2.1	Temellerin ayrımı .....	5
Şekil 2.2	Yüzeysel temel türleri .....	6
Şekil 2.3	Derin temel türleri .....	6
Şekil 2.4	Yüzeysel temellerin oturması .....	8
Şekil 2.5	Bir rijit sürekli temel altındaki zeminde yenilme .....	9
Şekil 2.6	Genel ve yerel göçme için taşıma gücü faktörleri eğrileri .....	10
Şekil 2.7	Taşıma gücünde yeraltı suyu için düzeltme .....	12
Şekil 3.1	Yayılı temel çeşitleri .....	16
Şekil 3.2	Yayılı temel türleri .....	17
Şekil 3.3	$D_f / B$ ve $L / B$ oranlarına göre $q_{all,net} / c_u$ değerinin değişimi .....	20
Şekil 3.4	Basınç soğanının temel genişliğine göre değişimi .....	22
Şekil 3.5	Yayılı temel sebebiyle zemine uygulanacak net basınç .....	23
Şekil 3.6	Kumda oturan temellerin boyutlandırılması için abak .....	24
Şekil 3.7	Kumda oturan plakaların davranışı .....	24
Şekil 3.8	Binalarda oturma- dönme- kaykılma bağıntıları .....	26
Şekil 3.9	Farklı oturmadan doğan zorlamalar .....	27
Şekil 4.1	Geleneksel rijit metotla yayılı temel dizaynı .....	32
Şekil 4.2	Geleneksel rijit metotun ve yaklaşık esnek metotun prensipleri	35
Şekil 4.3	Yayılı temelin yaklaşık esnek metotla göre dizaynı .....	39
Şekil 4.4	Yatak katsayısının tanımlanması .....	40
Şekil 4.5	Sonlu farklar metotunda kullanılan $r_h \times h$ boyutlu elemanın gösterilmesi .....	43

Şekil 4.6	Sonlu elemanlar metoduna göre dikdörtgen plak eleman .....	45
Şekil 5.1	Plan .....	49
Şekil 5.2.a	Üç boyutlu global eksen takımı ve çubuk elemanda lokal eksenler .....	50
Şekil 5.2.b	BMS3 kiriş elemanı .....	50
Şekil 5.2.c	Shell elemanlar .....	50
Şekil 5.3.a	Kirişler .....	51
Şekil 5.3.b	Temel plağının sonlu eleman ağı şeklinde gösterimi .....	51
Şekil 5.3.c	Düğüm noktaları ve sonlu eleman ağı .....	51
Şekil 5.4	Yüklerin gösterimi .....	52
Şekil 5.5	Kirişlerde kesme kuvveti diyagramları .....	53
Şekil 5.6	Kısa boyuttaki kirişlerde kesme kuvveti diyagramları ( $F_y$ ) ....	53
Şekil 5.7	Uzun boyuttaki kirişlerde kesme kuvveti diyagramları ( $F_z$ ) ...	53
Şekil 5.8	Kirişlerde eğilme momenti diyagramları .....	54
Şekil 5.9	Kısa boyuttaki kirişlerde eğilme momenti diyagramları ( $M_y$ )	54
Şekil 5.10	Uzun boyuttaki kirişlerde eğilme momenti diyagramları ( $M_z$ )	54
Şekil 5.11.a	1 - 1 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	55
Şekil 5.11.b	1 - 1 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	55
Şekil 5.12.a	2 - 2 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	56
Şekil 5.12.b	2 - 2 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	56
Şekil 5.13.a	3 - 3 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	57
Şekil 5.13.b	3 - 3 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	57
Şekil 5.14.a	4 - 4 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	58
Şekil 5.14.b	4 - 4 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	58



Şekil 5.15.a	5 - 5 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	59
Şekil 5.15.b	5 - 5 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	59
Şekil 5.16.a	6 - 6 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	60
Şekil 5.16.b	6 - 6 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	60
Şekil 5.17.a	7 - 7 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	61
Şekil 5.17.b	7 - 7 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	61
Şekil 5.18.a	8 - 8 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	62
Şekil 5.18.b	8 - 8 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	62
Şekil 5.19.a	9 - 9 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	63
Şekil 5.19.b	9 - 9 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	63
Şekil 5.20.a	10 - 10 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	64
Şekil 5.20.b	10 -10 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	64
Şekil 5.21.a	11 - 11 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	65
Şekil 5.21.b	11 - 11 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	65
Şekil 5.22.a	12 - 12 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	66
Şekil 5.22.b	12 - 12 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	66

Şekil 5.23.a	13 - 13 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	67
Şekil 5.23.b	13 - 13 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	67
Şekil 5.24.a	14 - 14 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	68
Şekil 5.24.b	14 - 14 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	68
Şekil 5.25.a	A - A Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	69
Şekil 5.25.b	A - A Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	69
Şekil 5.26.a	B - B Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	70
Şekil 5.26.b	B - B Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	70
Şekil 5.27.a	C - C Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	71
Şekil 5.27.b	C - C Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	71
Şekil 5.28.a	D - D Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	72
Şekil 5.28.b	D - D Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	72
Şekil 5.29.a	E - E Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	73
Şekil 5.29.b	E - E Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	73
Şekil 5.30.a	F - F Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	74
Şekil 5.30.b	F -F Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	74

Şekil 5.31.a	G - G Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	75
Şekil 5.31.b	G - G Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	75
Şekil 5.32.a	H - H Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas ) .....	76
Şekil 5.32.b	H - H Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi .....	76
Şekil 5.33	Temelin deforme olmuş şekli .....	77
Şekil 5.34	Maksimum oturmanın bulunduğu yer .....	77
Şekil 6.1	Kiriş boyuna göre sonuçlardaki farklılıklar .....	79



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Temel şekil katsayıları .....	11
Tablo 2.2	Kullanımı tavsiye edilen şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri	14
Tablo 2.3	Farklı yazarların önerdiği şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri .....	14
Tablo 3.1	Yapılarda toplam oturma limitleri ( mm ) .....	26
Tablo 3.2	Yapıların dayanabileceği kaykılmalar .....	26
Tablo 3.3	Temellerde oturma .....	28
Tablo 4.1	Kumlu ve killi zeminler için tipik yatak katsayıları .....	42

## FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf .1	Zeminden örselenmemiş numune almak için motorlu burgu ile zeminin delinmesi .....	89
Fotoğraf .2	Zeminden örselenmemiş numune almak için motorlu burgu ile zeminin delinmesi .....	89
Fotoğraf .3	Plaka taşıma deneyi için plakanın yerine konması .....	90
Fotoğraf .4	Krikonun ve oturma ölçer saatlerin yerine konması .....	90
Fotoğraf .5	Oturma ölçer saatlerin metal profillere mesnetlenmiş görüntüsü	91
Fotoğraf .6	Plaka taşıma deneyinde yük almak için kullanılan traktör .....	91
Fotoğraf .7	Mevcut bina ve plaka taşıma deneyinin uygulanışı .....	92
Fotoğraf .8	Plakanın yüklenmiş görüntüsü .....	92
Fotoğraf .9	Yükleme sırasında okumaların not edilmesi.....	93
Fotoğraf .10	Plakanın deney sonunda zemine batmış hali .....	93

# YAYILI TEMELLERİN HESABINDA GELENEKSEL VE BİLGİSAYAR HESAP METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

## ÖZET

**Anahtar kelimeler:** Yayılı Temel, Gömme Derinliği, Sonlu Elemanlar Metodu

Bu çalışmanın amacı özellikle Adapazarı'nda çok kullanılan yayılı temellerin dizaynında kullanılan geleneksel ve bilgisayar hesap metodlarının karşılaştırılmasıdır.

Birinci bölümde, konu açıklanarak giriş bilgileri verilmiştir.

İkinci bölümde, temeller hakkında genel bilgiler sunulup sınıflandırma yapılmış ve yüzeysel temellerin taşıma gücü açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, yayılı temeller incelenmiş; yayılı temel türleri, işlevleri ve kullanıldıkları durumlar belirtilmiştir. Daha sonra kil ve kumda oturan yayılı temellerin taşıma gücünün bulunması anlatılmıştır. Bu bölümde son olarak temel oturmaları ve oturma limitleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, yayılı temellerin geleneksel ve bilgisayar hesap metodlarıyla dizaynı anlatılmış ve bu metodların kabulleri sunulmuştur.

Beşinci bölümde, hesapta kullanılan ( LUSAS Finite Element Method ) Lusas sonlu elemanlar yöntemi paket programı hakkında bilgi verilmiş, yapılan sayısal uygulamanın bazı giriş bilgileri ile sonuçları şekiller ve grafikler halinde sunulmuştur.

Altıncı bölümde sonuçlar, yedinci bölümde de tartışma ve öneriler yer almaktadır.

# **THE COMPERISON OF THE CONVENTIONAL AND COMPUTATIONAL CALCULATING METHODS IN DESIGN OF MAT FOUNDATIONS**

## **SUMMARY**

**Key words:** Mat foundation, depth of the foundation, finite element method.

The aim of this study is to comperate the conventional and computational calculating methods in design of mat foundations that is widespread in Adapazari.

In the first chapter, the subject matter is introduced and general information given.

In the second chapter, the basic information about footings have been presented and they have been classified. Then, bearing capacity of shallow footings has been explained.

In the third chapter, mat foundations have been examined. Then, the calculation of the bearing capacity of mat foundations clay and sand has been explained. Lastly, some information about settlements and settlement criteries of footing have been presented.

In the fourth chapter, the design of mat foundations with the traditional and computational methods have been explained and the assumption of these methods have been presented.

In the fifth chapter, Lusas Finite Element Method has been explained and some data and the results are presented as shape and graphic.

In the sixth chapter, the results are presented.

In the last chapter, the discussion, comments and findings are presented.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

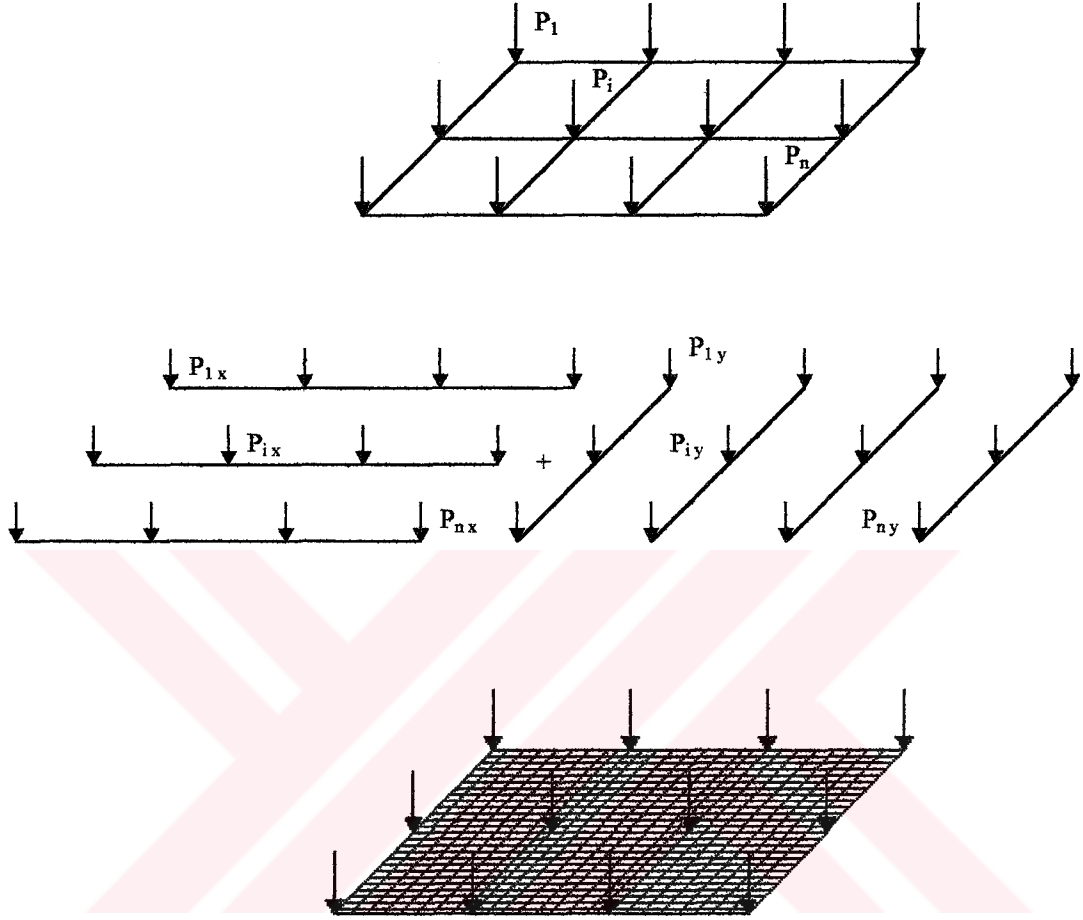
Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler kendisini inşaat mühendisliği uygulamalarında da göstermiş ve çok uzun zaman alabilen hatta bir çok kabulde sürdürülen hesaplamalar çok kısa zamanda ve güvenilir şekilde yapılmaya başlanmıştır.

Yayılı temeller özellikle Adapazarı'nda çok kullanılan bir yüzeysel temel şeklidir. Bu çalışmada Adapazarı'nda yapılan bir yapının temelleri ele alınmış olup yapı temelleri Sonlu Elemanlar Metodu prensiplerine göre hesap yapan Lusas paket programıyla modellenmiş ve sonuçlar, uygulamada kullanılan yöntemle karşılıklı olarak verilmiştir. Uygulamada, öncelikle bina ağırlığı temel alanına bölünerek yapıdan zemine gelen gerilme bulunmaktadır. Bu gerilmenin zemin emniyet gerilmesinden küçük olması durumunda yayılı temel yeterlidir denmektedir; tersi durumda ise temel boyutları değiştirilmektedir. Bu şart sağlandığında, bulunan taban basıncı temel plağına etki ettirilip ters döşeme hesabı yapılmaktadır. Temel kirişi hesaplarında ise öncelikle kolon yükleri x ve y yönlerine kirişlerin boyutları oranında dağıtılmaktadır. Daha sonra her aksın kirişleri diğer akslardan bağımsız olarak sürekli kiriş gibi çözülmektedir ( Şekil 1.1 ). Bulunan sonuçlar betonarme hesaba esas teşkil etmektedir. Sonlu elemanlar metodunda ise temel modellendikten sonra yükler ve zeminle ilgili bilgiler tanımlanmaktadır. Çözümde temel bir bütün olarak değerlendirilmektedir.

Yayılı temellerin taşıma gücü temel boyutları, şekli, gömme derinliği ve zemin özellikleri ile yakından ilgilidir. Örneğin temelin yüzeye oturtulması ile derine gömülmesi arasında taşıma gücü açısından çok büyük fark olmaktadır. Uygulamada bu göz ardı edilip zemin emniyet gerilmesi terimi yeterli kabul edilmektedir. Ayrıca zemin basınçları ortalama olarak alınmaktadır. Gerçekte ise her



noktadaki gerilme farklı olabilmektedir.



Şekil 1.1: Bir yayılı temelin iki doğrultuda şeritlere ayrılması ve sonlu eleman ağı

## BÖLÜM 2. TEMELLER

### 2. 1. Temel Bilgiler ve Sınıflandırma

Temeller üst yapı yüklerini zemine taşıma gücünü aşmadan ve kabul edilebilir oturmalarla aktaran yapı elemanlarıdır. Herhangi bir yapıya etkiyen yükler sabit yükler ( kendi ağırlığı, sabit eşya ), hareketli yükler, dinamik yükler ( deprem yükü ), statik yükler ( kar yükü ), düşey yükler ( kendi ağırlığı, su basıncı ), yatay yükler ( yanal zemin basıncı, su basıncı ) vb. türde olabilir. Çoğunlukla beton veya betonarme olarak yapılan temeller üzerlerine yapı tarafından aktarılan bu yükleri şekil, boyut ve gömme derinliğinin değişmesiyle zeminin taşıyabileceği gerilmelere çevirirler.

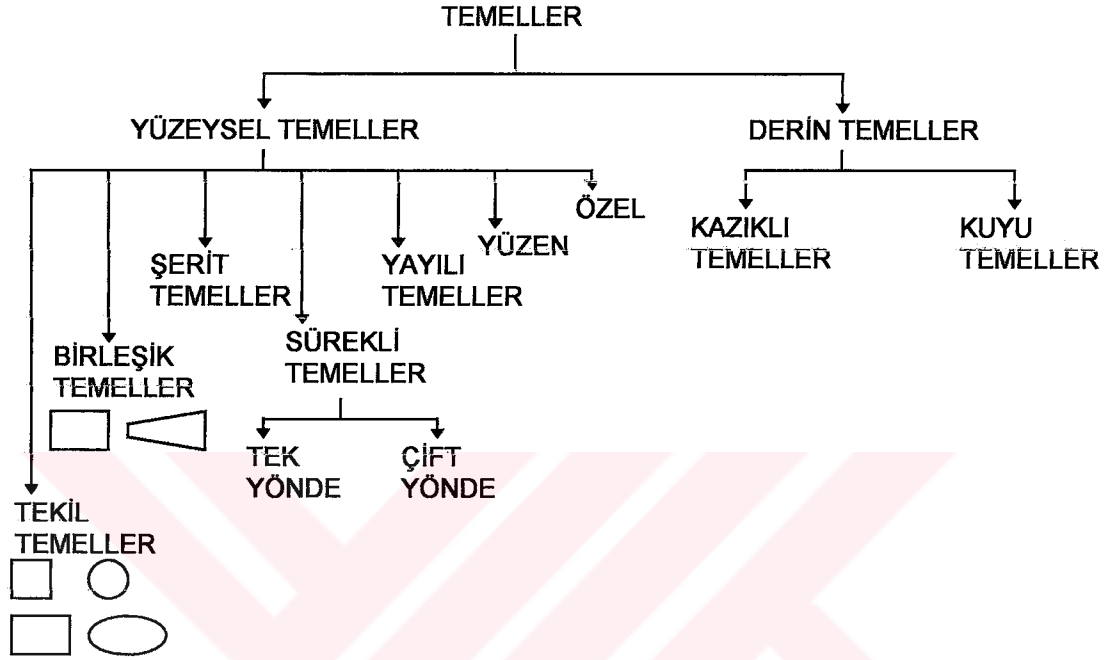
Yukarıdaki tariften hareketle, temellerin aynı anda sağlaması gereken üç koşul vardır denebilir:

1. Taşıma gücü koşulu: Üzerine etkiyen yükler altında, temel zemininde yenilme oluşmaması ve buna karşı bir güvenlik bulunmalıdır. Bu koşul; kısaca maksimum taban basıncının, zeminin güvenli taşıma gücünü aşmaması şeklinde tarif edilebilir.
2. Oturma koşulu: Temellerin oturmaları, toplam oturma ve farklı oturma kriterlerindeki izin verilebilir oturma değerlerini aşmamalıdır.
3. Ekonomik olma koşulu: Temellerin projelendirilmesinde taşıma gücü ve oturma kriterleri gözetilerek temeller veya temel sistemleri en az harcama ile oluşturulmalıdır. Yanlız, temel sistemi seçiminden önce yapılacak arazi ve laboratuvar çalışmalarının getireceği mali külfetten kaçınılmaması ve bu çalışmaların ekonomik olma koşulunu sağlamada şart olduğunun bilinmesi gerekir.

Temellerin stabilitesi analizinde taşıma gücü ve oturma kriterleri dikkate alınır. Oturma kriteri sağlanıyorsa, genellikle taşıma gücü kriteri de sağlanmış olur.

Tasarım, taşıma gücü kriteri dikkate alınarak yapılabilir ve oturma kriterinin kontrolü şeklinde devam edebilir. Fakat önemli yapılarda veya karmaşık yapıları zeminlerde, ayrıca hassas oturma analizinin yapılması gereklidir. Temellerin boyutlandırılması aldıkları yüklerin zemin özellikleriyle karşılaştırılmasıyla yapılırken her iki özelliğin saptanması ve hesaplanmasında yapılacak hatalara karşı yükler, güvenlik sayısı denilen bir faktörle artırılmaktadır. Bina temelleri zemin yapıları içinde stabilite bir yana, oturmalara da en duyarlı olduğu için güvenlik sayılarının 2,0 den küçük seçildiği nadiren görülür. Temeller, zeminin ve yapının özelliklerine göre değişik türde inşa edilirler. Bir temelin zemine gömülme derinliği ( $D_f$ ), temelin genişliğinden ( $B$ ) küçükse bu tür temele yüzeysel temel; büyükse derin temel denir (Şekil 2.1). Yüzeysel temeller, yükü yüzeye yakın yerlerde zemine aktaran temellerdir. Sağlam zeminin yüzeye yakın olması ve yüklerin fazla olmaması durumunda bu temeller yapılır. Yüzeysel temellerde yapı yükü doğrudan doğruya temel tabanı ile taşıyıcı zemine aktarılır. Yüzeysel temeller, temel boyutlarına göre değişik şekilde adlandırılırlar. Eğer, temel uzunluğu ( $L$ ), temel genişliğinin ( $B$ ) beş katına eşit veya büyükse ( $L \geq 5B$ ) bu tür temele şerit (sürekli) temel, değilse ( $L < 5B$ ) tekil temel denmektedir. Tekil temeller genellikle kare, dikdörtgen ve daire şekilli olup yüzeye yapılırlar. Deprem anında tekil temellerin birbirinden bağımsız hareket ederek üst yapıyı zorlamamaları için, deprem bölgelerinde tekil temeller arasında bağ kirişi yapmak zorunludur [1]. Tekil temellerde eğilme, kayma ve zımbalamaya göre tahkik hesapları yapılır. Taşıma gücünün küçük, yüklerin büyük olduğu durumlarda ve arsa sınırlarının getirdiği kısıtlamalar nedeniyle birleşik temel yapımı gerekebilir. Bileşik temeller trapez ve dikdörtgen şekilli olup iki veya üç kolon taşıyacak şekilde dizayn edilebilirler. Çok sayıda kolon olduğu zaman, tekil temeller bir aks boyunca birleştirilerek sürekli temeller yapılır. Bazen yapıdaki farklı oturumları azaltmak için bu tip temeller kullanılır. Bir sürekli temel kirişi ile bunun tabanını teşkil eden plaktan oluşan sürekli temelin hesabı, kirişlerde zemin reaksiyonundan oluşan eğilme momentleri ve kesme kuvvetlerine göre yapılır. Yapı yükü toplam temel alanının yapı alanına yakın olmasını gerektirecek kadar büyük ya da tersine zemin özellikleri aynı duruma sebep olacak kadar yetersiz ise tekil ve sürekli temeller yerine yayılı temeller tercih edilir. Bu tür temellerin yapılmasıyla, aşırı ve farklı oturmalardan dolayı yapıda oluşacak olumsuz etkiler ortadan

kaldırılmış olur. Sağlam zemin çok derinlerde olduğunda kazık kullanılması mümkün olmadığı zaman yapı altından bir miktar zemin boşaltılarak yükte azaltma yapılır. Boşaltılan kısmın yerine bodrum yapılabilir. Böylece kazılan zemin yükü kadar bina yükü azaltılmış olur.

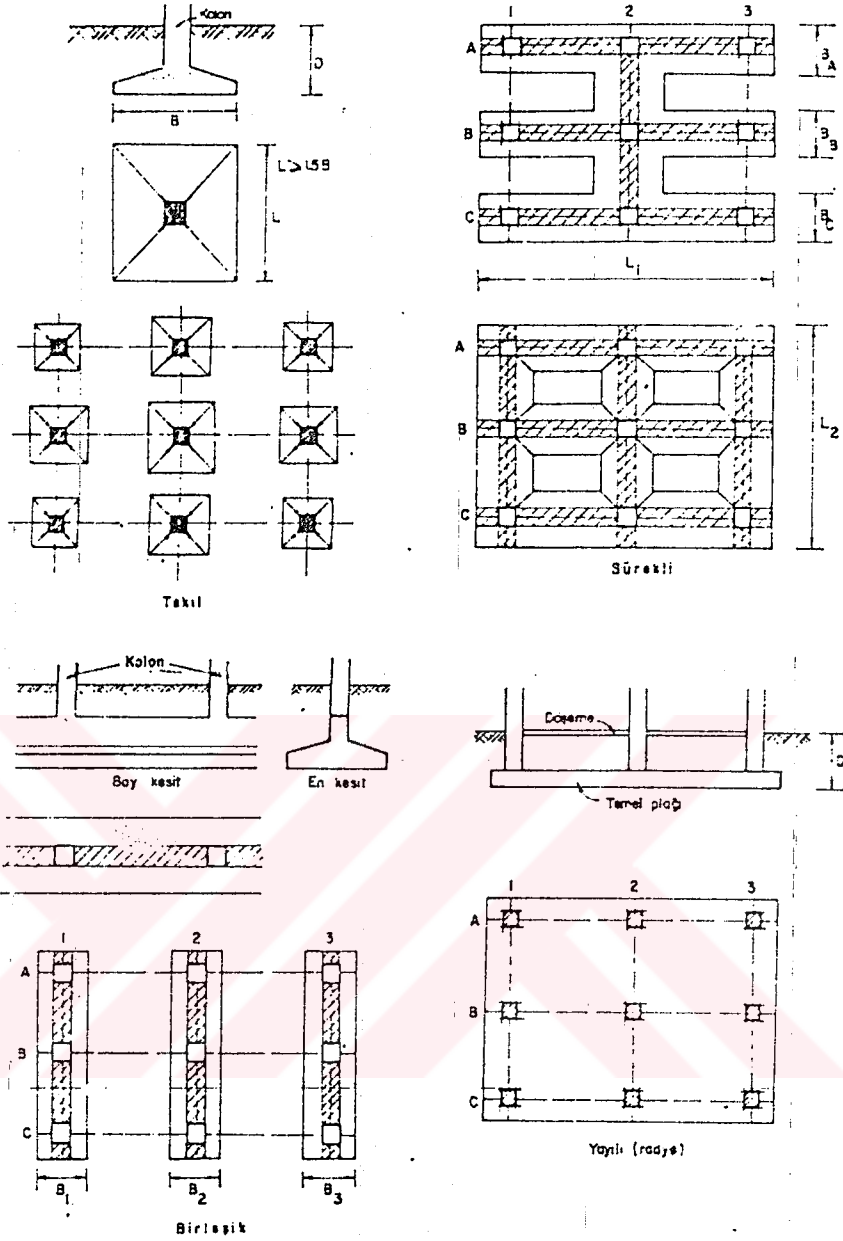


Şekil 2.1: Temellerin ayrımı

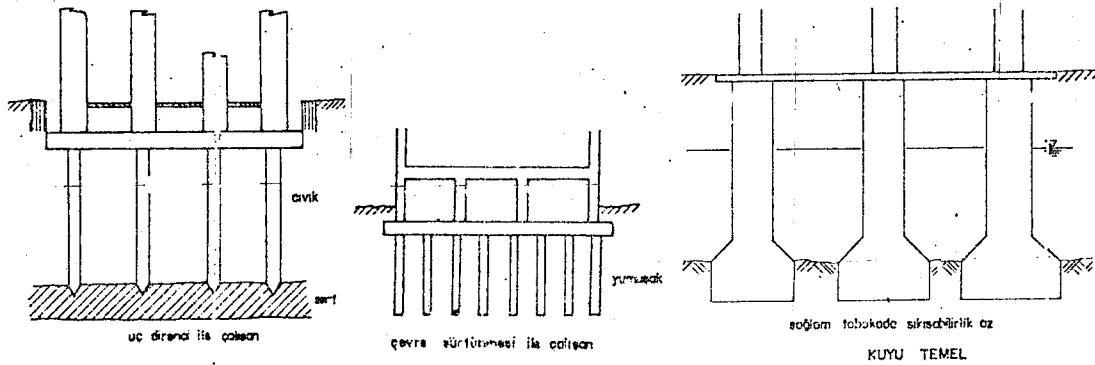
Yüzeysel temel gömme derinliği ( $D_f$ ) seçilirken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

1. Gömme derinliği don derinliği ( ortalama 1,0 m ) altında olmalıdır.
2. Gömme derinliği zeminin hacimsel değişim ( şişme, büzülme ) gösterdiği bölge altında olmalıdır.
3. Gömme derinliği moloz ve organik zemin altına inmelidir.
4. Temel, akarsu ve dalga aşındırma - oyma etkisi dışında kalmalıdır.
5. Komşu yapı temellerinin zarar görmemesi sağlanmalıdır.
6. Gerekli durumlarda bodrum ihtiyacı karşılanmalıdır.

Derin temeller, en basit şekilde kazıklı ve kuyu temeller şeklinde ikiye ayrılabilir. Bu tür temellerin yüzeysel temellerden farkı gömme derinliğinin diğer boyutlardan çok büyük olmasıdır. Kazıklı temeller kuyu temellerden taşıma güçlerinin daha düşük



Şekil 2.2: Yüzeysel temel türleri



Şekil 2.3: Derin temel türleri

olması ve uçlarının sağlam katmana inme zorunluluğunun bulunmaması açısından farklıdır. Kuyu temellerde taşınan yük büyük olduğundan oturmalara izin verilmez.

Şekil 2.2 de yüzeysel temel ve şekil 2.3 de derin temel çeşitleri gösterilmiştir.

## 2. 2. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Yüzeysel temeller üzerinde gerek teorik gerekse deneysel çalışmaların uzun süredir devam ettiği, geoteknik mühendisliği uygulamalarında en yaygın olarak rastlanılan bir konudur. Yüzeysel temellerde taşıma gücü kavramı yerleşmiş bir teoriye dayanmaktadır. Hesap yöntemleri klasikleşmiş olup uygulama seviyesinde önemli sorunlarla karşılaşılmamaktadır. Diğer taraftan oturmaların tasarımda taşıma gücünden daha fazla etkin olması araştırmaları bu yöne çekmiştir.

Yapı temelleri genellikle taşıma gücü esasına göre boyutlandırılır. Temel zemini taşıma gücü analizinde, zeminin kayma direnci ile oturma karakterleri dikkate alınır. Bu özellikleri temsil edecek parametreler, zeminden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve arazide yapılan ( in - situ ) deneyler ile tesbit edilir. Temel zemini taşıma gücü analizi, teorik ve deneysel taşıma gücü adı verilen yöntemler yardımıyla yapılır.

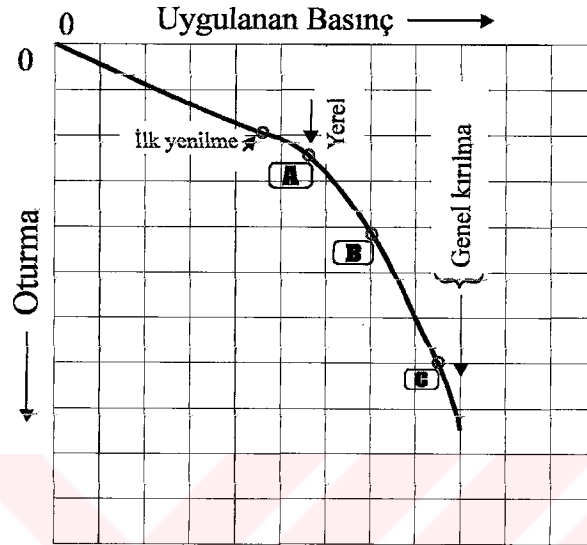
Herhangi bir cismin yüzeyine gerilme uygulandığında önce elastik sonra da kalıcı deformasyonların olduğu bilinir. Bu olayın ilk analizini yapan Prandtl plastik malzemede göçmenin

$$q_d = (2 + \pi) c = 5,14 c \quad (2.1)$$

limitinde olduğunu hesaplamıştır [2]. Yüzeylerin pürüzlülüğü halinde Terzaghi bu batmanın

$$q_d = 5,7 c = 2,85 q_u \quad (2.2)$$

üst limitinde olacağını hesaplamıştır. Gerçek temel - zemin ilişkisinde zeminin kohezyonu yanında içsel sürtünmesi ve değişik su koşulları olduğu gibi temelin boyutları, şekli ve gömme derinliği anlatılan olayın ayrıntılarını ve sonucunu etkilemektedir.



Şekil 2.4: Yüzeysel Temellerin Oturması

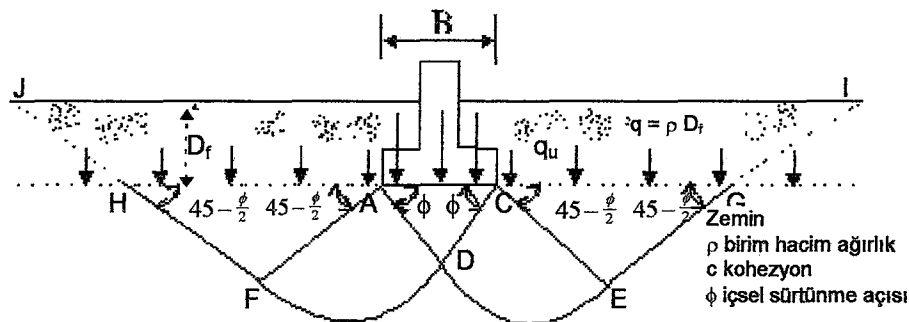
Şekil 2.4 de yüzeysel bir temelin yük artışları sırasında yapacağı oturmalar gösterilmiştir. Zemin, basınç artışlarının kayma direncini ( $s$ ) aşacak  $\tau_{max}$  gerilmelerini oluşturmadığı müddetçe tam elastik olarak davranır (OA). Bu bölgede basınç artışlarıyla oturmalar doğru orantılıdır ve elastik teoriyle hesaplanabilir. A noktası aşıldığında zeminde geri gelmeyen şekil değiştirmeler giderek artar. Ancak yüzeyde yapısal açıdan sakıncalı bir hareket olmayacaktır, çünkü aşırı hareket gösteren bölgenin çevresindeki zeminde yeterince direnç bulunmaktadır. A noktasına yerel göçme denebilir, zira plastik bölge ihmal edilebilecek kadar kısıtlıdır. Eğrinin eğimi yükün artışıyla giderek büyür ve plastik bölge yük altındaki alanın dışına taşar; C noktasına erişilmiştir. Bu noktanın ötesinde yük artışı olmadan oturmalar hızla artar ve plastik bölge yayılır. Bu duruma genel göçme denir ve son taşıma gücü tariflenir. Genel göçme oluştuğunda yüzeyde kabarma görülür. Öte yandan, gevşek zeminlerde taşıma gücü aşıldığında bu kabarma izlenmez. Bu tür göçmeye çoğun zımbalama adı verilir. Temel mühendisliğinde taşıma gücünün aşılmasıyla yapısal göçme görülmemektedir. Bunun nedeni kullanılan yüksek güvenlik sayılarının

yanında oturma kriterlerinin süreçte öncelikle gözönünde tutulmasıdır. Hesaplar oturma limitlerine göre yapıldığında zeminin aldığı gerilme A noktasının solunda kaldığından son taşıma gücünün aşılma olasılığı düşük bir yüzdeyi geçmemektedir.

## 2. 2. 1. Terzaghi taşıma gücü teorisi

Genel taşıma gücü teorisi Terzaghi ( 1943 ) tarafından ortaya atılmıştır [3]. Terzaghi, teorisinde yüzeysel temellerin taşıma gücünü Prandtl denklemlerinin zemin koşullarına uydurulmasıyla tarif etmiştir. Şekil 2.5 de bir rijit sürekli temel altındaki zeminin yük karşısında gösterdiği davranış görülmektedir. Terzaghi, yüzeysel temelerde taşıma gücü formülünü şerit temel için ( iki boyutlu koşullarda ) aşağıdaki kabullerle türetmiştir:

1. Zemin, homojen, izotop ve yarı sonsuzdur.
2. AC tabanı tam sürtünmelidir ( Sürtünmeli taban ).
3. Temel tabanı altında, ACD zemin üçgen kaması meydana gelir. Bu kama temelle birlikte aşağı doğru hareket eder ve  $\hat{D}AC = \hat{D}CA = \phi$  ( zeminin içsel sürtünme açısı ) dir.
4. DF, DE kırılma yüzeyleri logaritmik spiraldir.
5. CEG, ADE pasif bölgeler olup, EG, FH kırılma yüzey kısımları, düzlem ( doğru ) dir ve  $\hat{E}GC = \hat{E}CG = 45 - \left(\frac{\phi}{2}\right)$  dir. Kırılma yüzeylerinin temel derinliği (  $D_f$  ) içindeki kısmın kayma direnci ihmal edilir ve bunun yerine temel taban seviyesinde  $q = \rho D_f$  üniform yayılı yük ( derinlik basıncı, sürşarj yükü ) etki ettirilir. Ayrıca temel yan yüzleri ile zemin arasındaki sürtünmeler ihmal edilir. Zeminin genel bir zemin (  $c - \phi$  zemini ) olduğu düşünülür.



Şekil 2.5: Bir rijit sürekli temel altındaki zeminde yenilme



Genel göçme mekanizmasının geçerli olduğu hal için Terzaghi, şerit temellerde zeminin son taşıma gücünü

$$q_u = c N_c + q N_q + \left(\frac{1}{2}\right) \rho B N_\gamma \quad (2.3)$$

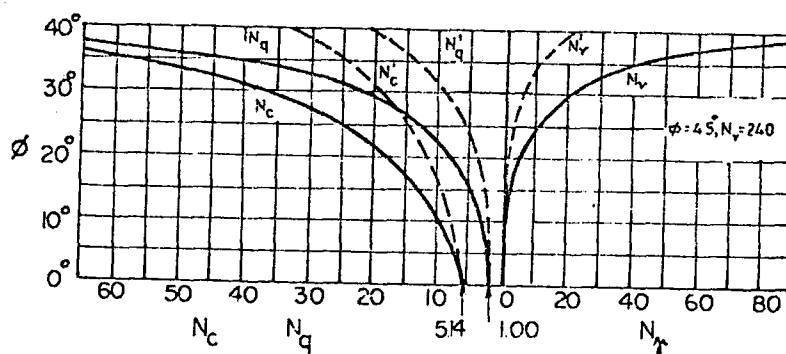
şeklinde tarif etmiştir.

Burada;  $q_u$  : Son taşıma gücü  
 $c$  : Kohezyon  
 $\rho$  : Zeminin birim hacim ağırlığı  
 $q = \rho D_f$ : Sürşarj yükü.  
 $N_c, N_q, N_\gamma$  : Taşıma gücü faktörleri.

$N_c, N_q, N_\gamma$  taşıma gücü faktörleri olup çeşitli kaynaklardan geniş bilgi edinilebilir.

Yerel göçme mekanizmasının geçerli olduğu gevşek - yumuşak zeminlerde, Terzaghi son taşıma gücünün bulunması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_u = \left(\frac{2}{3}\right) c N'_c + q N'_q + \left(\frac{1}{2}\right) \rho B N'_\gamma \quad (\text{Şerit temel}) \quad (2.4)$$



Şekil 2.6: Genel ve yerel göçme için taşıma gücü faktör eğrileri

2.3 bağıntısında geçen  $N_c, N_q, N_\gamma$  taşıma gücü faktörleri, 2.4 bağıntısında geçen  $N'_c, N'_q, N'_\gamma$  düzeltilmiş taşıma gücü faktörleri ( yerel göçme durumu ) olup  $\phi$  içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudurlar. Bu faktörler hakkında çeşitli kaynaklardan

geniş bilgi edinilebilir. Şekil 2.6 da genel ve yerel göçme durumları için taşıma gücü faktörleri eğrileri verilmektedir.

Terzaghi taşıma gücü formülünün genel biçimi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_u = K_1 c N_c + q N_q + K_2 \rho B N_\gamma \quad (2.5)$$

2.5 bağıntısındaki  $K_1$  ve  $K_2$  temel şekil katsayıları olup genel ve yerel göçme durumları için tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1: Temel şekil katsayıları

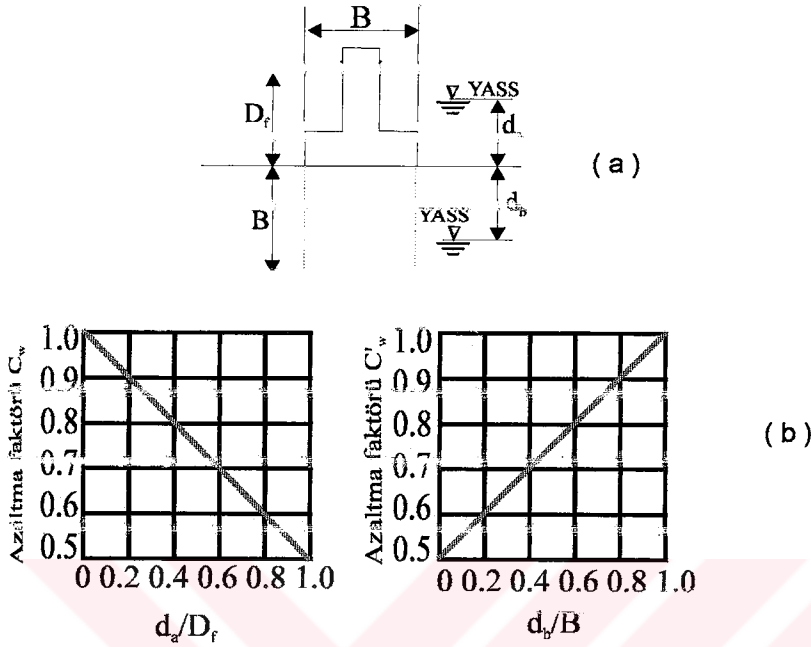
Temel	Genel		Yerel	
	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$
Şerit	1,0	0,5	0,667	0,5
Kare	1,2	0,4	0,867	0,4
Daire	1,3	0,3	0,867	0,3

Son yıllarda yapılan çalışmalar özellikle  $N_\gamma$  faktörü için farklı değerler ortaya koymuştur [3].

Taşıma gücü denklemlerinde görünen birim ağırlık hacim ağırlık  $\rho$  zeminin içinde bulunduğu koşullar için geçerli değeridir. Bu nedenle yeraltı suyu altındaki zemin için batık birim hacim ağırlık kullanılacaktır. Eğer su seviyesi temelin altında ise zemin belirli derinliğe kadar ıslak veya doymun, bunun altında batık durumda olacağından  $\rho$  için tek değer kullanılması olanaksızdır. Problemlerde kolaylık sağlanması için lineer değişimli bir basit kural kullanılır [2]. Eğer temel su seviyesinde ise taşıma gücü %50 ( doymun birim hacim ağırlık batık durumda yaklaşık olarak yarıya düştüğünden ) azaltılır; su seviyesi temel tabanından B veya daha derinde ise herhangi bir azaltma yapılmaz. Bu durumda genel taşıma gücü denklemi

$$q_u = K_1 c N_c + C_w q N_q + K_2 C_w^* \rho B N_\gamma \quad (2.6)$$

haline dönüştürülür ve düzeltmeler Şekil 2.7 a ve b den alınacak değerlerle yapılır. Su derinliğinin ara değerleri için enterpolasyon yaklaşıp çözümleri sağlanmaktadır.



Şekil 2.7: Taşıma gücünde yer altı suyu için düzeltme

Terzaghi taşıma gücü denklemlerinin incelenmesinden şu genel sonuçlar çıkarılabilir:

1. Son taşıma gücü gömme derinliğiyle artar.
2. Kohezyonlu zeminin ( $\phi = 0$ ) yüzeyinde oturan bir temelin taşıma gücü temel genişliğine bağlı olarak artmaz.
3. Kohezyonsuz zeminde ( $c = 0$ ) oturan temelin son taşıma gücü doğrudan genişliğe bağlıdır; ancak gömme derinliğinin etkisi genişlikten daha büyüktür.

Terzaghi taşıma gücü teorisine göre yenilme yüzeylerindeki kayma direnci dikkate alınmamıştır, yatay yükler ve dikdörtgen  $\left(0 < \frac{B}{L} < 1\right)$  şekilli temel durumu için inceleme yapılmamıştır.

### 2.2.2. Genel taşıma gücü eşitliği

Terzaghi teorisi, aslı ve genel prensiplerine sadık kalınarak Meyerhof (1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973) tarafından temel derinliği ve geometrisi ile yatay yüklerin uygulandığı haller için detaylandırılmış ve aşağıdaki genel taşıma gücü denklemi geliştirilmiştir.

$$q_u = c N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \left(\frac{1}{2}\right) \rho B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.7)$$

Burada;  $c$  : Kohezyon

$\rho$  : Zeminin birim hacim ağırlığı

$q = \rho D_f$ : Sürşarj yükü.

$B$ : Temel genişliği ( dairesel temel için çap).

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Taşıma gücü faktörleri.

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$  : Şekil faktörleri

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$  : Derinlik faktörleri

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ : Eğim faktörleri.

Genel taşıma gücü eşitliği sürekli temeller için geliştirilmiş olup, şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri deneysel çalışmalar sonucu ortaya konulmuş ampirik bağıntılardır. 2. 7 bağıntısında geçen şekil, derinlik, eğim ve taşıma gücü faktörleri için geliştirilen eşitlikler tablo 2.2 ve tablo 2.3 de görülebilir.

Yeraltı suyunun durumuna göre 2.7 eşitliği aşağıdaki gibi yazılır ve  $C_w$  ile  $C'_w$  katsayıları şekil 2.7 a ve b den alınır.

$$q_u = c N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + C_w q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \left(\frac{1}{2}\right) C'_w \rho B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.8)$$

Tablo 2.2 Kullanımı tavsiye edilen şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri ( Das, 1983 )

Faktör	Bağıntı		Kaynak
Şekil <sup>a</sup>	$F_{cs} = 1 + (B/L)(N_q/N_c)$		De Beer (1970)
	$F_{qs} = 1 + (B/L) \tan \phi$		
	$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 (B/L)$		
Derinlik <sup>b</sup>	$(D_f/B) \leq 1$ ise	$(D_f/B) > 1$ ise	Hansen (1970)
	$F_{cd} = 1 + 0.4 (D_f/B)$	$F_{cd} = 1 + (0.4) \tan^{-1} (D_f/B)$	
	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B)$	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} (D_f/B)$	
	$F_{\gamma d} = 1$	$F_{\gamma d} = 1$	
Yük eğim	$F_{ci} = F_{qi} = (1 - (\beta^\circ / 90^\circ))^2$		Meyerhof (1963), Hanna ve Meyerhof (1981)
	$F_{\gamma i} = 1 - (\beta/\phi)^2$		

a: Bu faktörler laboratuvar çalışmalarından türetilmiş ampirik bağıntılardır.

b:  $\tan^{-1} (D_f/B)$  radyan olarak alınacaktır.

Tablo 2.3 Farklı yazarların önerdiği şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri ( Das, 1983 )

Faktör	Bağıntı		Kaynak
Şekil <sup>a</sup>	$\phi = 0^\circ$ ise	$\phi \geq 10^\circ$ ise	Meyerhof (1953)
	$F_{cs} = 1 + 0.2 (B/L)$	$F_{cs} = 1 + 0.2 (B/L) \tan^2 (45 + (\phi/2))$	
	$F_{qs} = 1$	$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 (B/L) \tan^2 (45 + (\phi/2))$	
	$F_{\gamma s} = 1$		
Derinlik	$\phi = 0^\circ$ ise	$\phi \geq 10^\circ$ ise	Meyerhof (1963)
	$F_{cd} = 1 + 0.2 (D_f/B)$	$F_{cd} = 1 + 0.2 (D_f/B) \tan (45 + (\phi/2))$	
	$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1$	$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + 0.1 (D_f/B) \tan (45 + (\phi/2))$	
Yük eğim	$F_{ci} = F_{qi} - ((1 - F_{qi}) / (N_q - 1))$		Hansen (1970)
	$F_{qi} = (1 - ((0.5 Q_u \sin \beta) / (Q_u \cos \beta + B L c \cot \phi)))^5$		
	$F_{\gamma i} = (1 - ((0.7 Q_u \sin \beta) / (Q_u \cos \beta + B L c \cot \phi)))^5$		

a:  $L \geq B$  (L: Temelin uzunluğu; B: Temelin genişliği )

## BÖLÜM 3. YAYILI TEMELLER

### 3.1. Yayılı Temellerin Kullanıldığı Durumlar

Yayılı temeller, tüm yapı alanını kaplayan ve çok sayıda kolon yükü taşıyan birleşik temeller olarak tariflenebilir. Yapı yüklerinin çok büyük olması ve izin verilebilir zemin gerilmesinin çok düşük olması durumlarında ayırık temeller yapı alanının yarısından fazlasını kaplayabilirler. Bu durumlarda yayılı temel yapmak, ayırık temel yapmaktan daha ekonomik olabilir.

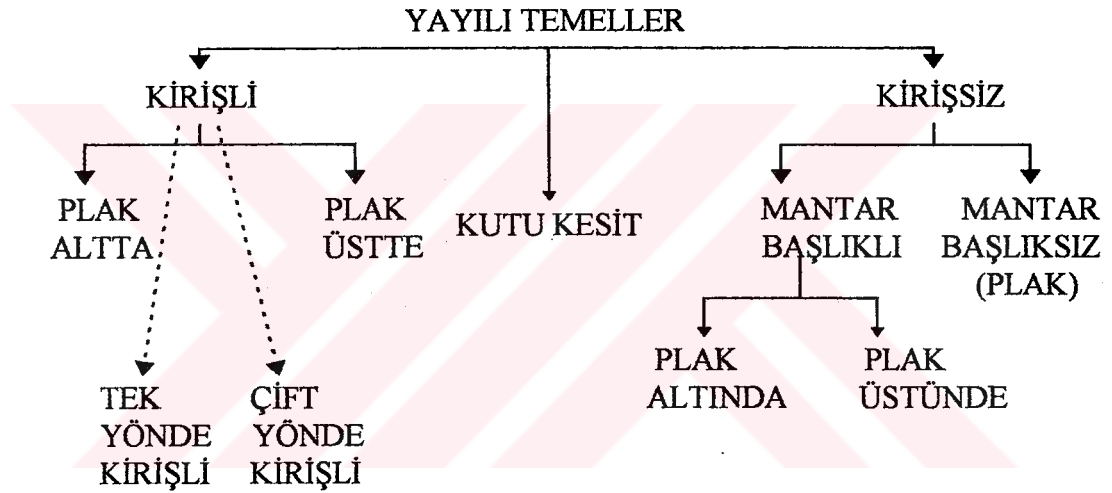
Yayılı temellerin kullanıldığı durumları şöyle sıralayabiliriz:

1. Üst yapıdan doğan zemin gerilmeleri temel alanı ile doğru orantılı olduğundan çok düşük taşıma kapasitesi olan zeminlerde zemin gerilmelerini düşürmek amacıyla yayılı temel seçilir.
2. Büyük üst yapı yükleri ayırık temellerin kapladığı alanların içiçe geçmesine sebep olur. Belli bir değerden sonra ayırık temeller yerine yayılı temel yapmak daha ekonomik olabilir. Bina alanının %50 den fazlası tekil veya sürekli temeller tarafından kaplanıyorsa bunlar yerine yayılı temeller yapılabilir.
3. Bina alanındaki zemin farklılık gösteriyorsa, zeminde zayıf bölgeler varsa meydana gelebilecek farklı oturmaları önlemek için yayılı temeller kullanılabilir.
4. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda bodrumları yer altı suyu etkisinden arındırmak için yayılı temeller yapılabilir. Bu durumda su izolasyonu için gerekli tedbirler alınmalıdır.
5. Bodrum katı ihtiyacı olan durumlarda yayılı temeller yapılabilir. Bu şekilde yapılan yayılı temellerde bodrum duvarları da yayılı temelin elemanıdır. Bodrum duvarları kolon yüklerin temel tabanına üniform şekilde yayılmasına yardımcı olurlar.
6. Yüksek sıkışabilirlik gösteren zeminlerde gömme derinliğini arttırmak kaydıyla

yayıllı temeller yapılır. Artan gömme derinliği ile ortaya çıkacak kazı ağırlığının yayıllı temel ve üst yapı ağırlığını karşıladığı oranda zemine etkiyecek gerilme düşecektir. Yapının oturması bu durumda çok küçük değerlerde kalacaktır. İzin verilebilir toplam oturma sınırına gelinceye kadar temel alanı küçültülebilir.

### 3.2. Yayılı Temel Türleri ve İşlevleri

Üst yapı yükleri, yeraltı suyu durumu ve çeşitli isteklere göre yayıllı temeller farklı şekilde inşa edilebilirler. Şekil 3.1 de yayıllı temel çeşitleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Yayılı Temel Çeşitleri

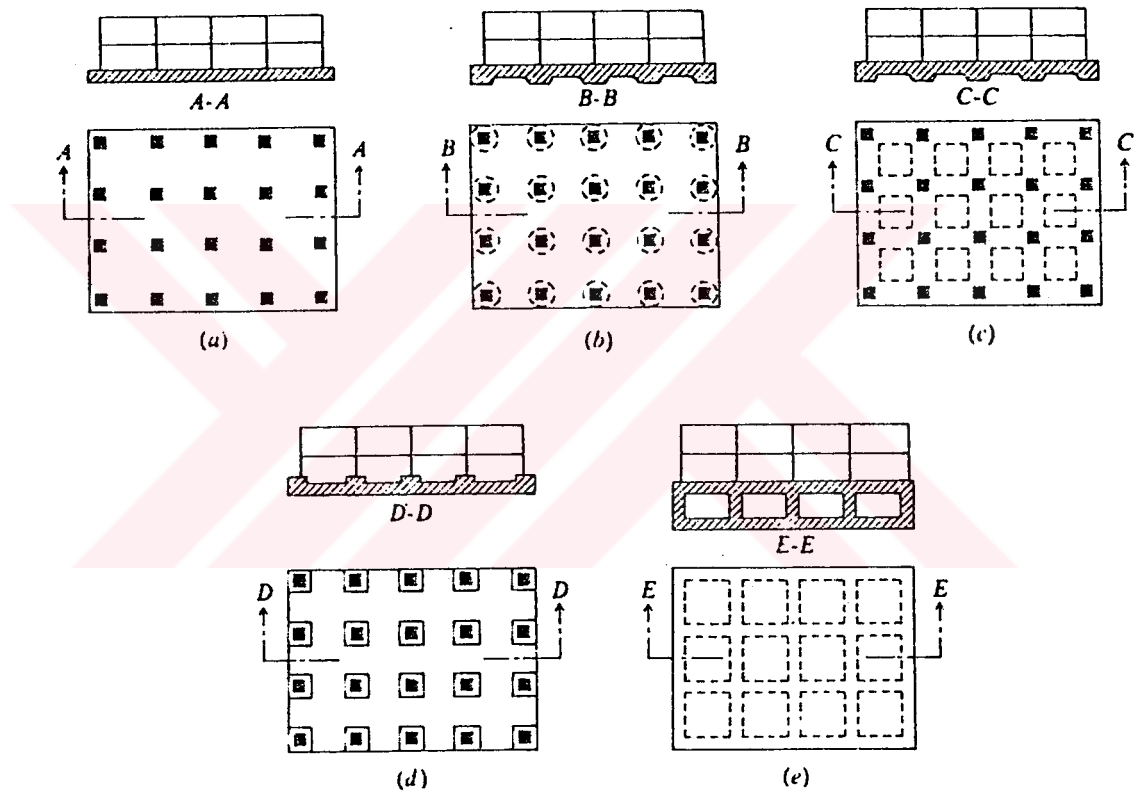
Yayıllı temeller genel olarak 0,75 - 2,00 m kalınlığında düz plak olarak inşa edilirler. Bu tipte her iki yönde alt ve üste betonarme çeliği konur. Bu maliyeti arttırmaktadır ve ayrıntı temeller tüm alanı kaplasalar bile daha ekonomik olabilmektedirler.

Kolon yüklerinin büyük olması durumunda kolon altlarında zımbalama tesirleri önem kazanır. Zımbalama etkisinin önüne geçmek için kolon altlarında plak kalınlığı artırılır. Bu tip temellere mantar başlıklı yayılı temel denir.

Üst yapı yüklerinden doğan zemin gerilmesi üniform olamıyorsa ve farklı oturmalarda büyük miktarda olacağı görülüyorsa bunun önüne geçmek için yayılı

temel rijitliği arttırılır. Bu da yayılı temeli kirişli inşa ederek elde edilir. Kirişli yayılı temelerde isteğe bağlı olarak plak, altta veya üstte teşkil edilebilirler. Plak altta yapılırsa kirişler arasındaki boşluk kullanılabilir veya doldurulabilir. Eğer temel üstünde düzgün bir yüzey isteniyorsa plak üstte inşa edilir.

Bodrum yapılacaksa ve yeraltı suyu problemi varsa kutu kesitli yayılı temel yapılarak hem bodrum elde edilmiş olur hem de yeraltı suyunun bodrum içinde girmesi engellenmiş olur. Yanlız bu durumda sızma için izolasyon sağlanmalıdır. Şekil 3.2 de yayılı temel çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Yayılı temel türleri a: Düz Plak, b: Kolon altlarında kalınlaştırılmış plak, c: Plak üstte, d: Plak altta, e: Kutu kesit

### 3.3. Yayılı Temellerin Taşıma Gücü

Yayılı temellerin son taşıma gücü yüzeysel temelerde olduğu gibi genel taşıma gücü eşitliğiyle bulunabilir ( eşitlik 2.7 ), veya



$$q_u = c N_c F_{\alpha} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \left(\frac{1}{2}\right) \rho B N_{\gamma} F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (3.1)$$

( Bölüm 2.2.3. de taşıma gücü faktörleri ile şekil, derinlik ve yük eğim faktörleri bulunabilir ). 3.1. eşitliğinde B yayılı temelin küçük boyutunu ifade etmektedir.

Yayılı temelerde boyutlar, diğer yüzeysel temellere göre oldukça büyüktür. Gömme derinliğinin artan değerleri için yapılacak kazı hacminin de büyüyeceği açıktır. Zemin, temel inşa edilmeden önce bu hacmi taşıdığı için kazı hacminin ağırlığı kadar bir miktar zeminin taşıma gücüne ilave edilebilir. Bu, net son taşıma gücü olarak tariflenmektedir.

$$q_{u,net} = q_u - q = q_u - \rho D_f \quad (3.2)$$

İzin verilebilir net son taşıma gücünü bulabilmek için uygun güvenlik sayıları kullanılmalıdır. Kil üzerinde yapılan yayılı temelerde güvenlik sayısı sabit yük + maksimum hareketli yük için 3 den küçük olmamalıdır [6]. En uç şartlarda bile en azından 1,75 - 2,00 arasında olmalıdır. Kum üzerinde yapılan yayılı temelerde genellikle güvenlik sayısı olarak 3 kullanılır.

$$q_{all,net} = \frac{q_{u,net}}{G.S} \quad (3.3)$$

### 3.3.1 Kilde yayılı temel

Doygun killerde  $\phi = 0$  ve düşük yük şartlarında 3.1 eşitliği aşağıdaki hale döner.

(  $\phi = 0$  durumunda  $N_c = 5,1$ ;  $N_q = 1$ ;  $N_{\gamma} = 0$  )

$$q_u = c_u N_c F_{cs} F_{cd} + q \quad (3.4)$$

Burada,  $c_u$  : Drenajsız kohezyon

Tablo 2.2 den  $\phi = 0$  şartları için

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \left( \frac{N_q}{N_c} \right) = 1 + \frac{B}{L} \frac{1}{5,14} = 1 + \frac{0,195B}{L} \quad (3.5)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \quad (3.6)$$

Şekil ve derinlik faktörlerini 3.4 eşitliğinde yerlerine koyarsak son taşıma gücü:

$$q_u = 5,14 c_u \left( 1 + \frac{0,195B}{L} \right) \left( 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right) + q \quad (3.7)$$

ve net son taşıma gücü:

$$q_{u,net} = q_u - q = 5,14 c_u \left( 1 + \frac{0,195B}{L} \right) \left( 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right) + q \quad (3.8)$$

şeklinde yazılır. Buradan izin verilebilir net taşıma gücü:

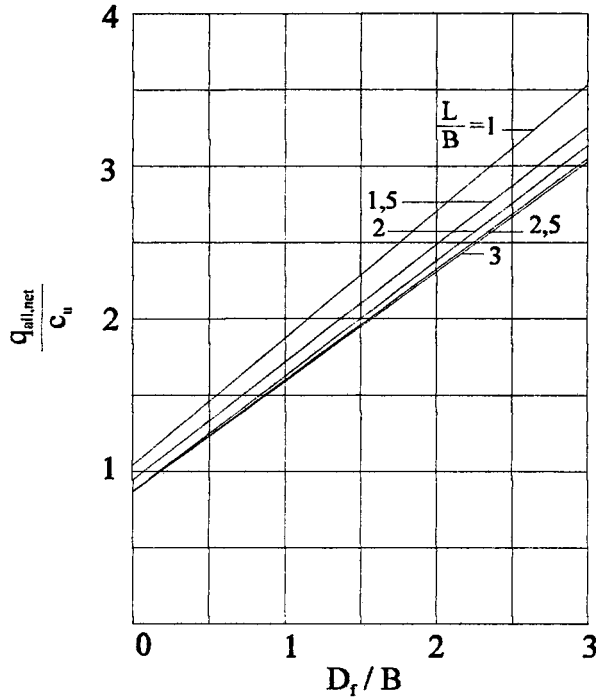
$$q_{all,net} = \frac{q_{u,net}}{G.S} = \frac{q_u - q}{G.S} \quad (3.9)$$

Güvenlik sayısı 3 alındığı takdirde izin verilebilir net taşıma gücü:

$$q_{all,net} = 1,713 c_u \left( 1 + \frac{0,195B}{L} \right) \left( 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right) \text{ olarak bulunacaktır.} \quad (3.10)$$

Şekil 3.3 de 3.8 eşitliği için ve  $GS = 3$  olmak şartıyla değişik  $\frac{D_f}{B}$  ve  $\frac{L}{B}$  oranları için

$q_{u,net} / c_u$  değerleri görülebilir.



Şekil 3.3:  $(D_f / B)$  ve  $(L / B)$  oranlarına göre  $q_{all,net} / c_u$  değerinin değişimi

Skempton (1951) killi zeminlerde ( $\phi = 0$ ) 3.6 eşitliğine benzer bir ifadeyi önermiştir:

$$q_{u,net} = 5 c \left(1 + 0,2 \frac{D_f}{B}\right) \left(1 + 0,2 \frac{B}{L}\right) \quad (3.11)$$

### 3.3.2 Kumda yayılı temel

Daneli zeminler üzerinde yapılan yayılı temellerin taşıma gücü standart penetrasyon deneyi sonuçlarını kullanarak bulunabilir.

Meyerhof (1956)  $B > 1,22$  m olması ve 25,4 mm (1 inch) lik oturmaya razı olmak şartıyla temellerin izin verilebilir net taşıma gücünü aşağıdaki şekilde tariflemiştir.

$$q_{all,net} (kN / m^2) = 7,99 N \left( \frac{3,28B + 1}{3,28B} \right)^2 \quad (3.12)$$

Burada, N: Düzeltilmiş standart penetrasyon numarası  
B: Temel genişliği

Bazı yazarlar Meyerhof'un tarifini aşırı derecede güvenli bulmuşlardır [3]. Bowles (1977) 3.12 eşitliğinden bulunacak değer %50 civarında arttırılması önermiştir. Bu durumda;

$$q_{all,net} (kN / m^2) = 11,98N \left( \frac{3,28B+1}{3,28B} \right)^2 F_d \frac{s}{25,4} \quad (B > 1,22 \text{ m}) \quad (3.13)$$

$$F_d = 1 + 0,33 \frac{D_f}{B} \leq 1,33 \quad (3.14)$$

Burada, B: Temel genişliği (m)  
s: Oturma (mm)

Yayıllı temelerde B genişliği çok büyük olduğundan  $3,28 B + 1 \approx 3,28 B$  alınabilir.

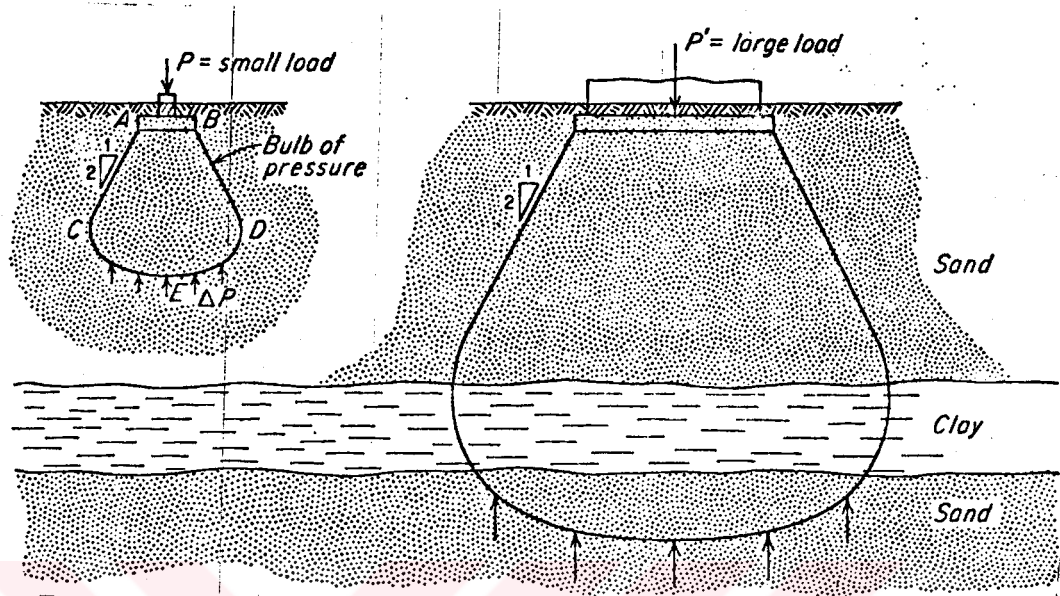
$1 \leq F_d \leq 1,33$  olduğu da göz önüne alınırsa 3.13 eşitliği aşağıdaki şekle döner.

$$q_{all,net} (kN / m^2) = 11,98N \left( 1 + 0,33 \frac{D_f}{B} \right) \left( \frac{s(mm)}{25,4} \right) \quad (3.15)$$

$$\leq 15,93N \left( \frac{s(mm)}{25,4} \right) \quad (3.16)$$

3.13 eşitliği 25,4 mm (1 inch)lik toplam oturma ve 19 mm (0,75 inch) lik farklı oturmaya müsaade edecek şekilde hazırlanmıştır. Yayıllı temelerde genişlik ayrık temellere oranla çok büyük olabilmektedir. Şekil 3.4 de görülebileceği gibi temel altında herhangi bir derinlikte meydana gelebilecek gerilme temel genişliğine bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla yayıllı temel altında gerilmelerde etkilenecek olan alan büyümektedir. Bu da yayıllı temelerde meydana gelecek toplam oturmanın ayrık

temellerden daha fazla olacağını göstermektedir. Fakat temel altında olabilecek farklı oturmalar yayılı temelin bütün olarak hareket etmek istemesinden dolayı daha düşük olacaktır.



Şekil 3.4: Basınç soğanının temel genişliğine göre değişimi

Yayıllı temellerde müsaade edilebilecek toplam oturma 50,8 mm (2 inch) ve farklı oturma 19 mm (0,75 inch) alınabilir.  $F_d = 1$  kabulüyle 3.15 eşitliği

$$q_{a11, net} \text{ (kN/m}^2\text{)} \approx 23,96 \text{ N} \quad (3.17)$$

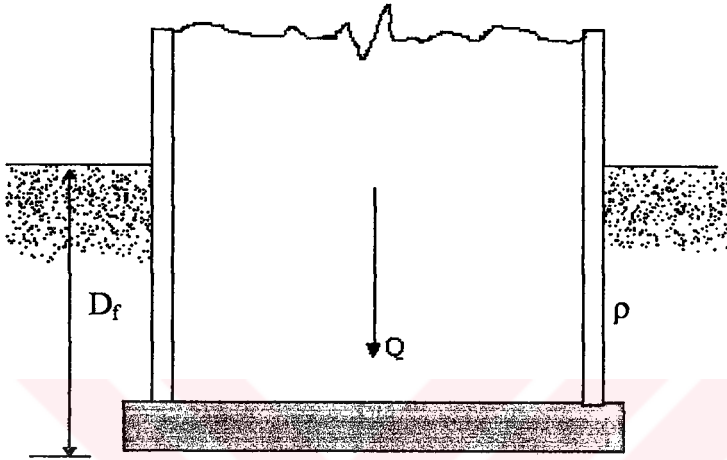
şekline dönüşür.

Yukarıda sunulan ampirik bağıntılar, bazı soruları beraberinde getirmektedir: standart penetrasyan deneyinden elde edilen hangi N değeri kullanılmalıdır? Yeraltı suyunun müsaade edilebilecek net taşıma kapasitesine etkisi nedir? N değeri olarak temel altından 2B - 3B derinlikten elde edilen sonuçlar kullanılabilir. Bazı yazarlar N değerinin yeraltı su seviyesinin durumuna göre düzeltilmesini önerirken bazıları da elde edilen N değerinin yeraltı su seviyesinin etkisini yansıttığını belirtmektedir [3].

Meyerhof (1956) ayrıca koni penetrayon direncine göre temellerin müsaade edilebilir net taşıma gücünü ampirik olarak şöyle ifade etmiştir.

$$q_{all,net} = \frac{q_c}{25} \left( \frac{3,28B+1}{3,28B} \right)^2 \quad B > 1,22 \text{ m ve } 25,4 \text{ mm oturma için} \quad (3.18)$$

Burada,  $q_c$ : Penetrasyon direnci ( $kN / m^2$ )



Şekil 3.5: Yayılı temel sebebiyle zemine uygulanacak net basınç

Yayılı temel sebebiyle zemine uygulanacak net basınç (şekil 3.5)

$$q = \frac{Q}{A} - \rho D_f \quad (3.19)$$

şeklinde yazılabilir.

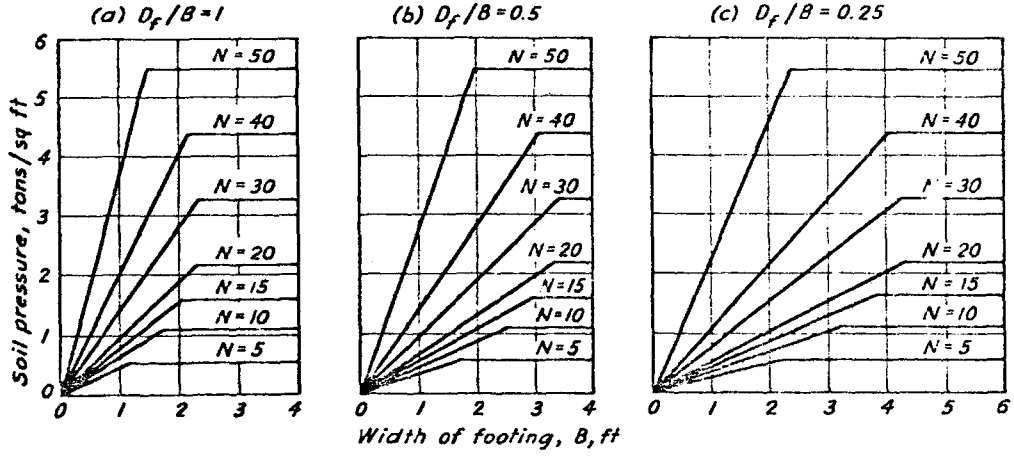
Burada,  $Q$ : Yapının sabit ve hareketli yükü

$A$ : Yayılı temel alanı

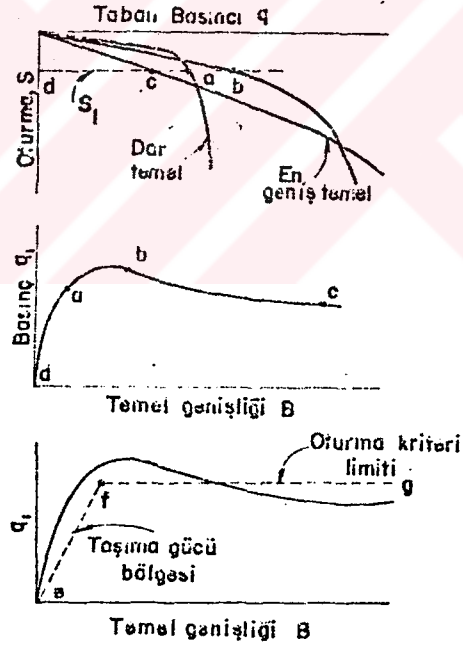
Tüm durumlarda zemine etkiyen basınç, zeminin taşıyabileceği yükten ( $q_{all,net}$ ) düşük olmalıdır.

$$q \leq q_{all,net} \quad (3.20)$$

Peck, Hanson ve Thornburn (1974) değişik  $\frac{D_f}{B}$  ve B değerleri için N değerine karşılık gelen izin verilebilir net taşıma gücü değerlerini abaklar halinde vermiştir (şekil 3.6). Bu abaklar 25, 4 mm lik toplam oturma için hazırlanmıştır.



Şekil 3.6: Kumda oturan temellerin boyutlandırılması için abak



Şekil 3.7: Kumda oturan plakaların davranışı

Şekil 3.7 den de görülebileceği gibi herhangi bir oturmaya karşı gelen net zemin basıncı temel boyutlarının büyük değerlerinde artan genişlik için fazla bir değişiklik göstermemektedir. Müsaade edilebilir net zemin basıncı şekil 3.6 daki yatay çizgilere karşılık gelen değerlerin iki katı şeklinde alınabilir. Bu da

$$q_{all,net} = 22N \quad 5 \leq N \leq 50 \quad (3.21)$$

şeklinde formül halinde verilebilir [6]. Burada N, düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi değeridir.  $N < 5$  durumunda kumun çok gevşek olduğu söylenebilir. Bu durumda olan bir zeminde ya sıkıştırma yapılır ya da başka çözümler aranır. (Kazıklı temel vb... )

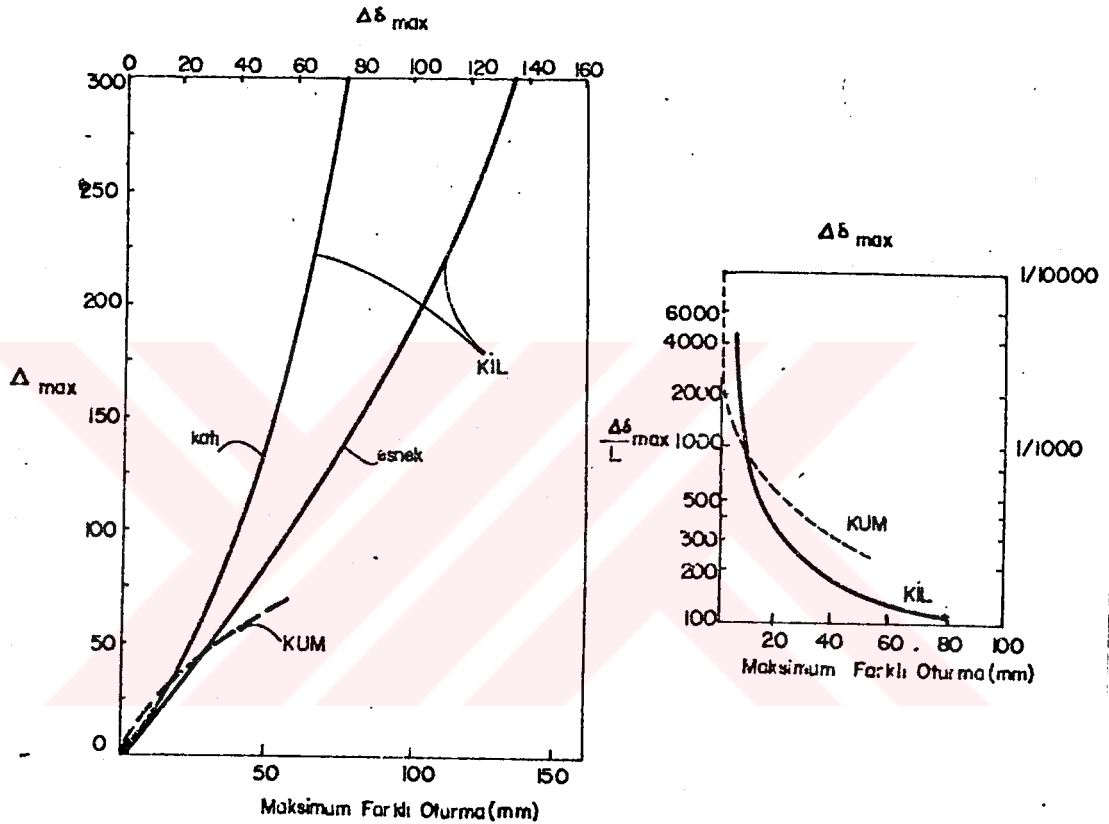
### 3.4. Oturmalar ve Oturma Limitleri

Yapıların tahammül edebilecekleri oturmalar farklı olduğu gibi bu oturmaların limitleri temel zemininin türüne göre de değişir. Bir yapının dayanabileceği hareketlerin miktarının yapı türüne, yüksekliğine, rijitliğine ve en önemlisi de temel oturmalarının hız ve dağılımına bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Bir yapının oturmalarını kabul edebilir limitlerde tutmak için normal işlemin saptanan zemin özellikleri ve yapı yüklerini kullanarak her temelin oturmasını ayarlamak olduğu düşünülebilir. Zemin özellikleri ve yükler tam olarak ölçülse bile hesaplanan ve gerçek oturmaların önemli farklar gösterdiği bilinmektedir. Bir çok elemandan meydana gelen üst yapı farklı temel hareketlerini rijitliğinin etkisi ile temeller arasında yük aktarımı yaparak kendinden ayarlamaktadır. Bunun sonucunda bir çok yapıda ayrı ayrı hesaplanan temel oturmalarının gerçek değerinden belirli ölçüde düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.8 de kil ve kumlarda toplam, farklı oturmalarla kayılma arasındaki genel bağıntı gösterilmektedir [2]. Bu eğriler arazide sürekli gözlemler sonucu geliştirilmiş olduğundan tüm yapılara uygulanabilirliği kesin olarak öne sürülemezse de genel davranışı gösterme bakımından önem taşımaktadırlar. Bu alanda yapılan başka deneysel ve teorik araştırmalar toplam oturma (  $\Delta$  ) ve kayılma (  $\Delta \delta / L$  ) hareketleri için değişik kriterler önermektedirler. Türkiye’de uygulama için uygun olacağı düşünülen limitler tablo 3.1 de gösterilmiştir. Bu limitler yapıların dayanabileceği üst değerlerdir.



Tablo 3.1: Yapılarda toplam oturma limitleri ( mm )

		Kil	Kum
TEMEL	TEKİL	60	40
	YAYILI	100	60
YAPI	YIĞMA	60	30
	ÇERÇEVE	100	50
	SİLO, BACA	250	100



Şekil 3.8: Binalarda oturma - dönme - kayılma bağıntıları

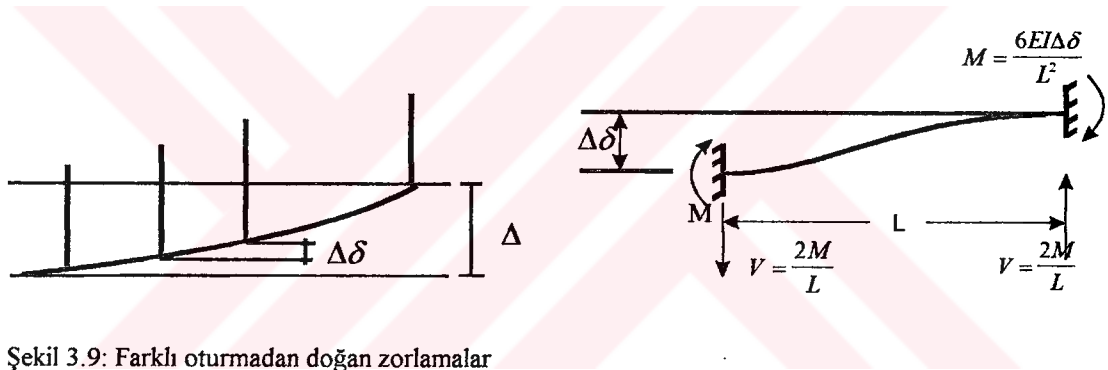
Yapıların dayanabileceği kaykılmalar tablo 3.2 de belirtilmiştir.

Tablo 3.2: Yapıların dayanabileceği kaykılmalar

Türü	$\Delta\delta / L$
Sıva ve tuğla duvarlarda çatlama başlangıcı	0,001
Tuğla yapılar	0,002
Gezer vinçler	0,003
Betonarme yapılar	0,004
İzostatik çelik çerçeveler	0,005

Yayılı temeller oturmaların problem olduğu zeminlerde yaygın olarak kullanılırlar. Sıkışabilirliği yüksek olan zeminler, değişkenlik gösteren zeminler yayılı temel kullanılan zeminlere örnek olarak gösterilebilir. Yayılı temel kullanılarak oturmaları kontrol etmek şu yollarla olur:

1. Temel alanı genişlediğinden taban basıncı düşer.
2. Gömme derinliği arttırıldıkça kazılan zemin ağırlığı üst yapı yüküyle temel ağırlığının toplamına eşit hale gelir. Bu da zemine uygulanacak basınç miktarını düşürür. Eşitlik halinde zemin yüklenmemiş demektir. Bu durumda sistem zemin üzerinde yüzer ve teorik olarak oturma meydana gelmez ( yüzdürme etkisi).
3. Yayılı temelin ve üst yapının rijitliği arttıkça temelde yük aktarımı meydana gelir ve sistem kendi içinde farklı oturmalara karşı direnir.
4. Hesaplarda 25 mm toplam oturma yerine 50 mm lik bir oturmaya razı olunursa taşıma gücü artırılabilir.



Şekil 3.9: Farklı oturmadan doğan zorlamalar

Yüzdürme etkisi yardımıyla sıkışabilirliğin yüksek olduğu zeminlerde ve kazık kullanılması gereken durumlarda bile oturmalar 50 ile 80 mm. arasında sınırlandırılmalıdır.

Farklı oturmalar, toplam oturmaya göre üzerinde daha çok durulması gereken problemlerdir. Şekil 3.9 da görülebileceği gibi yayılı temeller farklı oturmaları azaltma eğiliminde olurlar. Herhangi iki temel arasındaki farklı oturmadan dolayı meydana gelen kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri şekil 3.9 da gösterilmiştir. Yayılı temellerde toplam oturma, diğer yüzeysel temellere göre daha fazla olmasına karşın yayılı temelin sahip olduğu süreklilik farklı oturmaları azaltmaktadır.

$M = \frac{6EI\Delta\delta}{L^2}$  bağıntısından temel kirişlerinde oluşan eğilme momentinin farklı

oturmaya bağı olduğu ve toplam oturma ile ilgisinin bulunmadığı görülür. Bir tekil temel ile bir yayılı temel arasındaki oturma karşılaştırması tablo 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3. 3: Temelerde oturma

Temel	Umulan maksimum oturma (mm)	Umulan farklı oturma (mm)
Tekil	25	20
Yayılı	50	20

Üst yapı ve temellerin birbirleriyle olan karşılıklı etkileşimini hesaplayabilen bilgisayar programları sayesinde toplam oturma ve farklı oturma değerleri bulunabilmektedir. Toplam oturma hesabı için zeminle ilgili bilgiler yeterli olmakta iken farklı oturmaları hesaplayabilmek için çeşitli bilgisayar metodları kullanmak gerekmektedir.

Yayılı temelerde olması beklenen oturma değeri  $\Delta = 50$  mm den fazla değilse farklı oturma (  $\Delta\delta$  ) değeri 20 mm civarında alınabilir. Bu uygulama yanında rijitlik faktörü metodu yardımıyla farklı oturmalar tahmin edilebilir [3].

$$K_r = \frac{E I_b}{E_s B^3} \quad (3.22)$$

$$E I_b = E I_f + \sum E I_{bi} + \sum \frac{E a h^3}{12} \quad (3.23)$$

- Burada,
- $K_r$ : Rijitlik faktörü
  - $E$ : Yapıda kullanılan malzemenin elastisite modülü
  - $E_s$ : Zeminin elastisite modülü
  - $B$ : Temel genişliği
  - $I_b$ : B ye dik yönde yapının birim uzunluğunun atalet momenti
  - $E I_b$ : B ye dik yönde birim genişlikte temel silme
  - $\sum E I_{bi}$ : B ye dik yönde çerçeve elemanların rijitliği
  - $E I_f$ : Temel eğilme rijitliği

$$\sum \frac{E a h^3}{12} = B' \text{ ye dik yönde duvarların eğilme rijitliği}$$

a: Duvar kalınlığı

H: Duvar yüksekliği

$K_r > 0,5$  ise yayılı temel rijittir, farklı oturma yok kabul edilebilir. ( $\Delta\delta = 0$  )

$K_r = 0,5$  ise  $\Delta\delta = 0,1 \Delta$

$K_r = 0$  ise  $\Delta\delta = 0,5 \Delta$  ( uzun yayılı temelerde  $B / L = 0$  )

$\Delta\delta = 0,35 \Delta$  ( kare yayılı temelerde,  $B / L = 1$  )

Yayılı temeller inşa edilirken özellikle killerde yapılan derin kazılar sonucu meydana gelen önemli bir problem de şişmedir. Üzerinden yük kalkan kilin şişmesi veya kazı yan yüzeylerinden temel tabanına doğru zemin akması sonunda temel taban seviyesinin yükselmesi şeklinde gelişen bu olaya kabarma adı verilir ve 25-50 mm arasında sıkça görülür. Literatürde 200 mm ye kadar olan kabarmalardan bahsedilmiştir. Kabarma meydana geldiği zaman oturmaları hesaplamak zor olmaktadır. Eğer, kazıdan önceki  $q = \rho D_f$  gerilmesini oluşturabilecek bir temel yapılabilirse teorik olarak kabarmanın geri inmesi gerekecektir. Fakat gerçekte bu olmaz. En azından aynı hızla gerçekleşmez. Kazı öncesi ve sonrası zemin elastisite modülünün ( $E_s$ ) değişmesi ihtimali hesaplarda zorluğa neden olmaktadır. Kabarma kumlarda yapılan derin kazılarda da meydana gelebilir, fakat çok küçük miktarlardadır. Kabarma 2-3 metreye kadar hemen hemen hiç bir zeminde problem olmamaktadır. Esas problem killerde yapılan 10-20 m arasındaki derin kazılarda ortaya çıkmaktadır. Kabarmanın ortaya çıkardığı problemlerin önüne geçebilmek için kazı sonrasında beklenilmemesi ve hemen temel inşaatına başlanması gerekmektedir.

## BÖLÜM 4. YAYILI TEMELLERİN YAPISAL BOYUTLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Yayıllı temeller için bir çok hesap metodu mevcuttur. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

### 1. Elle hesap yardımıyla çözüm

a) Geleneksel rijit metod: Yayıllı temelin şeritlere bölünüp birleşik temel gibi analiz edildiği yaklaşık metod. Bu metod yayıllı temelin çok rijit olduğu zamanlarda, kolon yüklerinin üniform dağıldığı ve kolonların temel alanına üniform yerleştirildiği zamanlarda kullanılır. Bu metod keyfi yaklaşımların ve kabullerinin çokluğu ve geliştirilen bilgisayar programlarının kolayca kullanılabilirliği yüzünden tavsiye edilmemektedir [9].

b) Yaklaşık esnek metod: Bu metod ACI Committee 336 (Birleşik Temeller ve Liman Temelleri) tarafından önerilmeye devam etmektedir. Fakat yoğun ve karışık hesapların bolluğu, bunun sonucunda da kolayca hata yapılabilmesi bu metodun kullanılmamasının tavsiye edilmesine neden olmaktadır.

### 2. Bilgisayar programları yardımıyla çözüm:

Bunlarda yayıllı temel elemanlara ayrılır ve elle yapılması mümkün olmayan hesaplar bilgisayar yardımıyla yapılır.

- a) Sonlu farklar metodu (Finite Difference Method- FDM)
- b) Sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method- FEM)
- c) Sonlu şebeke metodu (Finite Grid Method- FGM)

## 4.1. Geleneksel Hesap Metodları

### 4.1.1. Geleneksel rijit metod

Hesap yolu şekil 4.1 yardımıyla adım adım verilmiştir.

1. Temel boyutları  $L \times B$

Kolon yükleri  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_{12}$

Toplam kolon yükü  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{12}$

2. A, B, C,... kolon altlarındaki gerilmenin hesabı

$$q = \frac{Q}{A} \pm M_y \frac{X}{I_y} \pm M_x \frac{Y}{I_x} \quad (4.1)$$

Burada

$$A = BL$$

$$I_x = \frac{BL^3}{12} \quad (\text{X eksenine göre atalet momenti})$$

$$I_y = \frac{LB^3}{12} \quad (\text{Y eksenine göre atalet momenti})$$

$M_x =$  Kolon yüklerinin X eksenine göre momenti,  $M_x = Q e_y$

$M_y =$  Kolon yüklerinin Y eksenine göre momenti  $M_y = Q e_x$

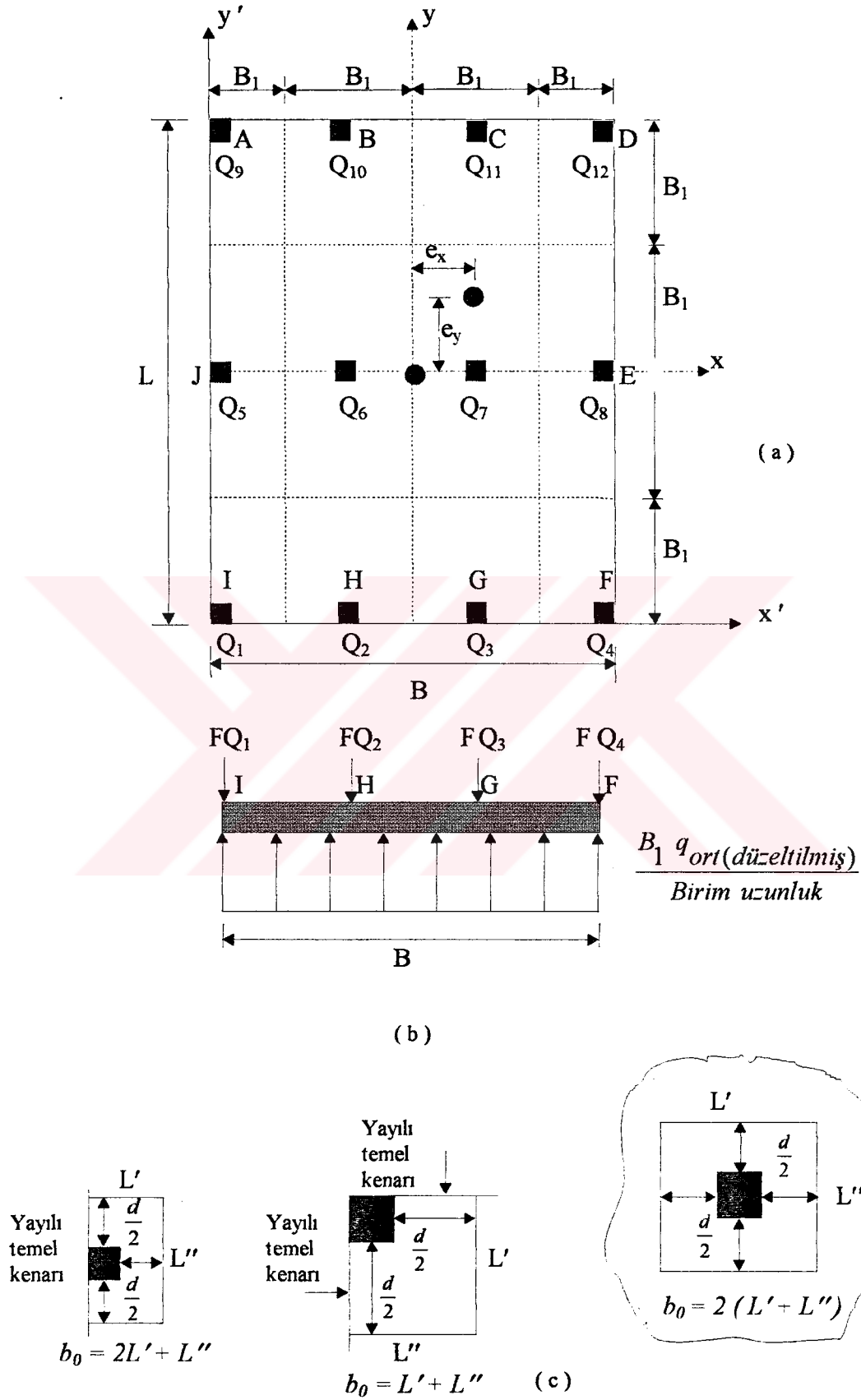
$e_x =$  X eksenine göre eksantirisite

$e_y =$  Y eksenine göre eksantirisite

$e_x$  ve  $e_y$   $X'$  ve  $Y'$  koordinatlarına bağlı olarak bulunabilirler.

$$X' = \frac{(Q_1 X'_1 + Q_2 X'_2 + \dots)}{Q} \quad \text{ve} \quad e_x = X' - \frac{B}{2}$$

$$Y' = \frac{(Q_1 Y'_1 + Q_2 Y'_2 + \dots)}{Q} \quad \text{ve} \quad e_y = Y' - \frac{B}{2}$$



Şekil 4.1: Geleneksel rijit metotla yayılı temel dizaynı

3. İkinci adımda, bulunan zemin gerilmeleri güvenlikle taşınabilecek gerilme ile karşılaştırılır (  $q \leq q_{all,net}$  olmalıdır ).

4. Burada yayılı temel X ve Y yönlerinde şeritlere bölünür. Burada her kolon için şerit genişliği  $B_1$  alınır ( şekil 4.1.b )

5. X ve Y yönündeki her şerit için kesme ( V ) ve moment ( M ) diyagramları çizilir. Örnek olarak şekil 4.1.b de görüldüğü gibi X ekseninde alt şeridi ele alırsak ortalama zemin gerilmesi  $q_{ort} \approx \frac{(q_I + q_F)}{2}$  olur. Burada  $q_I$  ve  $q_F$  ikinci adımda I ve F noktalarında belirlenen zemin gerilmeleridir.

Burada toplam zemin reaksiyonu  $q_{ort} B_1 B$  ye eşittir. Şerit üstündeki toplam kolon yükü  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$  'tür. Şerit üstündeki kolon yükleri toplamı  $q_{ort} B_1 B$  ye eşit olmamalıdır. Çünkü komşu şeritler arasındaki kesme kuvveti dikkate alınmamaktadır. Bu yüzden zemin gerilmeleri ve kolon yükleri düzeltilmelidir.

$$\text{Ortalama yük} = \frac{q_{ort} B_1 B + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)}{2} \quad (4.2)$$

Düzeltilmiş zemin reaksiyonları

$$q_{ort(düzeltilmiş)} = q_{ort} \cdot \left( \frac{\text{ortalama yük}}{q_{ort} B_1 B} \right) \quad (4.3)$$

Kolon yük düzeltme faktörü

$$F = \frac{\text{ortalama yük}}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (4.4)$$

Sonuç olarak düzeltilmiş kolon yükleri  $F Q_1, F Q_2, F Q_3, F Q_4$  (şekil 4.1.b)



Bundan sonra kesme ( V ) ve moment ( M ) diyagramları çizilir. Bu işlem her iki yöndeki şeritler için tekrar edilir.

6. Temel kalınlığının seçilmesi: Kritik kesitlerde zımbalama dayanımı kontrol edilmek suretiyle temel kalınlığı bulunur [3].

$$U = b_0 d (\phi (0,34) \sqrt{f'_c}) \quad (4.5)$$

Burada, U : Düzeltilmiş kolon yükü ( MN ) = Kolon yükü x Yük faktörü  
 $\phi$  : Azaltma faktörü  
 $f'_c$  : Betonun 28 günlük basınç mukavemeti (MN/ m<sup>2</sup>)

Burada  $b_0$  ve d metre cinsinden yazılır.  $b_0$  ve d nin durumları kolonun temel üstündeki yerleşimine bağlı olarak şekil 4.1.c de gösterilmiştir.

7. Her iki yön için ayrı ayrı tüm şeritlerde moment diyagramlarından birim genişlik için maksimum pozitif ve negatif momentler bulunur (  $M' = \frac{M}{B_1}$  ).

8. X ve Y yönünde, birim genişlik için gerekli demir alanı (pozitif ve negatif momentler için) aşağıdaki formülle bulunur.

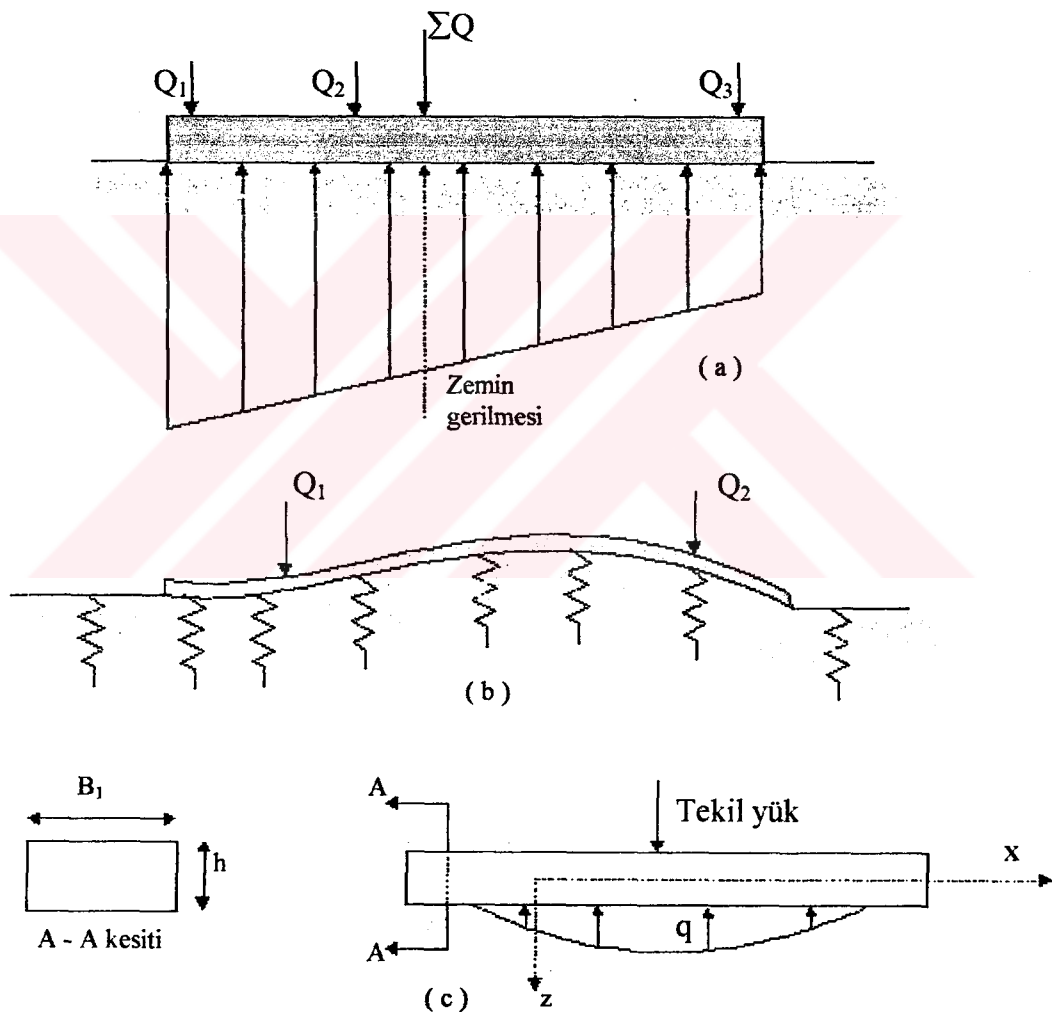
$$M_u = (M') (\text{yük faktörü}) = \phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.6)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{(0,85 f'_c b)} \quad (4.7)$$

Burada  $A_s$  : Birim genişlik için demir alanı  
 $f_y$  : Çeliğin akma dayanımı

#### 4.1.2. Yaklaşık esnek metod

Geleneksel rijit metotta temel sonsuz rijit kabul edilir. Aynı zamanda zemin gerilmeleri düz çizgi halinde dağıtılır. Yaklaşık esnek metotta ise zeminin sonsuz sayıda elastik yaydan oluştuğu ve temelin bunun üstüne oturduğu kabul edilir. Buna Winkler temeli dendiği de olur. Bu yaylara ait yay sabitleri de yatak katsayısı ( Coefficient of Subgrade Reaction,  $k$  ) adıyla bilinir. Şekil 4.2.a ve 4.2.b de geleneksel rijit metod ve yaklaşık esnek metodun prensipleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Geleneksel rijit metodun ve yaklaşık esnek metodun prensipleri

Esnek temel dizaynının prensiplerini anlayabilmek için  $B_1$  genişliğinde ve sonsuz uzunlukta bir kirişi düşünelim. Kiriş, yüklerin toplamını içeren bir tekil yük ( $Q$ ) etkisi altında olsun ( Şekil 4.2.c ).

Mekanik prensiplerine göre;

$$M = E_F I_F \frac{d^2 z}{dx^2} \quad (4.8)$$

Burada,  $M$  : Herhangi bir kesitteki moment

$E_F$ : Kiriş elastisite modülü

$I_F$ : Kiriş kesit atalet momenti =  $\frac{B_1 h^3}{12}$

$$\frac{dM}{dx} = V \text{ (kesme kuvveti)}$$

$$\frac{dV}{dx} = q \text{ (zemin reaksiyonu).}$$

$$\text{Dolayısıyla } \frac{d^2 M}{dx^2} = q \quad (4.9)$$

$$(4.8) \text{ ve } (4.9) \text{ formülleri yardımıyla } E_F I_F \frac{d^4 z}{dx^4} = q \quad (4.10)$$

$$\text{zemin reaksiyonu } q = -z k' \quad (4.11)$$

Burada,  $z$  : Yer değiştirme

$k'$  :  $k B_1$

$k$  : yatak katsayısı (  $\text{kN} / \text{m}^3$  )

$$E_F I_F \frac{d^4 z}{dx^4} = -z k B_1 \quad (4.12)$$

$$z = e^{-\alpha x} (A' \cos \beta x + A'' \sin \beta x) \quad (4.13)$$

$$A' \text{ ve } A'' \text{ sabit, } \beta = \left( \frac{\beta_1 k}{4 E_F I_F} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.14)$$

$\beta$  katsayısının birimi (uzunluk)<sup>-1</sup> dir.  $\beta$  katsayısı temelin geleneksel rijit metoda göre mi, yoksa yaklaşık esnek metoda göre mi hesap edileceğini belirlemede rol oynayan çok önemli bir parametredir. ACI 436-96 ya göre herhangi bir yöndeki şerit uzunluğu  $\frac{1,75}{\beta}$  değerinden küçükse geleneksel rijit metod kullanılır. Aksi takdirde yaklaşık esnek metod kullanılmalıdır.

Çözüm adımları:

Yayılı temellerin yaklaşık esnek metoda göre çözümü aşağıda ACI 436 -1966 tarafından önerildiği şekilde adım adım anlatılmıştır. Dizayn işlemleri temel olarak plaklar teorisine dayanmaktadır. Bunun kullanımı kesme, moment, yer değiştirme etkilerini değerlendirmeye almaktadır. Eğer iki veya daha çok kolunun etki alanları çakışırsa herhangi bir noktada moment ve yer değiştirmeleri bulmak için süperpozisyon prensibi kullanılır.

1. Temel kalınlığının ( h ) seçilmesi. ( Geleneksel rijit temellerdeki altıncı çözüm adımı gibi )

2. Temelin ( mat ) eğilme rijitliği ( R ) nin hesabı

$$R = \frac{E_F h^3}{12 (1 - \mu_F^2)} \quad (4.15)$$

Burada  $E_F$ : Temel malzemesinin elastisite modülü

$\mu_F$ : Temel malzemesinin poisson oranı

3. Etkili katılık yarıçapının bulunması

$$L' = \left(\frac{R}{k}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.16)$$

Burada,  $L'$ :Etkili katılık yarıçapı  
 $k$ : Yatak katsayısı

4. Herhangi bir noktada kolon yükünden doğan momentlerin bulunması.

Polar koordinat sisteminde:

$$M_t = -\frac{Q}{4} \left[ A_1 - \frac{(1-\mu_F)A_2}{r/L'} \right] \quad (\text{tangential moment}) \quad (4.17)$$

$$M_r = -\frac{Q}{4} \left[ \mu_F A_1 - \frac{(1-\mu_F)A_2}{r/L'} \right] \quad (\text{radyal moment}) \quad (4.18)$$

Burada ;  $r$ : Kolondan radyal mesafe  
 $Q$ : Kolon yükü  
 $A_1, A_2$ :  $r/L'$  fonksiyonlarıdır.

$A_1$  ve  $A_2$ 'nin  $r/L'$  ne göre değişimi şekil 4.3 de gösterilmiştir.

Kartezyen koordinat sisteminde:

$$M_x = M_t \sin^2 \alpha + M_r \cos^2 \alpha \quad (4.19)$$

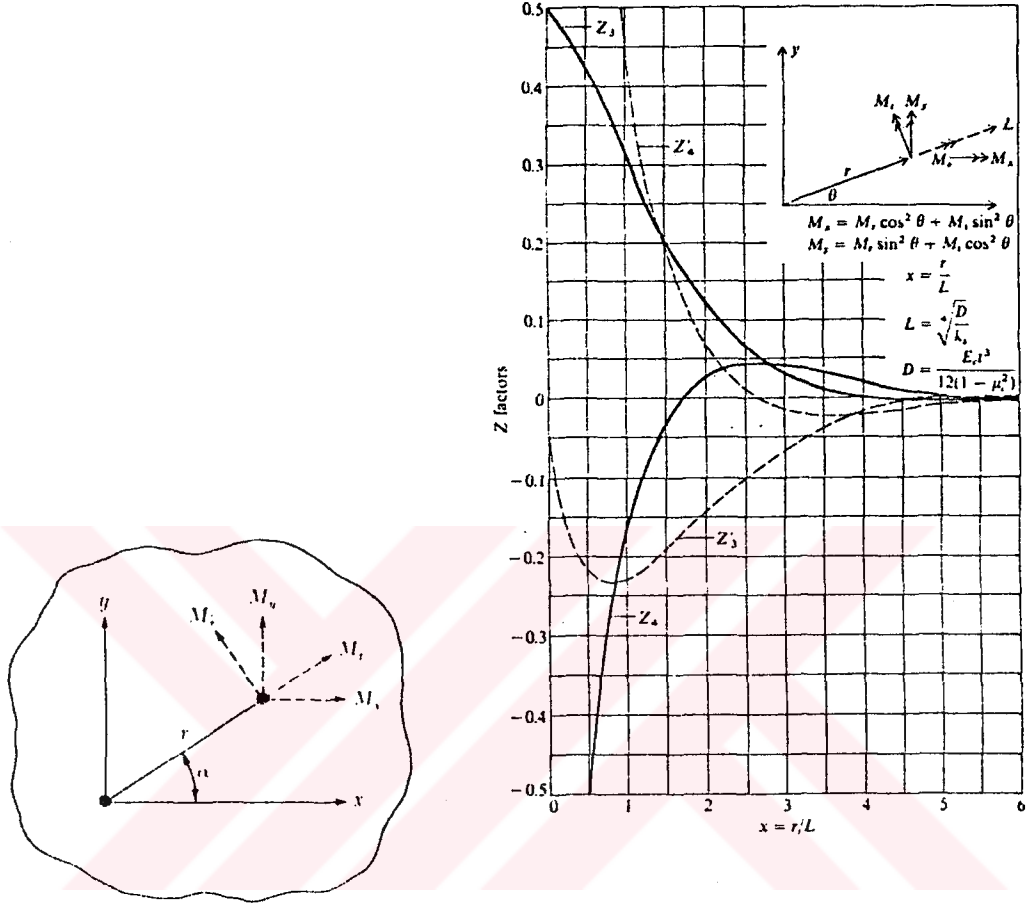
$$M_y = M_t \cos^2 \alpha + M_r \sin^2 \alpha \quad (4.20)$$

5. Birim genişlik için kolon yükünden doğan kesme kuvveti (V)

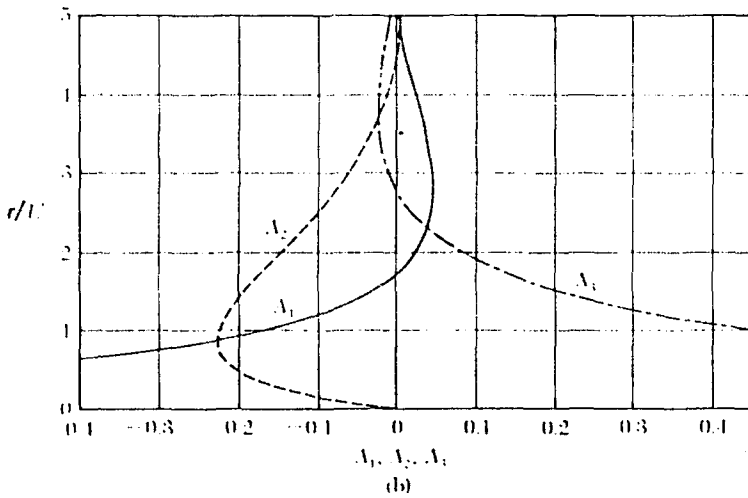
$$V = -\frac{Q A_3}{4 L'} \quad (4.21)$$

$A_3$  ün  $r/L'$  ne göre değişimi şekil 4.3 de gösterilmiştir.

6. Eğer temel kenarı bir kolonun etki alanı altında kalıyorsa moment ve kesme kuvveti temelin sürekli olduğu kabulü ile kama boyunca hesaplanır.



(a)

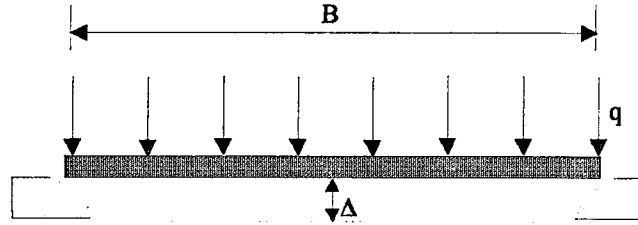


(b)

Şekil 4.3: Yayılı temelin yaklaşık esnek metoda göre dizaynı

#### 4.1.2.1. Yatak katsayısı

Bir yayılı temelin esnek metoda göre yapısal tasarımının yapılabilmesi için önce yatak katsayısının bilinmesi gerekir ( şekil 4.4 ).



Şekil 4.4 : Yatak katsayısının tanımlanması

Yatak katsayısı, zemini izotrop - elastik ortam kabul ederek, bir temelin her noktasında uygulanan gerilme ile bundan kaynaklanan çökme arasında ölçülen değişmez orandır [ 21 ]. q yayılı yükü altında, B genişliğindeki temel, Δ oturmasını versin. Buna göre,

$$k = \frac{q}{\Delta} \quad (4.22)$$

Burada, k: Yatak katsayısı ( kN / m<sup>3</sup> )

q: Yayılı yük

Δ: Oturma

Yatak katsayısı verilen bir zemin için sabit değildir. Yatak katsayısı temel uzunluğuna ( L ), temel genişliğine ( B ) ve gömme derinliğine ( D<sub>f</sub> ) bağlıdır. Yatak katsayısını etkileyen faktörler hakkında Terzaghi tarafından (1955) yılında bir çalışma yapılmıştır [3]. Buna göre, yatak katsayısı temel genişliği arttıkça azalır. Araziye yatak katsayısı 0,3 ( m ) x 0,3 ( m ) boyutlarındaki bir kare plaka yardımıyla ölçülebilir. Büyük boyutlardaki kare temeller için yatak katsayısının bulunuşu aşağıda verilmiştir.

Kumlu zeminlerdeki temeller için

$$k = k_{0,3} \left( \frac{B+0,3}{2 B} \right)^2 \quad (4.22)$$

Killi zeminlerdeki temeller için

$$k = k_{0,3} \frac{0,3}{B} \quad (4.23)$$

Burada,  $k_{0,3}$  : 0,3 ( m ) x 0,3 ( m ) boyutundaki plaka için yatak katsayısı  
 $k$ : B ( m ) x B ( m ) boyutundaki temel için yatak katsayısı ( kN / m<sup>3</sup> )

Benzer zemin türü ve zemin gerilmeleri için dikdörtgen temellerde yatak katsayısı:

$$k = k_{(BxB)} \frac{1 + \frac{B}{L}}{1,5} \quad (4.24)$$

Burada,  $k$ : (L x B) boyutlarındaki dikdörtgen temel için yatak katsayısı  
 $k_{(BxB)}$ : (BxB) boyutlarındaki kare temel için yatak katsayısı

Çok uzun bir dikdörtgen temel için (B genişliğinde)

$$k = 0,67 k_{(BxB)} \text{ alınabilir.} \quad (4.25)$$

Daneli zeminlerin elastisite modülü derinlikle birlikte artar. Temellerde meydana gelen oturmalar elastisite modülüne bağlıdır. Bundan dolayı k değeri temel derinliğiyle artar.

Çeşitli kumlu ve killi zeminler için tipik yatak katsayısı değerleri tablo 4.1 de gösterilmiştir.



Tablo 4.1: Kumlu ve killi zeminler için tipik yatak katsayıları

KUM	(kuru veya nemli)	(doygun)	KİL	k MN / m <sup>3</sup>
	k ( MN/m <sup>3</sup> )	k ( MN/m <sup>3</sup> )		
Gevşek	8 - 25	10 - 15	Sert (q <sub>u</sub> = 100-200 kN/m <sup>2</sup> )	15 - 25
Orta	25 - 125	35 - 40	Çok sert (q <sub>u</sub> = 200-4000 kN/m <sup>2</sup> )	25 - 50
Sıkı	125 - 375	130 - 150	Katı (q <sub>u</sub> > 400 kN/m <sup>2</sup> )	>50

Scott (1981) kumlu zeminler için hangi derinlik olursa olsun

$$k_{0,3} \text{ (MN / m}^3\text{)} = 1,8 N \quad (4.26)$$

olarak vermiştir.

Burada; N: düzeltilmiş standart penetrasyon değeri

Uzun kirişlerin yatak katsayısı için Vesic (1961) şu formülü önermiştir:

$$k = 0,65 \left[ \frac{E_s B^4}{E_F I_F} \right]^{1/2} \left[ \frac{E_s}{B (1 - \mu^2)} \right] \quad (4.27)$$

Burada; E<sub>s</sub>: Zemin elastisite modülü

B: Temel genişliği

E<sub>F</sub>: Temel malzemesinin elastite modülü

I<sub>F</sub>: Temel kesit atalet momenti

μ : Zeminin poisson oranı

Pratik amaçlar için:

$$k = \frac{E_s}{B(1 - \mu^2)} \quad (4.28)$$

## 4.2 Bilgisayar Hesap Metodları

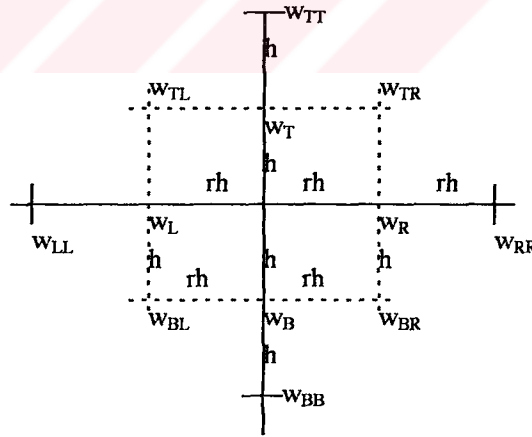
### 4.2.1. Sonlu farklar metodu (Finite difference method)

Sonlu farklar metodunda çözüm için plak ve kabuk teorisine göre dördüncü dereceden diferansiyel denklemler kullanılır. (Timoshenko and Woinowsky Krieger (1959)).

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} + \frac{P}{D(\partial x \partial y)} \quad (4.29)$$

Şekil 4.5 den görülebileceği gibi  $r = 1$  olduğu zaman yukarıdaki eşitlik şu hale gelir:

$$20 w_o - 8 (w_T + w_B + w_R + w_L) + 2 (w_{TL} + w_{TR} + w_{BL} + w_{BR}) + (w_{TT} + w_{BB} + w_{LL} + w_{RR}) = \frac{q h^4}{D} + \frac{P h^2}{D} \quad (4.30)$$



Şekil 4.5: Sonlu farklar metodunda kullanılan  $rh \times h$  boyutlarındaki elemanın gösterilmesi

$r \neq 1$  olursa;

$$\begin{aligned} & \left( \frac{6}{r^4} + \frac{8}{r^2} + 6 \right) w_o + \left( -\frac{4}{r^4} - \frac{4}{r^2} \right) (w_L + w_R) + \left( -\frac{4}{r^2} - 4 \right) (w_T + w_B) \\ & + \frac{2}{r^2} (w_{TL} + w_{TR} + w_{BL} + w_{BR}) + w_{TT} + w_{BB} + \frac{1}{r^4} (w_{LL} + w_{RR}) \\ & = \frac{qrh^2}{rD} + \frac{Ph^2}{rD} \end{aligned} \quad (4.31)$$

$q = -k_s \cdot \omega_o$  olduğundan  $\omega_o$  lı terim yerine  $\left( \frac{6}{r^4} + \frac{8}{r^2} + 6 + \frac{k_s h^4}{D} \right) w_o$  yazılabilir.

Sonlu farklar metodunun avantajları:

1. Kullanımı geniş olarak devam etmektedir (Alternatif metodlar için kontrol yapılabilir).
2. Sonuçlar güvenlidir.
3. Girilen veriler diğer hesap metodlarına göre daha azdır ve rijitlik matrisi daha küçüktür.

Sonlu farklar metodunun aynı zamanda dezavantajları da vardır.

1. Kolon sabitliği ile ilgili sınır şartlarını oluşturmak oldukça zordur.
2. Temelde boşluk, köşelerde kertik vs. bunları modellemek zordur.
3. Sonlu farklar metodu birim genişliğine düşen momentleri kullandığı için momentleri uygulamak zordur.

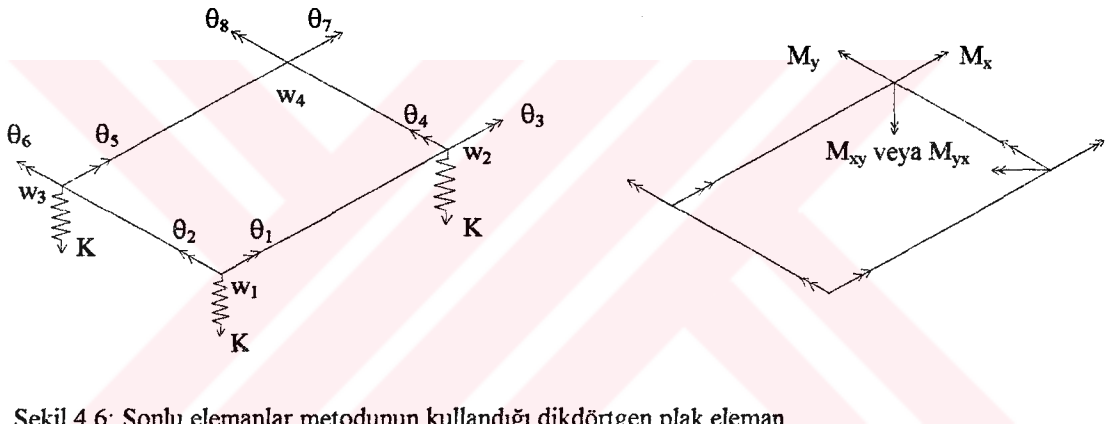
#### 4.2.2. Sonlu elemanlar metodu (Finite element method)

Sonlu elemanlar metodunda elemanlar sürekli yer değiştirme fonksiyonları kullanılarak sağlanır. Yer değiştirme fonksiyonu şu şekilde gösterilebilir.

$$U = a_1 + a_2 X + a_3 Y + a_4 X^2 + a_5 XY + a_6 Y^2 + a_7 X^3 + a_8 X^2 Y + a_9 XY^2 + a_{10} Y^3 + a_{11} X^4 + a_{12} X^3 Y + a_{13} X^2 Y^2 + a_{14} XY^3 + a_{15} Y^4 \quad (4.32)$$

Bir dikdörtgen plak için her köşede (düğüm noktası) 3 yer değiştirme ve 12 bilinmeyen gereklidir (şekil 4.6)

Bu metotta cismin “sonlu” boyutta çok sayıda “eleman” a ayrıldığı tasavvur edilir. Metodun adı da buradan gelmektedir. Cisim uzayda  $n = 1,2,3,\dots$  boyuta sahipse,  $n$ -boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır. Bir boyutlu cisimler düğümlerle, iki boyutlu cisimler çizgilerle, üç boyutlu cisimler düzlemlerle sonlu elemanlara ayrılacaktır. Bir boyutlu cisimlerde sonlu elemanlar farklı uzunlukta olabilirler. Ancak iki veya üç boyutlarda elemanlar eşit olmayan boyutlarda olabileceği gibi farklı şekillerde de olabilirler. Bununla birlikte bütün durumlarda cisimi temsil eden sonlu elemanlar düğümlerle bağlanacaklardır.



Şekil 4.6: Sonlu elemanlar metodunun kullandığı dikdörtgen plak eleman

Sonuçta cisim sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır. Düğümleri komşu sonlu elemanları uçlarından birbirine bağlayan ve onları bir arada tutan “somun - civata” bağlantısı gibi düşünebiliriz. Öyleki düğümler kaldırıldığında da elemanlar birbirinden ayrılırlar. Düğümler kaldırılınca elemanlar birbirinden ayrılacağından komşu sonlu elemanlar arasında fiziksel süreklilik yoktur.

Metodun çözümlenmesinde bundan sonraki adım, cisimi temsil eden elemanların her birinin “eleman rijitlik matrisi” ni ( element stiffness matrix ) tanımlamaktır. Daha sonra eleman rijitlik matrisleri parçalara ayrılmış cismin tamamına ait rijitlik matrisini ( overall stiffness matrix ) oluşturmak üzere toplanır. Bu toplamada, cismin

sonlu eleman modelindeki bütün düğümlerde kuvvetlerin dengesi ve yer değiştirmelerin sürekliliği sağlanır. Buradan şu matris denkleminin ulaşılr.

$$[K]\{\delta\}=\{P\} \quad (4.33)$$

[K] cisminin rijitlik matrisini tanımlar. Tümel kuvvet vektörü {P} bütün düğümlere uygulanan dış kuvvetleri, {δ} ise bütün düğümlerin yer değiştirmelerini göstermektedir. [K] nitelik bakımından parçalara ayrılmış cisimde birim yer değiştirme oluşturacak kuvveti ifade eder. Burada cismin sonlu eleman modelini bir yaya eşdeğer olarak düşünürsek cismin rijitliği [K] yay sabitine karşılık olacağı açıktır. Cisme etkiyen belirli bir dış kuvvetler ve belirli bir sınır şartları takımı için çözüm olarak düğüm yer değiştirmeleri {δ} bulunur. Yer değiştirmelerinden de gerilmeler ve zorlanmalar hesaplanabilir.

Özetlenirse, verilen bir problemin sonlu elemanlar metodu ile çözümü için sırası ile aşağıdaki işlemlerin uygulanması gerekir.

1. Cismi bir sonlu elemanlar sistemi halinde “parçalama”
2. Cismi temsil eden elemanların her birinin rijitlik matrisi ve diğer özelliklerinin çıkarılması
3. Rijitlik matrisi [K] ve “tümel kuvvet vektörü” {P} toplama işlemi
4. {δ} tayin etmek için belirlenmiş sınır şartlarıyla  $[K] \cdot \{\delta\} = \{P\}$  denkleminin çözülmesi
5. Hesaplanan düğüm yer değiştirmelerinden {δ} elemanların zorlanmalarının ve gerilmelerinin hesaplanması

Uygulamada bilimsel ve mühendislik problemlerinde genellikle büyük [K] matrisleri doğar. Bu yüzden çözüm için bilgisayar kullanımı kaçınılmaz hale gelir. Yapılan işlemleri otomatik hale getirmek için programlar yazılabilir. Gerçekten sonlu elemanlar metodu otomatik hesaplama ile birleştirilmekle, çözümü çok zor hatta olanaksız karmaşık fiziksel problemleri hassas olarak çözmekte çok etkin ve zarif bir araç oluşturur.

### 4.2.3. Sonlu şebeke metodu (Finite grid method)

Bu metod bilhassa plak yayılı temel analizi için uygundur. Bu metodun diğerlerine göre avantajları şunlardır.

1. Sadece eğilme ve burulmaya maruz kiriş ve kolon tipi elemanlar olduğundan sonuçları yorumlamak kolaydır.
2. Eleman uçlarındaki kesme kuvvetlerini bulmak kolaydır. Kesme kuvvetleri basitçe eleman uçlarındaki moment toplamının eleman uzunluğuna bölünmesiyle bulunur.
3. Kolon momentlerini doğrudan girmek kolaydır.
4. Sınır şartlarını modellemek sonlu elemanlar metodundaki gibi kolaydır.
5. Düğüm noktaları üç serbestlik dereceli olduğundan bunları göstermek kolaydır.

Her düğüm noktası için aşağıdaki bilgiler yazılabilir.

$$P_i = A_i \cdot F_i \quad (4.34)$$

Burada,  
 P: Dış kuvvetler  
 F: Elemanda oluşan kuvvetler  
 A: Köprüleme sabiti

P ve F hem kuvvetler için hem de momentler için kullanılabilir. Düğüm noktaları grubu için düşündüğümüzde P ve F kolon vektörü, A ise dikdörtgen matrisidir. İç şekil değiştirmeler (e) ve dış düğüm yer değiştirmeleri (X) arasında  $e = B X$  bağıntısı vardır. e ve X hem dönme (radyan) hem de yer değiştirme olabilir. B matrisi A matrisinin transpozesidir. Bu durumda

$$e = A^T X \quad (4.35)$$

eleman kuvvetleri eleman yer değiştirmelerine bağlı olarak

$$F = S e \quad \text{şeklinde yazılabilir.} \quad (4.36)$$

Yukarıdaki denklemler Sonlu Elemanlar Metodunun temel denklemleridir.

$$F = S e = S A^T X \quad (4.37)$$

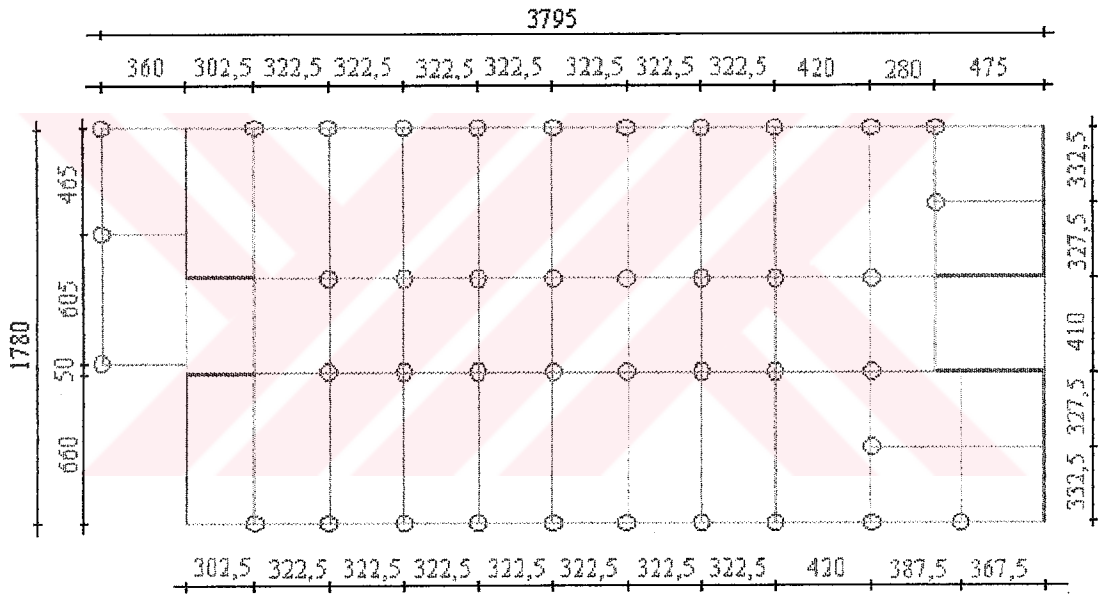
$$\text{Buradan } X = (A S A^T)^{-1} P \quad (4.38)$$

yer değiştirmeleri bulunur Daha sonra da bu X ler yardımıyla eleman kuvvetleri bulunur.



## BÖLÜM 5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE SAYISAL ÖRNEK

Sayısal örnekte ele alınan tamamı betonarme 5 katlı binanın temel planı Şekil 5.1 de ve Lusas sonlu elemanlar paket programı kullanılarak oluşturulan model şekil 5.3.a , b ve c de gösterilmiştir.

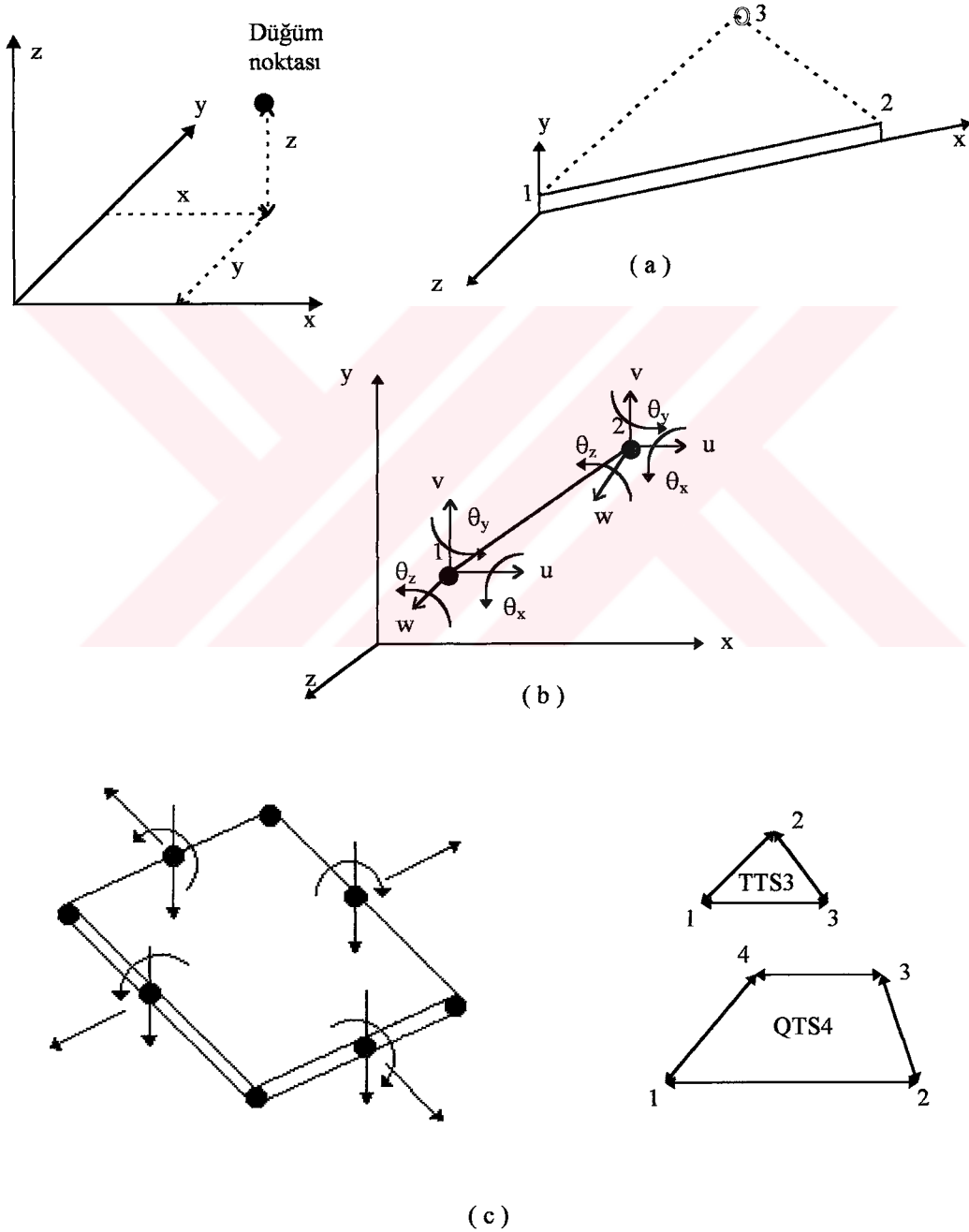


Şekil 5.1 Plan

Sonlu elemanlar metodu genel olarak tüm yapısal analiz problemleri için kullanılabilir. Bu methoda gerçekçi sonuçlar alabilmek için, modelin yapının göstereceği davranışa uygun olarak hazırlanması ve methodun genel kurallarına uyulması gerekmektedir. Bu örnekte, çözüm yapılırken Lusas sonlu elemanlar methodundan ( Lusas finite element method ) yararlanılmış, model kurulurken de beam ( BMS3 ) ve shell ( TTS3, QTS4 ) elemanlar kullanılmıştır. Şekil 5.2.a da üç boyutlu global eksen takımı ve çubuk elemanda lokal eksenler, şekil 5.2.b de BMS3 kiriş elemanı ve şekil 5.2.c de shell elemanlar gösterilmiştir.

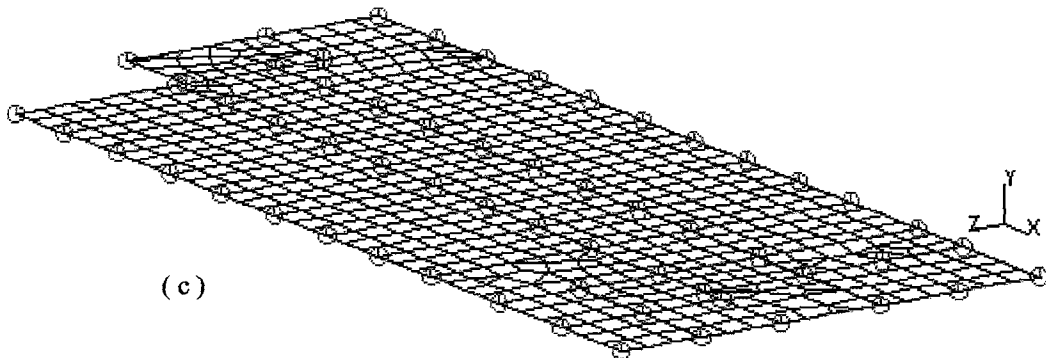
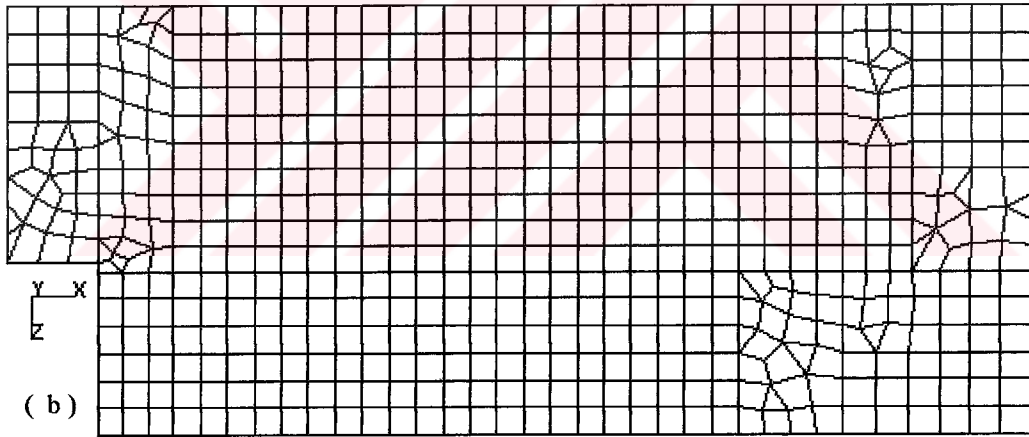
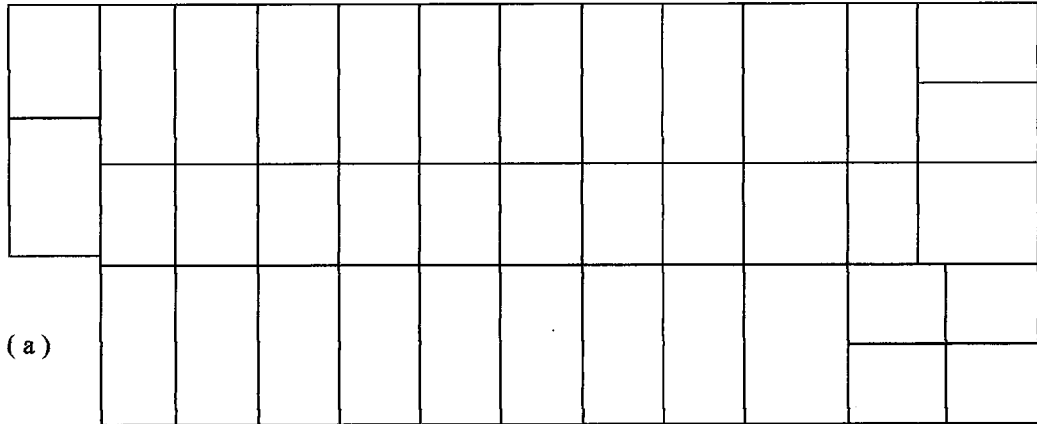


BMS3 iki noktalı, üç boyutlu ve geometrik özellikleri uzunluğu boyunca sabit bir elemandır. Her bir düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi (  $u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$  ) vardır. Her düğüm noktası  $x, y$  ve  $z$  koordinatlarıyla tariflenir. Çıktı olarak her bir eleman için kesme kuvvetleri (  $F_y, F_z$  ), normal kuvvetler (  $F_x$  ), eğilme momentleri (  $M_y, M_z$  ) ve burulma momenti (  $M_x$  ) değerlerini 1 ve 2 noktaları için ayrı ayrı verir. BMS3 elemanda kayma etkileri gözönüne alınır[ 19 ].



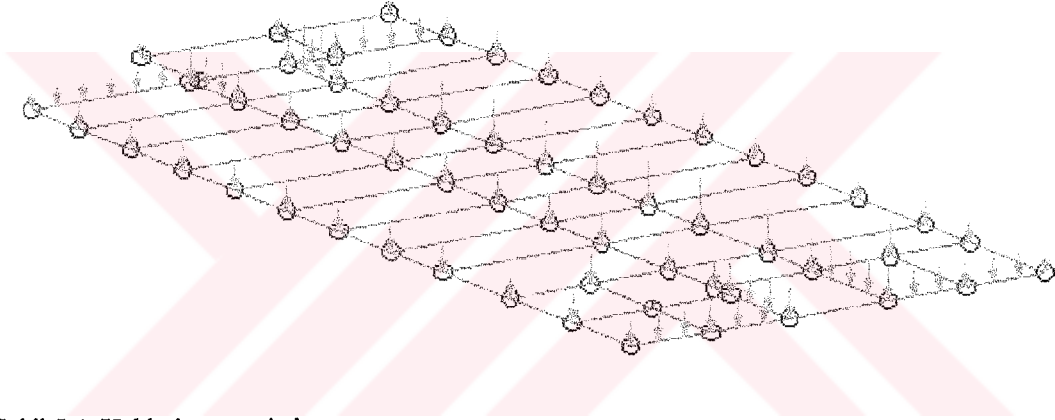
Şekil 5.2.a: Üç boyutlu global eksen takımı ve çubuk elemanda lokal eksenler, b: BMS3 kiriş elemanı, c: shell elemanlar

TTS3 üç düğümlü, QTS4 dört düğümlü geometrik özellikleri sabit olan yüzey ( shell) elemanlardır. Her bir düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi (  $u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$  ) olup düğüm noktaları  $x, y, z$  global eksenlerine göre tanımlanırlar. TTS3 ve QTS4 thick shell elemanlarında da kayma etkileri gözönüne alınmaktadır.



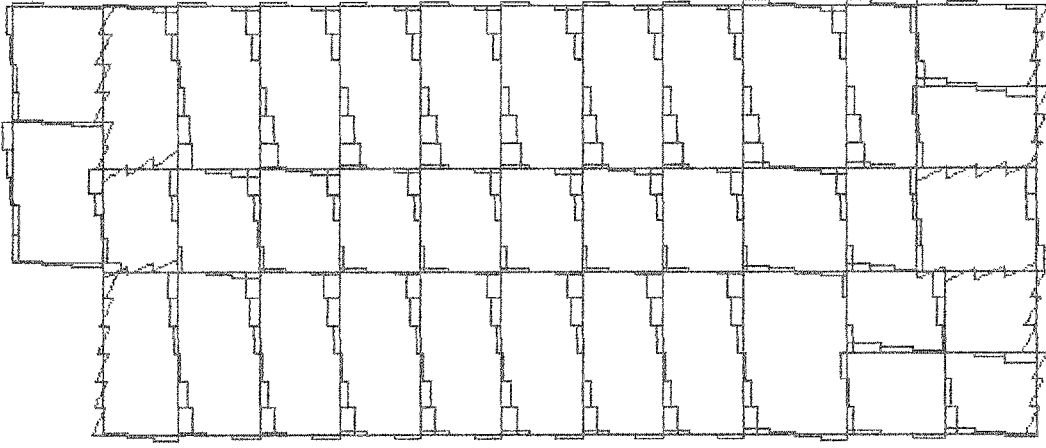
Şekil 5.3.a: Kirişler, b: temel plağının sonlu eleman ağı şeklinde gösterimi c: düğüm noktaları ve sonlu eleman ağı

Sayısal örnekte betonarme elastisite modülü  $326,2 \cdot 10^4 \text{ t / m}^2$ , poisson oranı 0,15 alınmıştır. Zemin ise yatak katsayısı ile tanımlanmış ve  $k_s = 1656,98 \text{ t / m}^3$  alınmıştır. Bu değer arazide yapılan plaka taşıma deneyi sonuçlarından elde edilmiştir. Kirişler BMS3 çubuk ( thick beam ) eleman ile, yayılı temel plağı ise TTS3 ( üçgen ) ve QTS4 ( dörtgen ) yüzey ( thick shell ) elemanlarıyla tanımlanmıştır. Kolon yükleri tekil yük olarak tanımlanmış; betonarme perde yükleri ise üzerinde buldukları kirişlere yayılı yük olarak dağıtılmıştır ( şekil 5.4 ). Bu yükler geleneksel yöntem sonuçlarından alınmış olup üst yapı etkisi gözönüne alınmamıştır. Hesap sadece düşey normal kuvvetler için yapılmış olup deprem durumu incelenmemiştir.

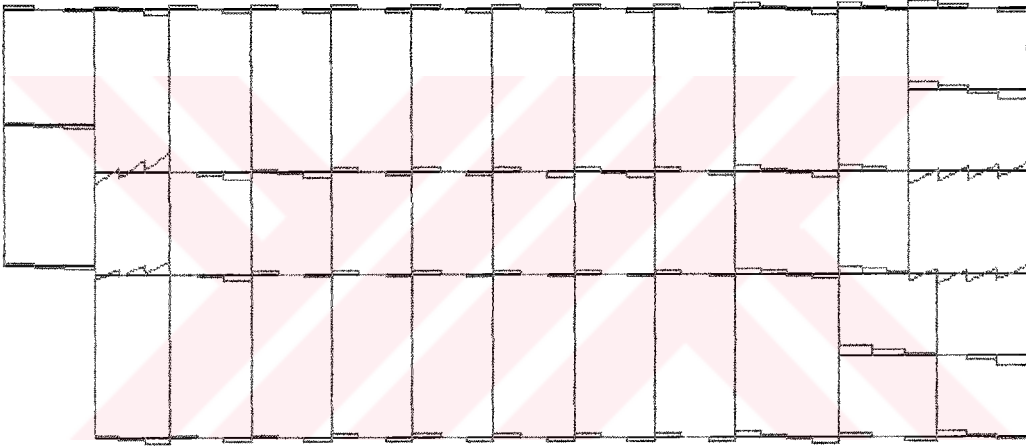


Şekil 5.4: Yüklerin gösterimi

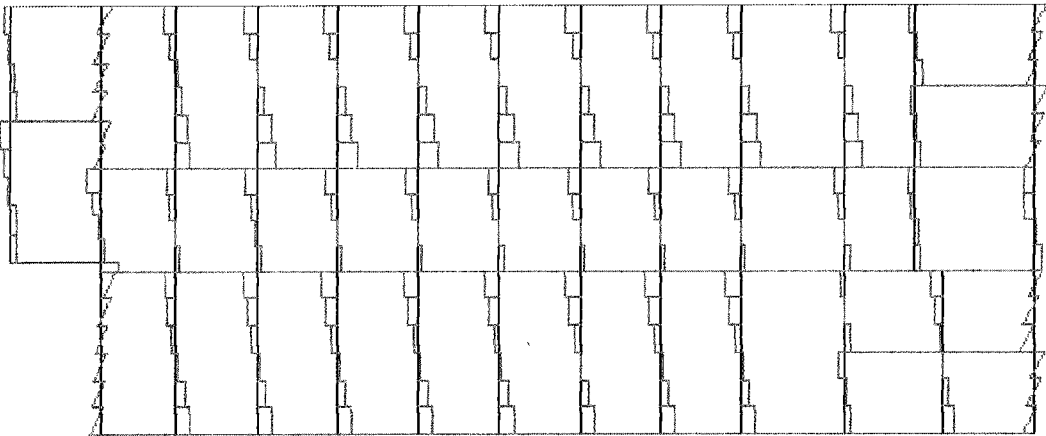
Sonuçlar, sayısal değerlerin üzerinde gözüktüğü şekillerle sunulmuştur. Kiriş sonuçlarının verildiği şekillerin ilk bölümünde Lusas paket programından elde edilen kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları çizilmiş; ikinci bölümünde ise Lusas paket programı ve Adapazarı'nda yaygın olarak kullanılan metodun sonuçları karşılıklı değerleriyle grafikler halinde sunulmuştur.



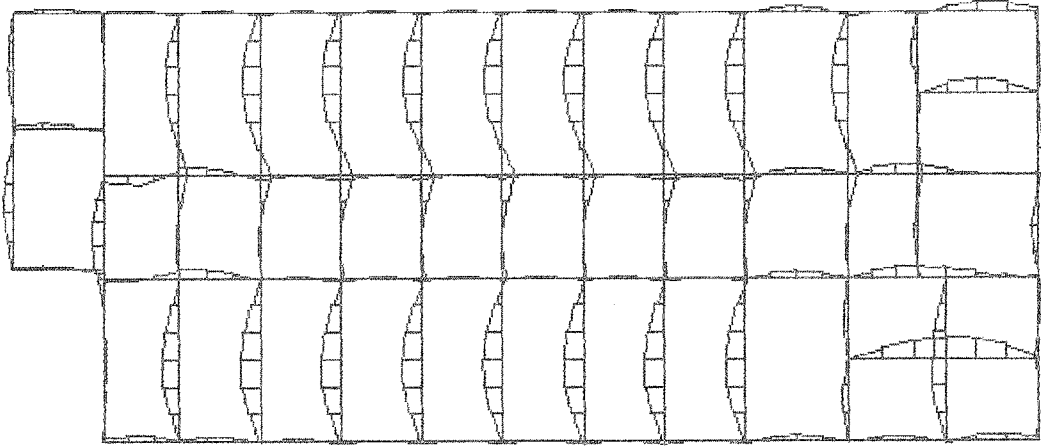
Şekil 5.5: Kirişlerde kesme kuvveti diyagramları



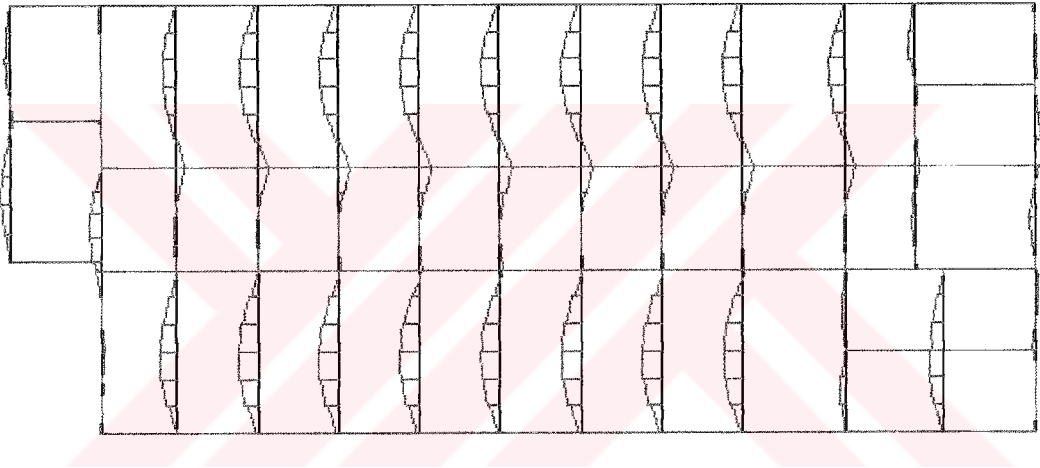
Şekil 5.6: Kısa boyuttaki kirişlerde kesme kuvveti diyagramları ( $F_y$ )



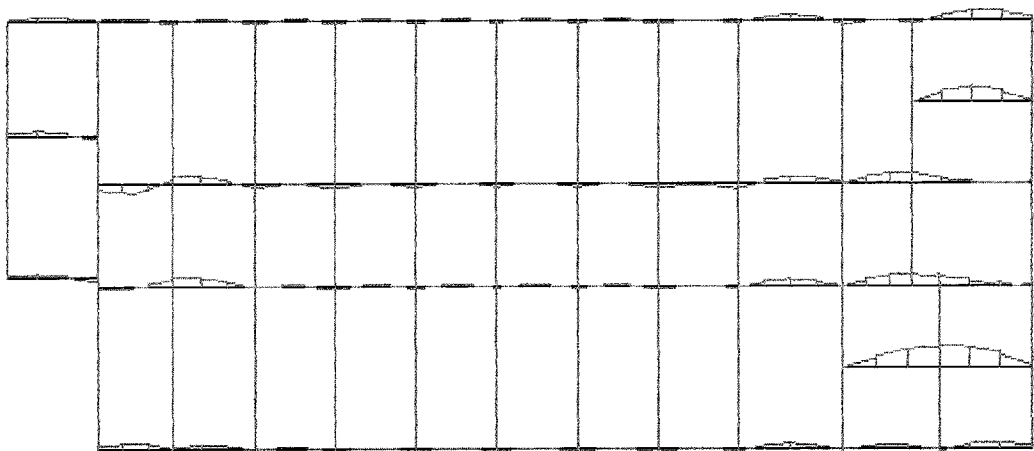
Şekil 5.7: Uzun boyuttaki kirişlerde kesme kuvveti diyagramları ( $F_z$ )



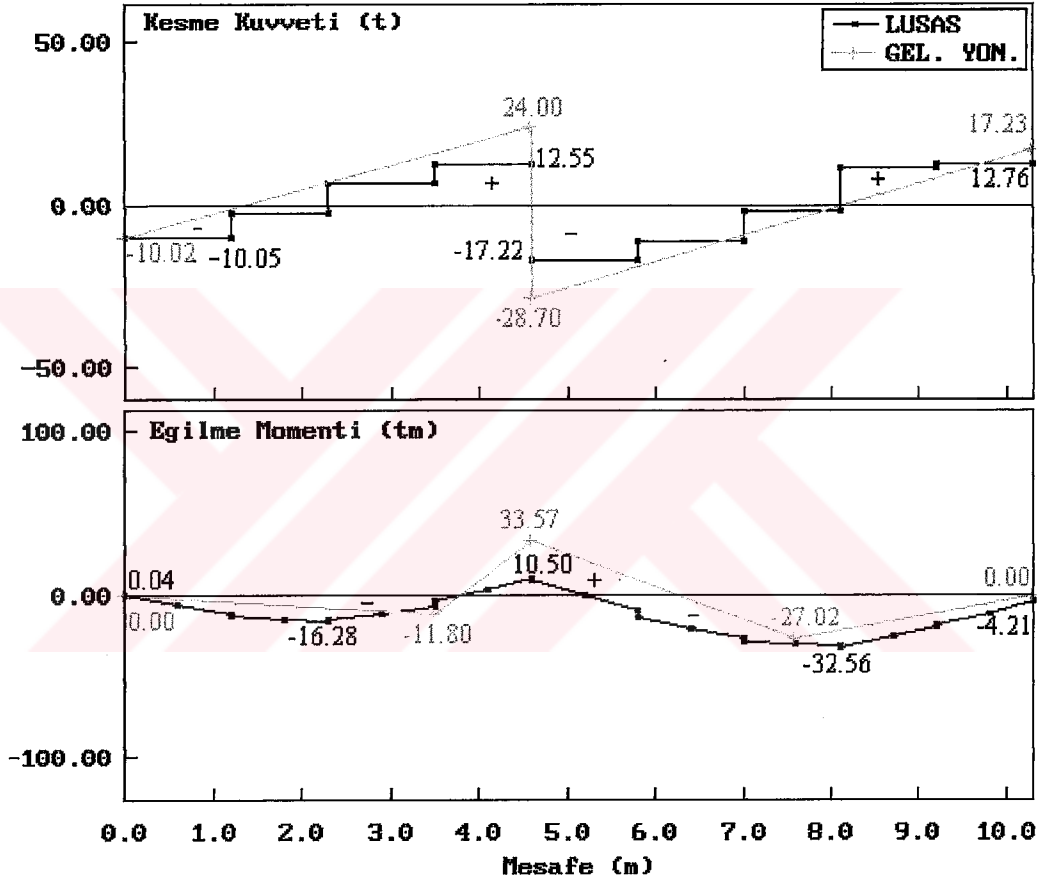
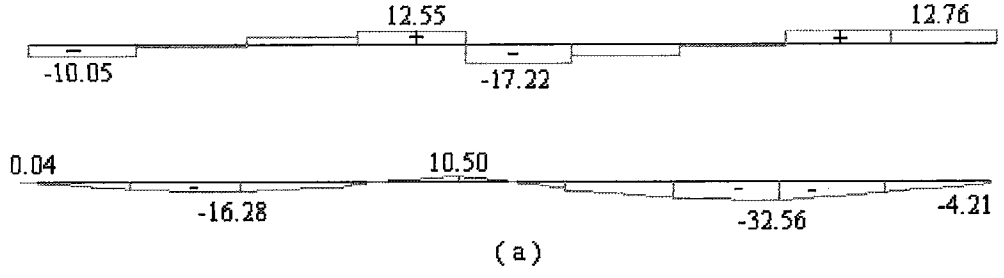
Şekil 5.8: Kirişlerde eğilme momenti diyagramları



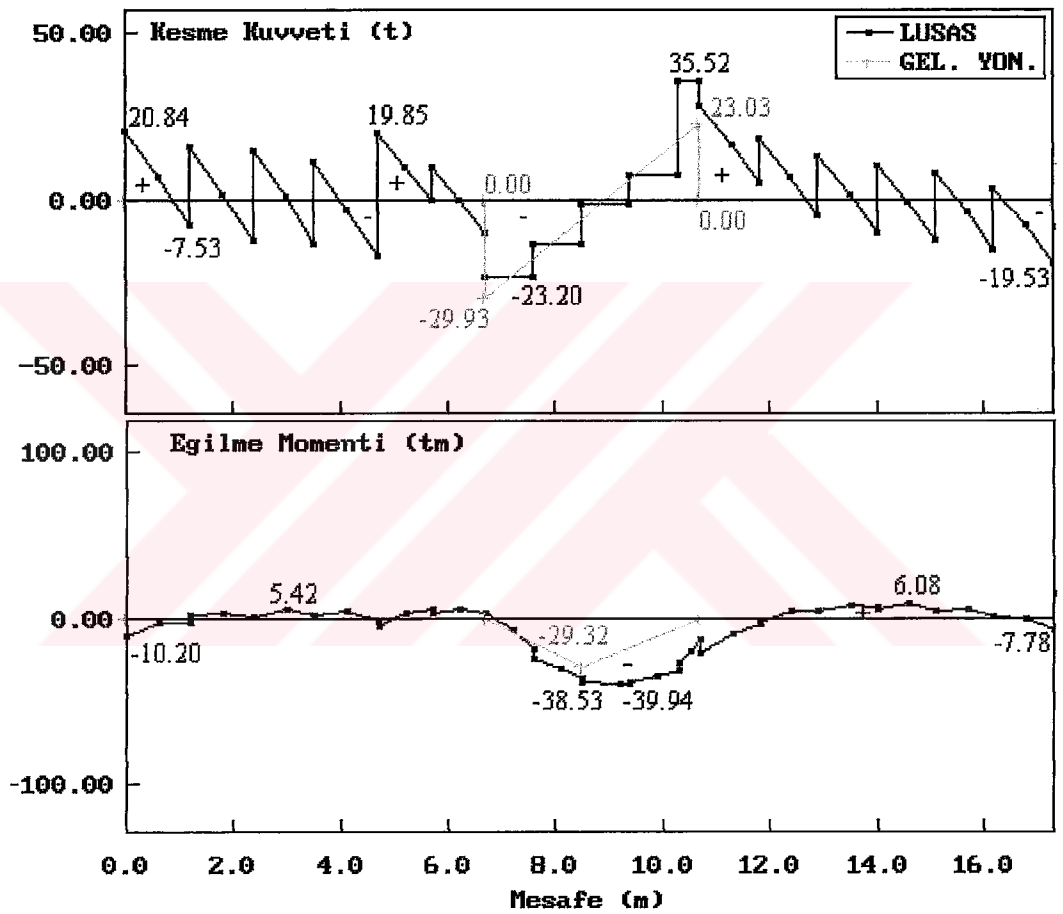
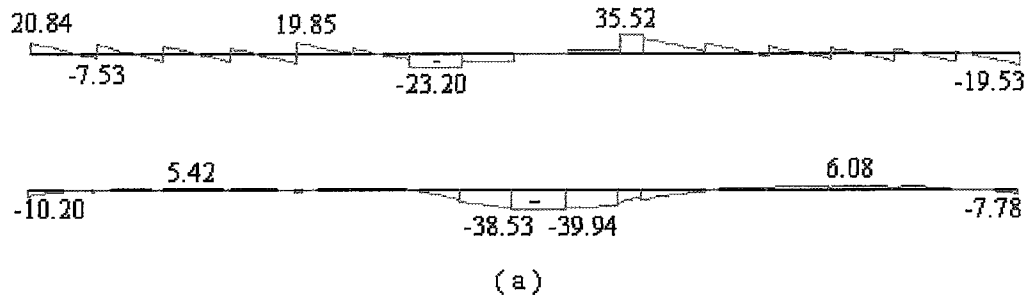
Şekil 5.9: Kısa boyuttaki kirişlerde eğilme momenti diyagramları ( $M_y$ )



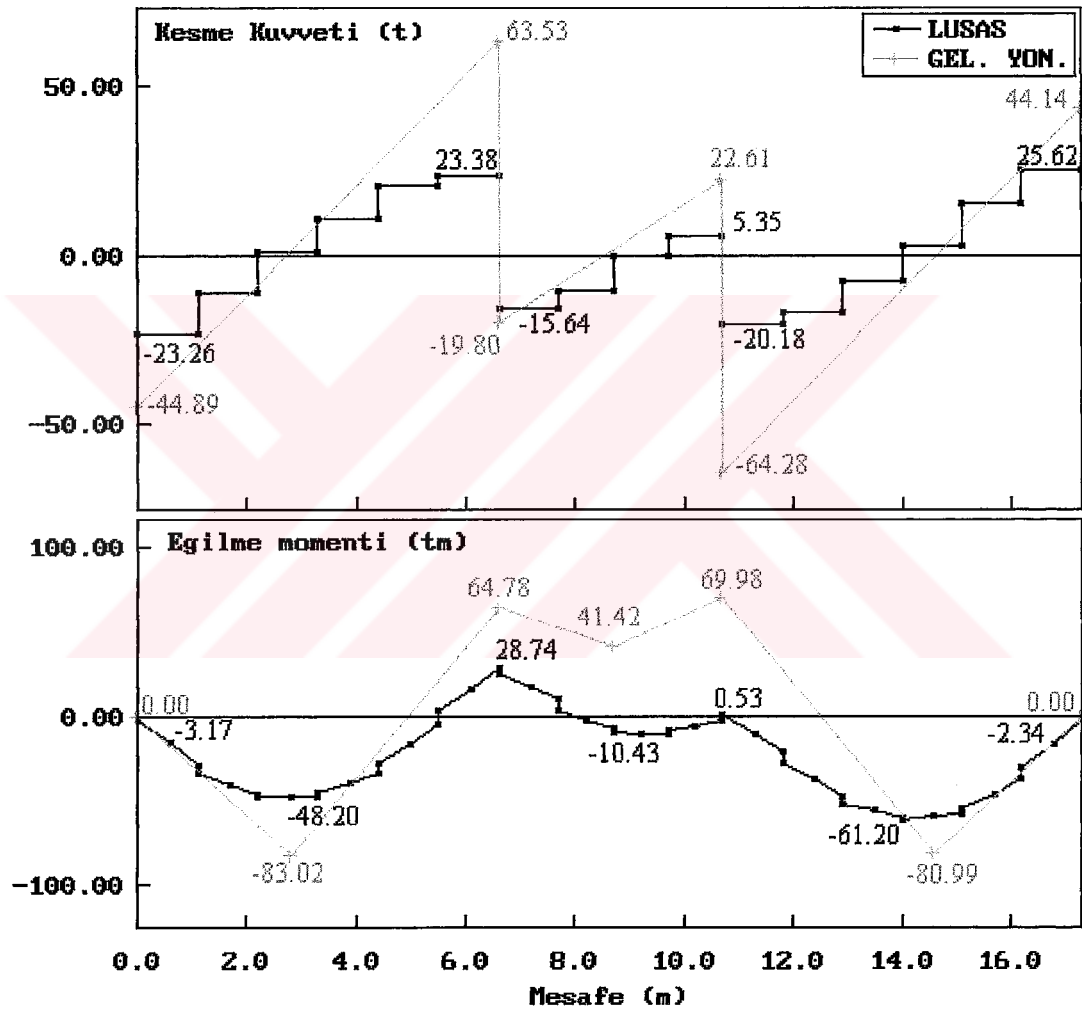
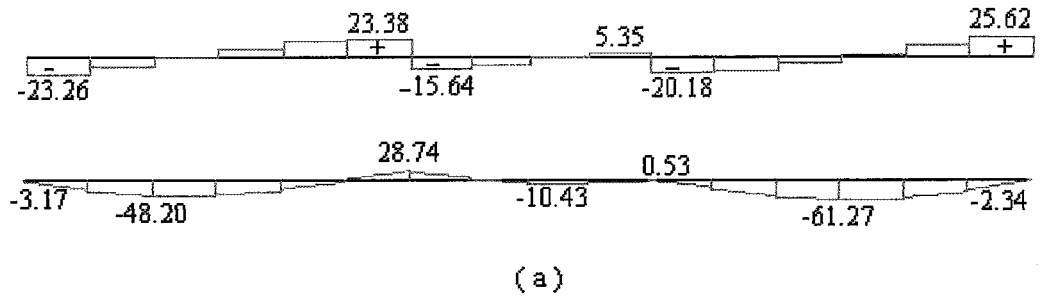
Şekil 5.10: Uzun boyuttaki kirişlerde eğilme momenti diyagramları ( $M_z$ )



Şekil 5.11.a: 1-1 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)  
 b: 1-1 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



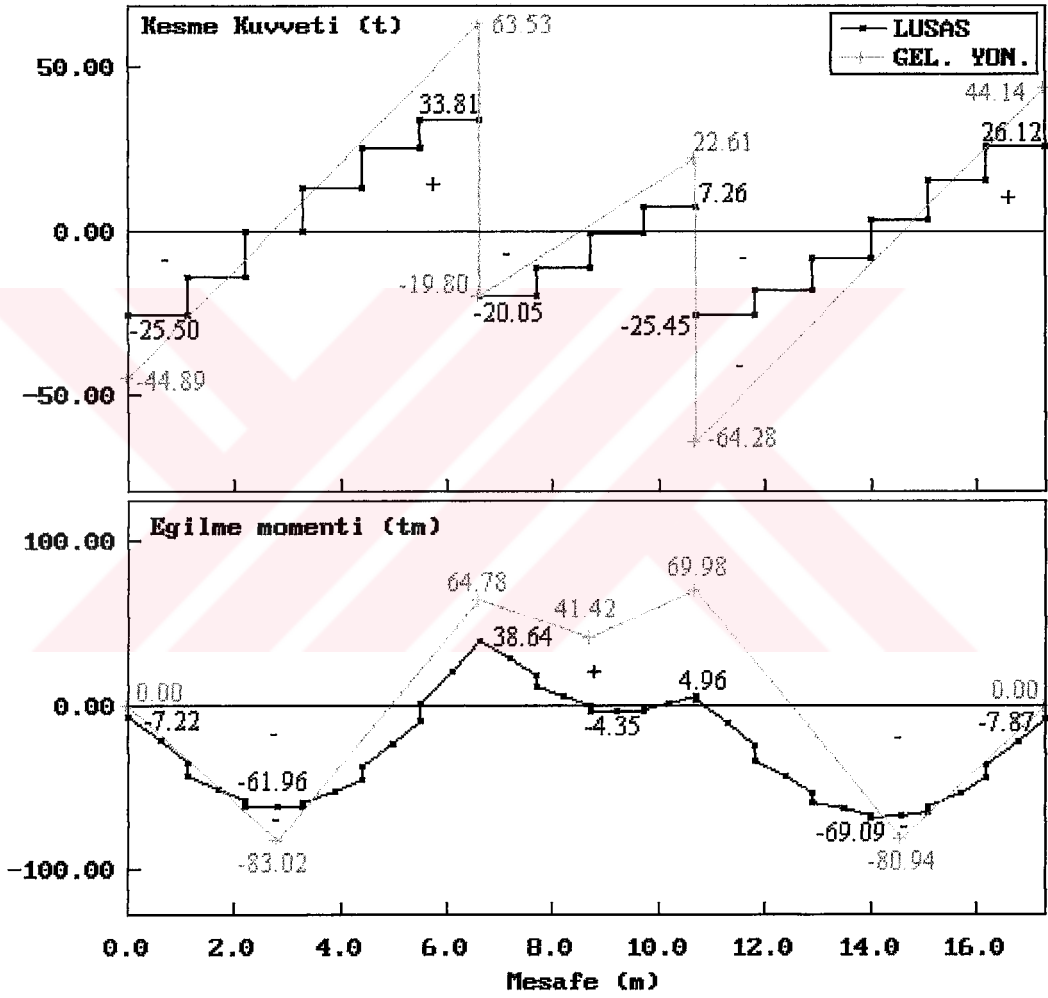
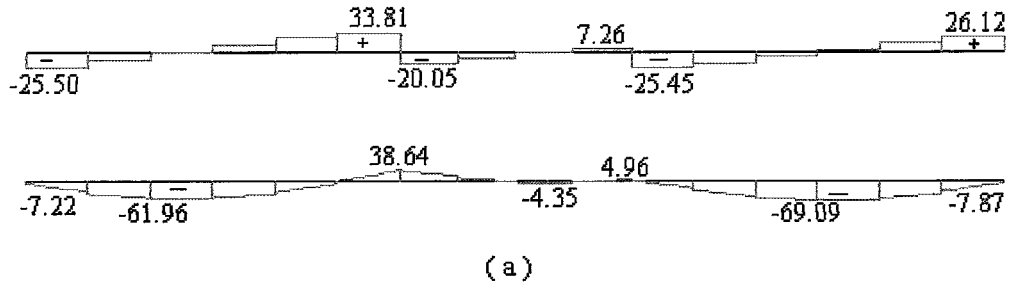
Şekil 5.12.a: 2-2 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)  
 b: 2-2 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



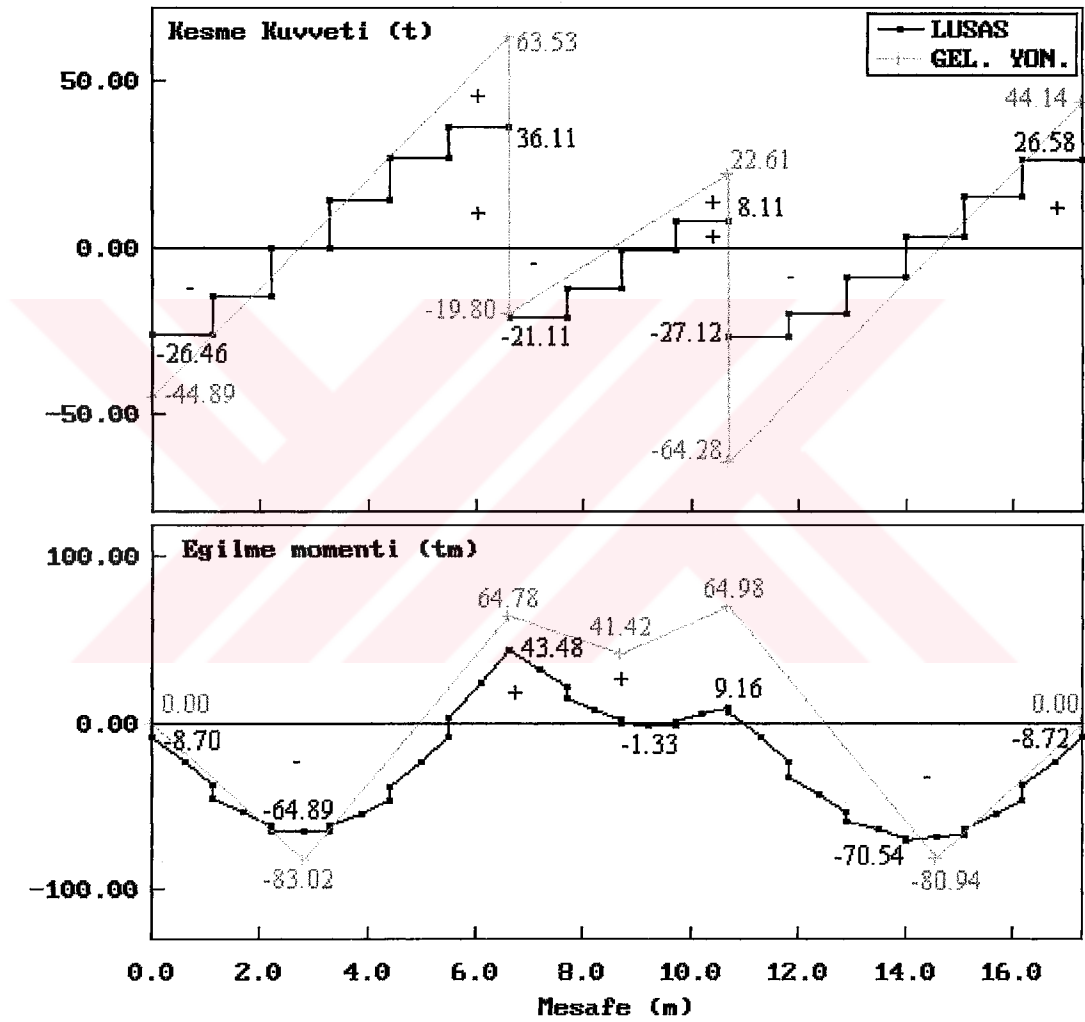
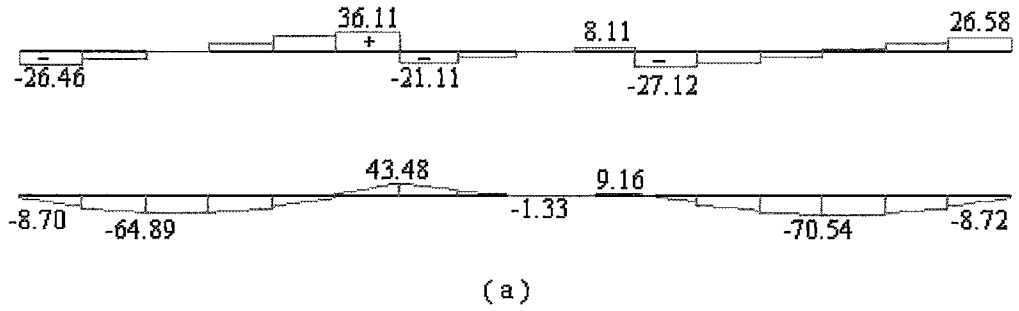
Şekil 5.13.a: 3-3 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: 3-3 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



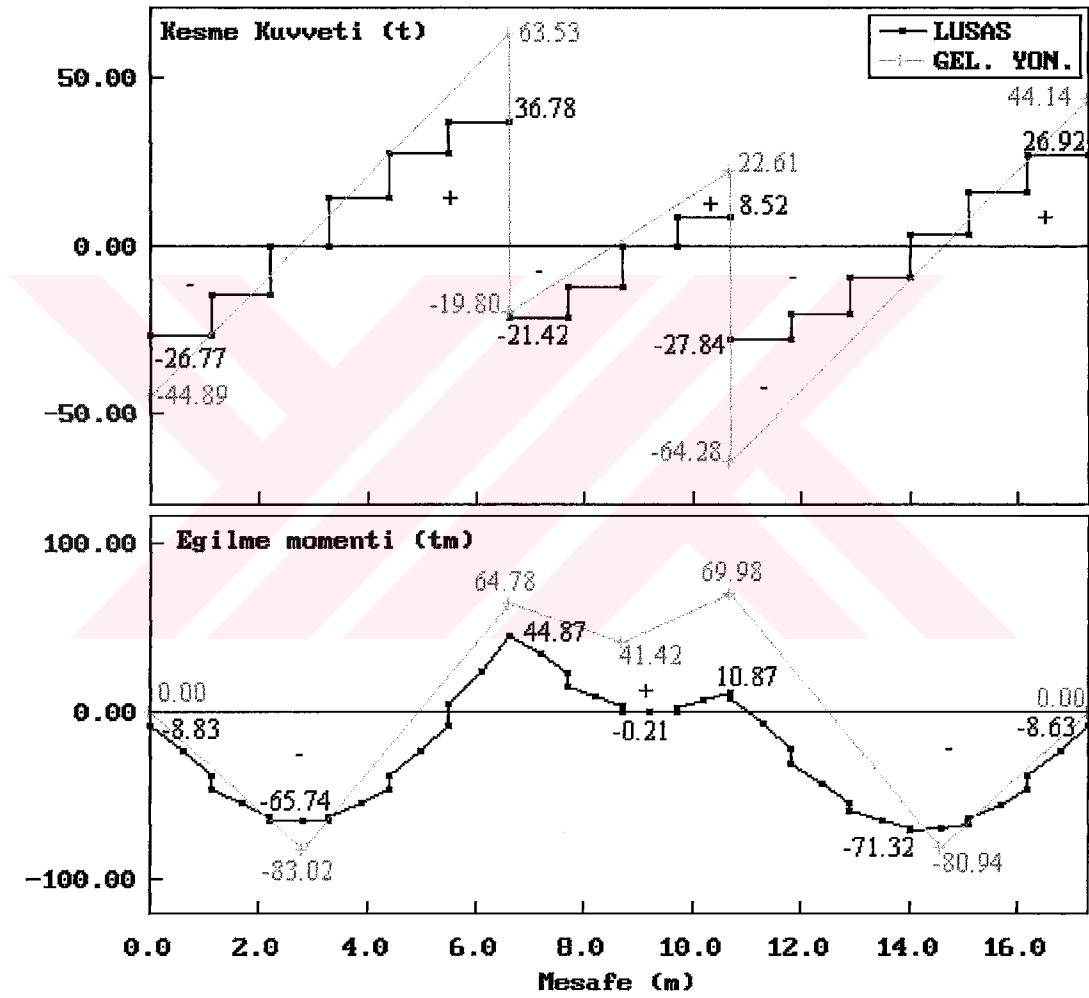
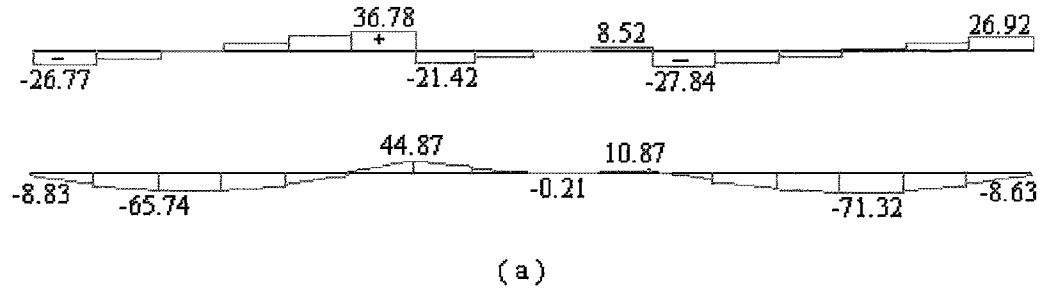


Şekil 5.14.a: 4-4 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)  
 b: 4-4 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi

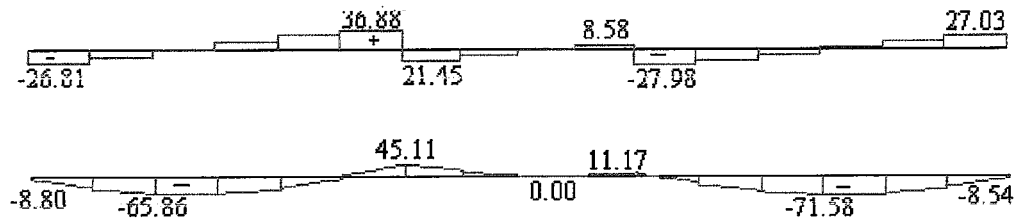


(b)

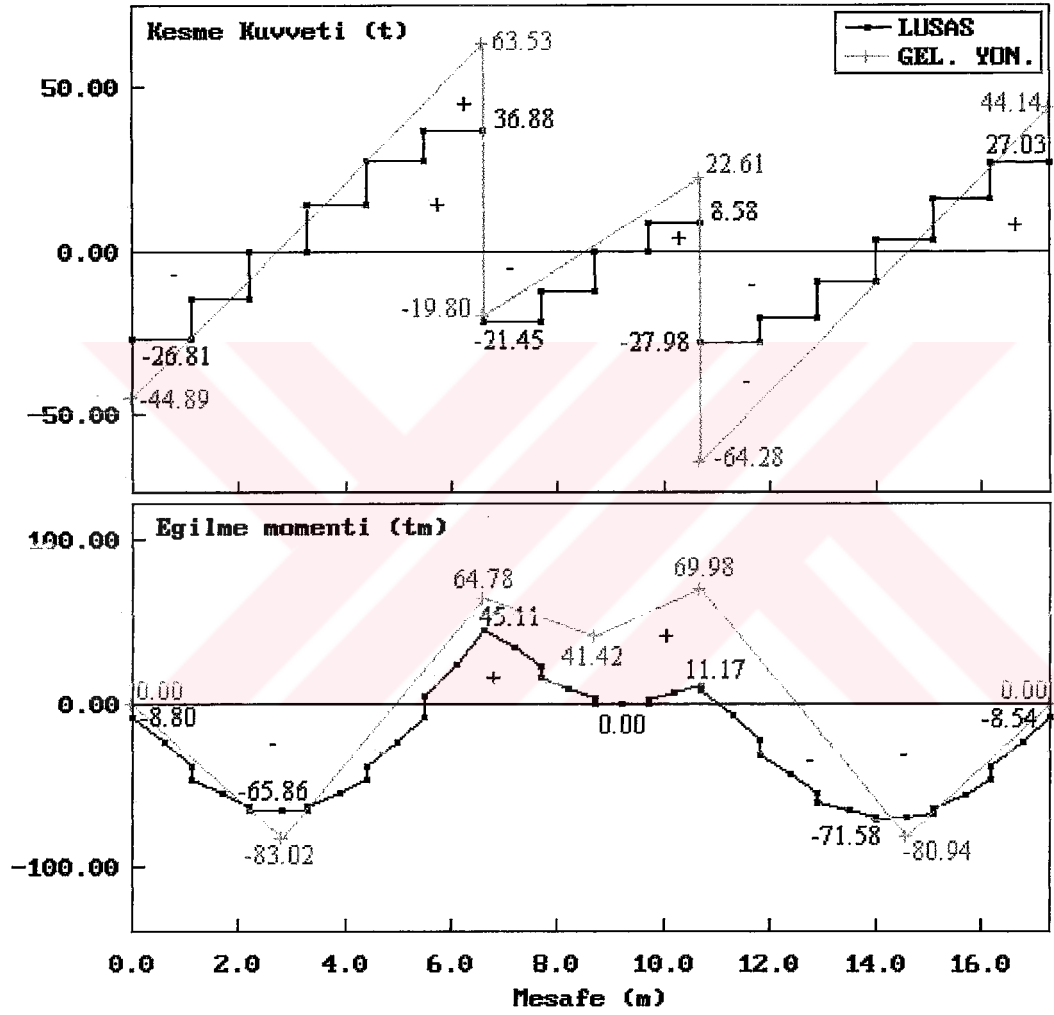
Şekil 5.15.a: 5-5 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)  
 b: 5-5 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



Şekil 5.16.a: 6-6 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )  
 b: 6-6 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



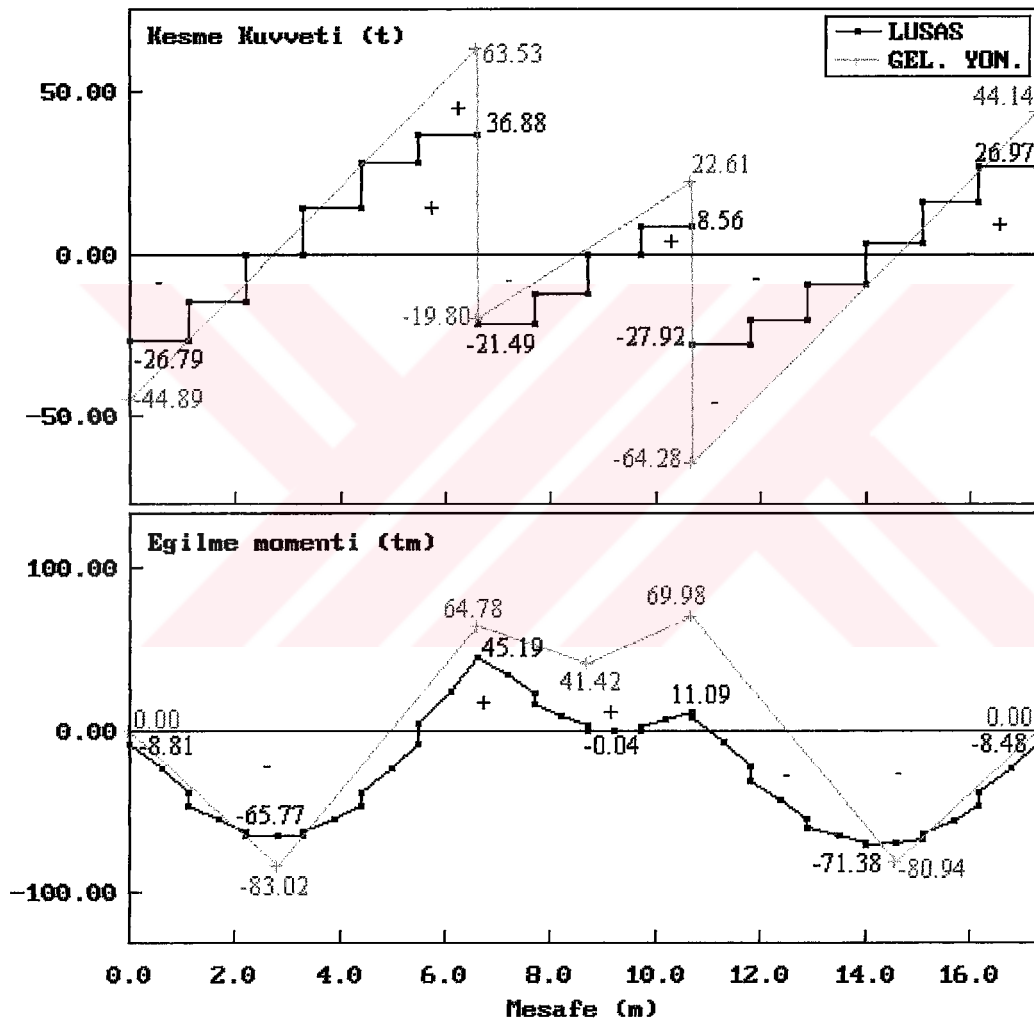
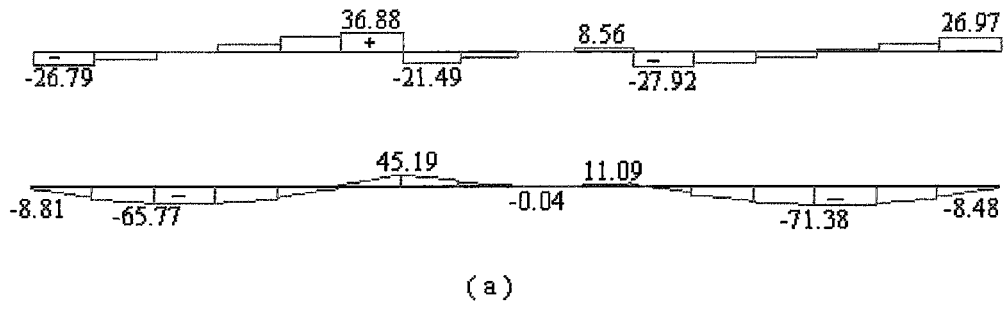
(a)



(b)

Şekil 5.17.a: 7-7 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )

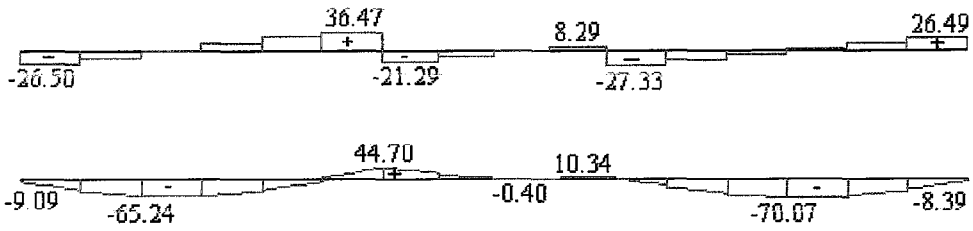
b: 7-7 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



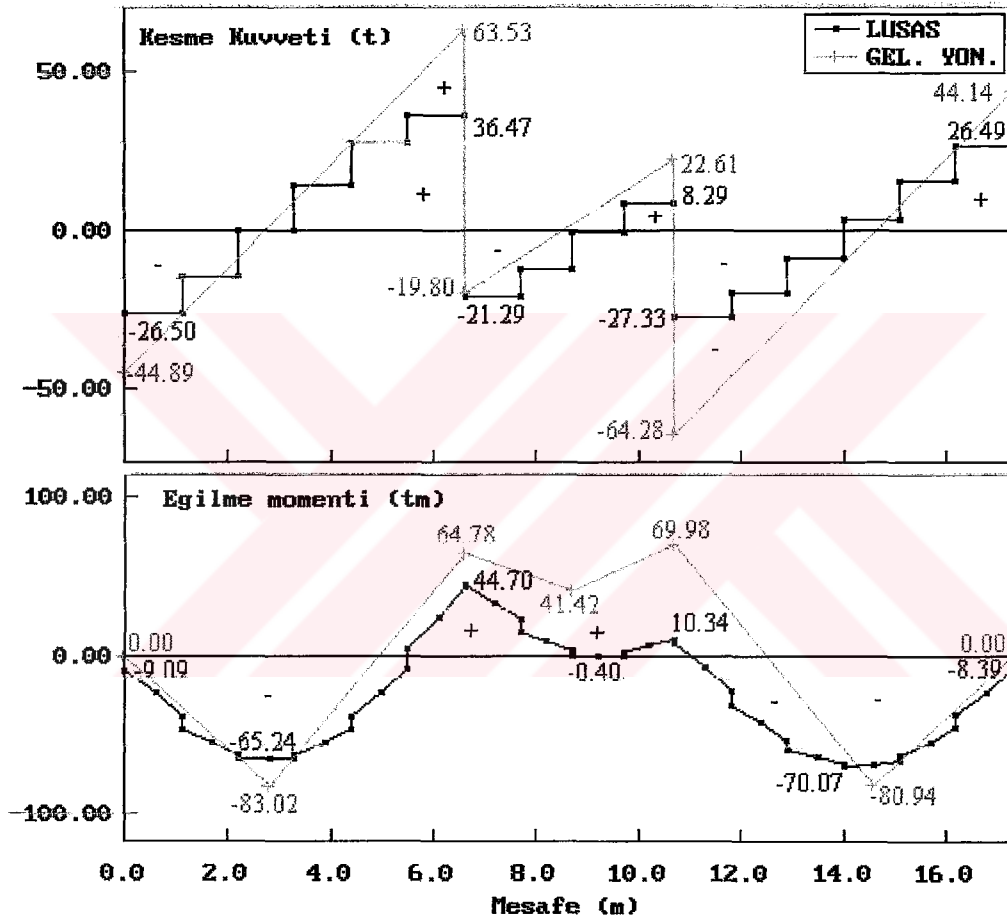
(b)

Şekil 5.18.a: 8-8 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: 8-8 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



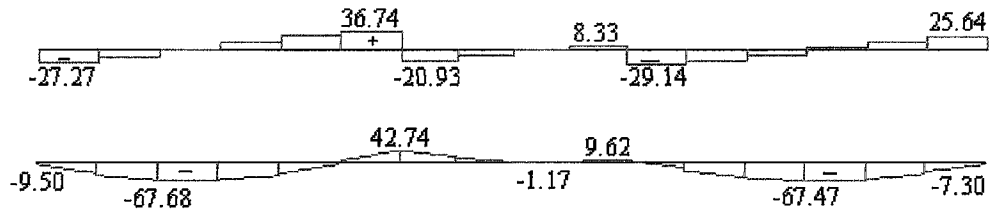
(a)



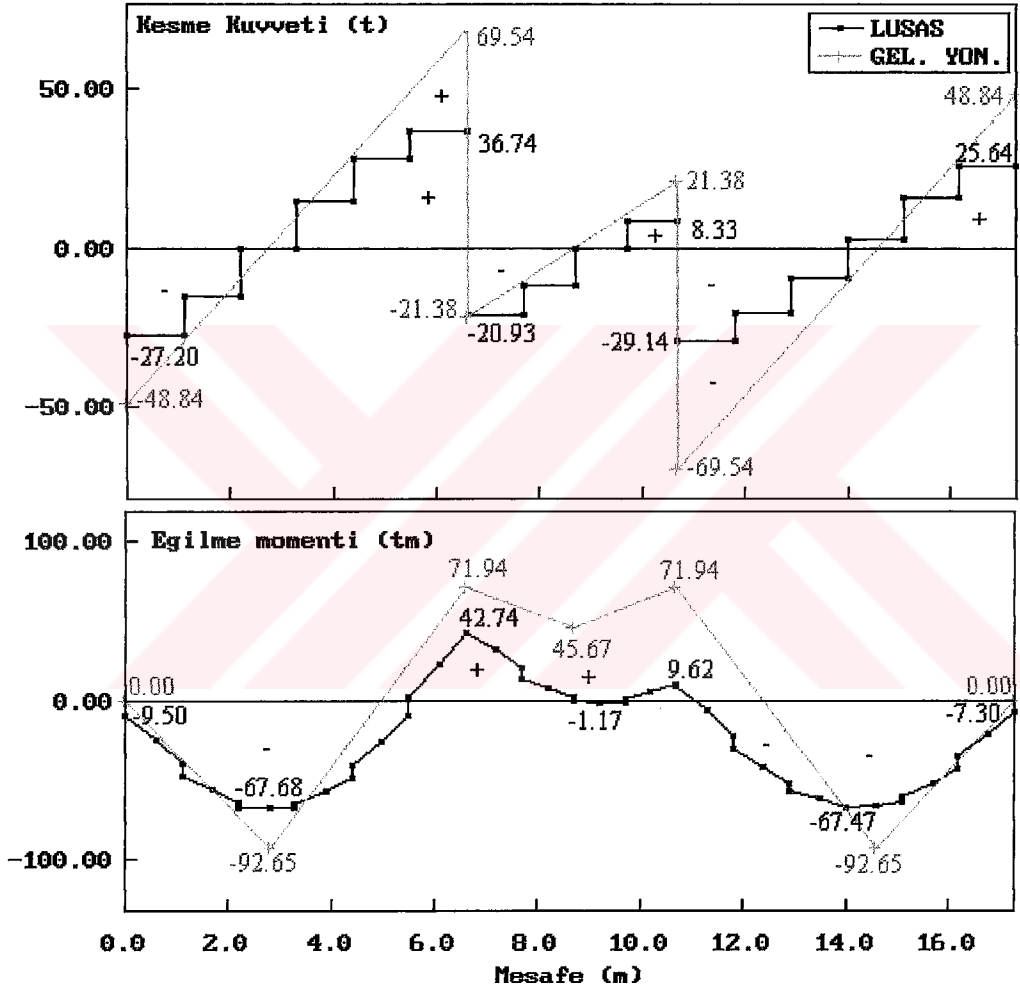
(b)

Şekil 5.19.a: 9-9 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: 9-9 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi

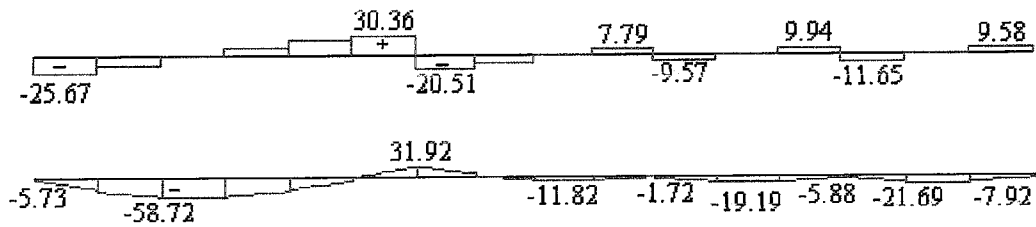


(a)

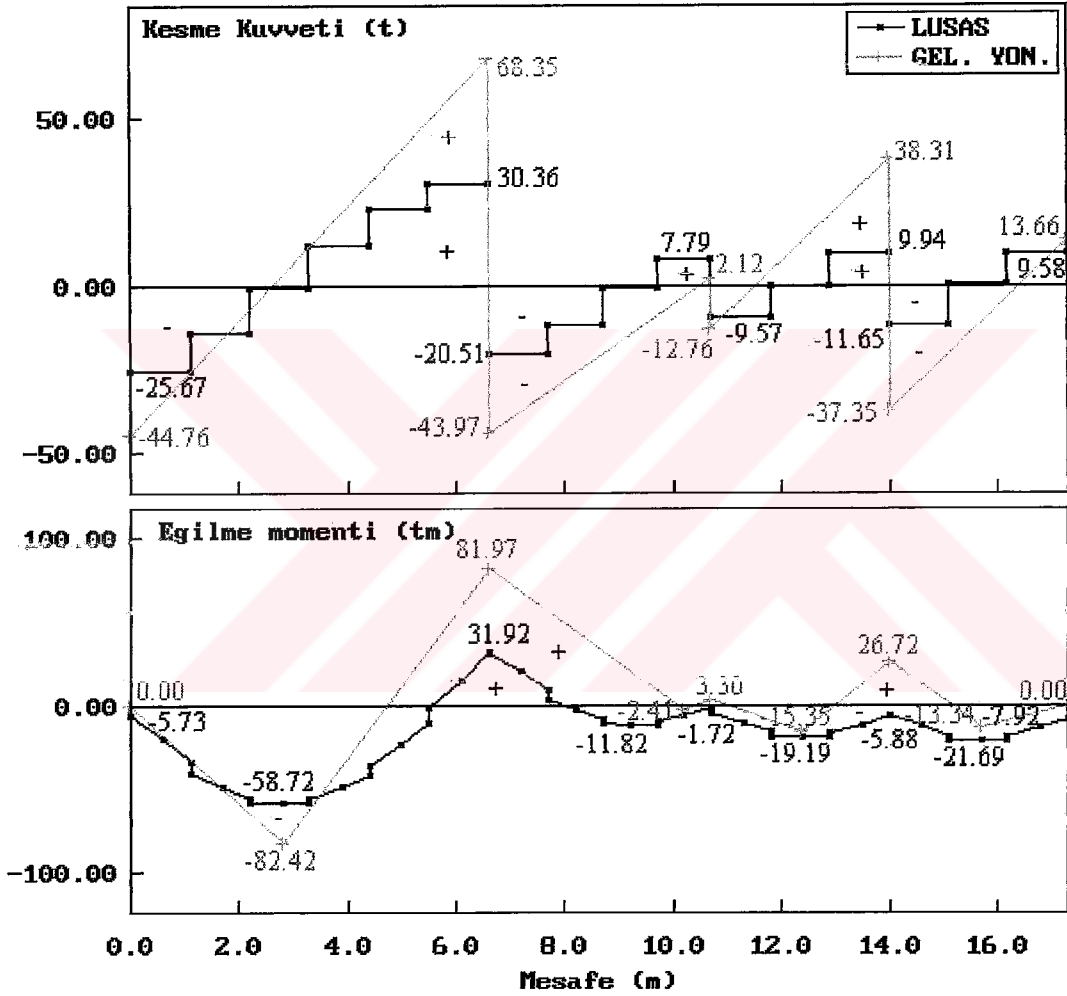


(b)

Şekil 5.20.a: 10-10 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )  
 b: 10-10 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



(a)

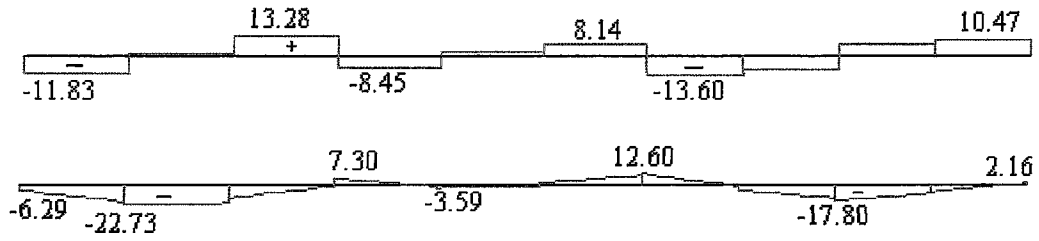


(b)

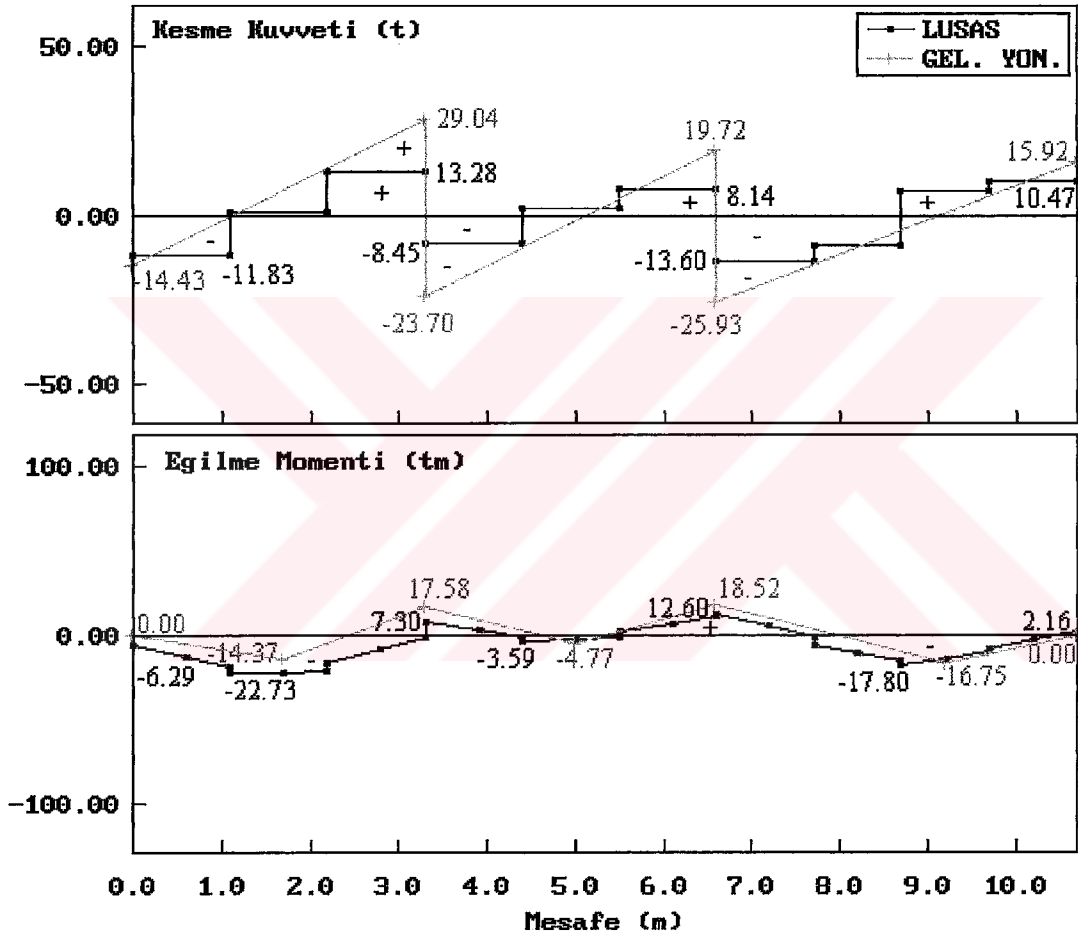
Şekil 5.21.a: 11-11 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: 11-11 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



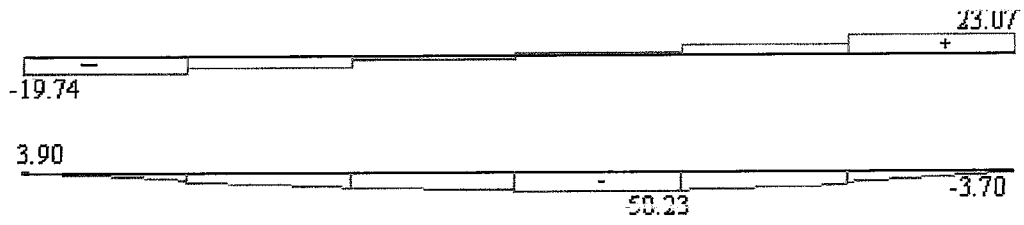


(a)

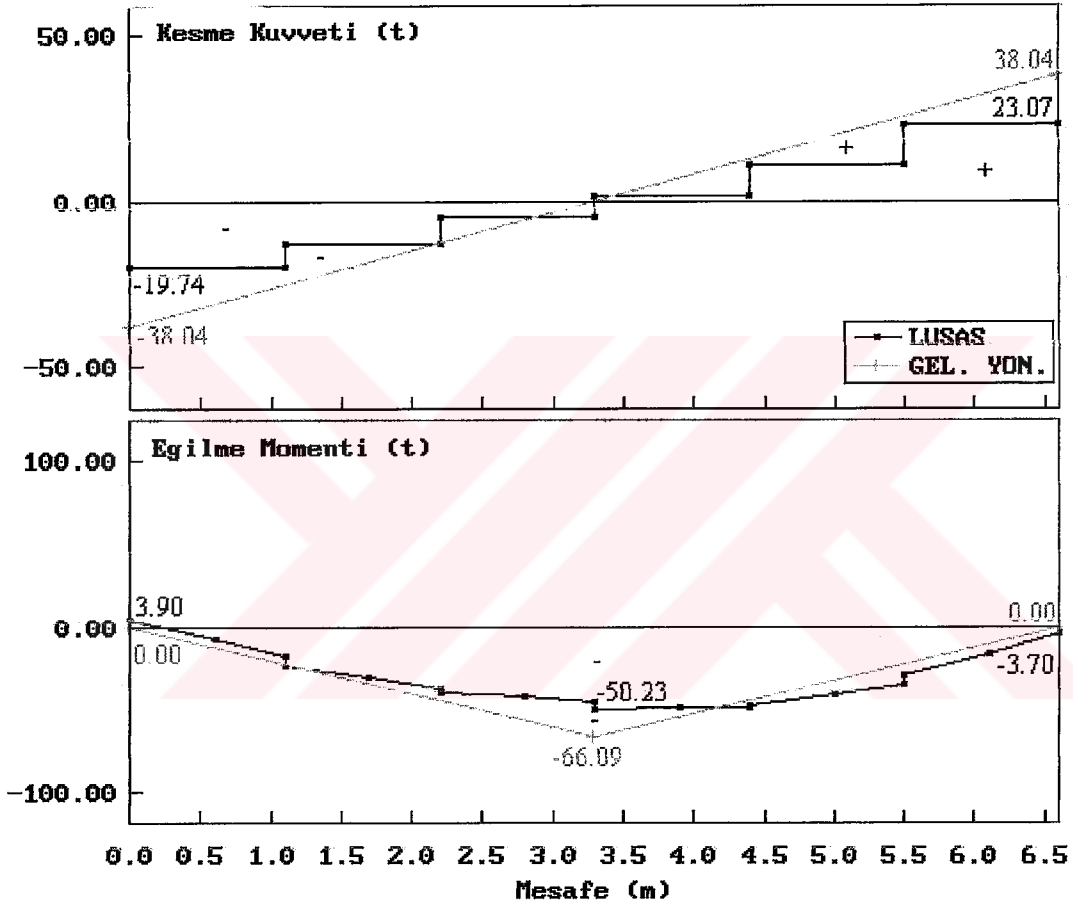


(b)

Şekil 5.22.a: 12-12 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )  
 b: 12-12 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



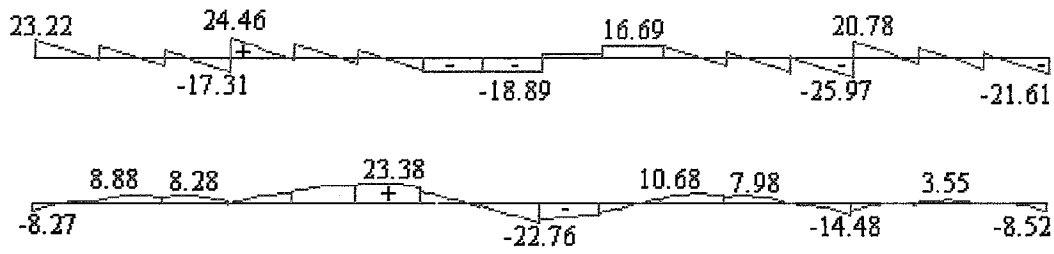
(a)



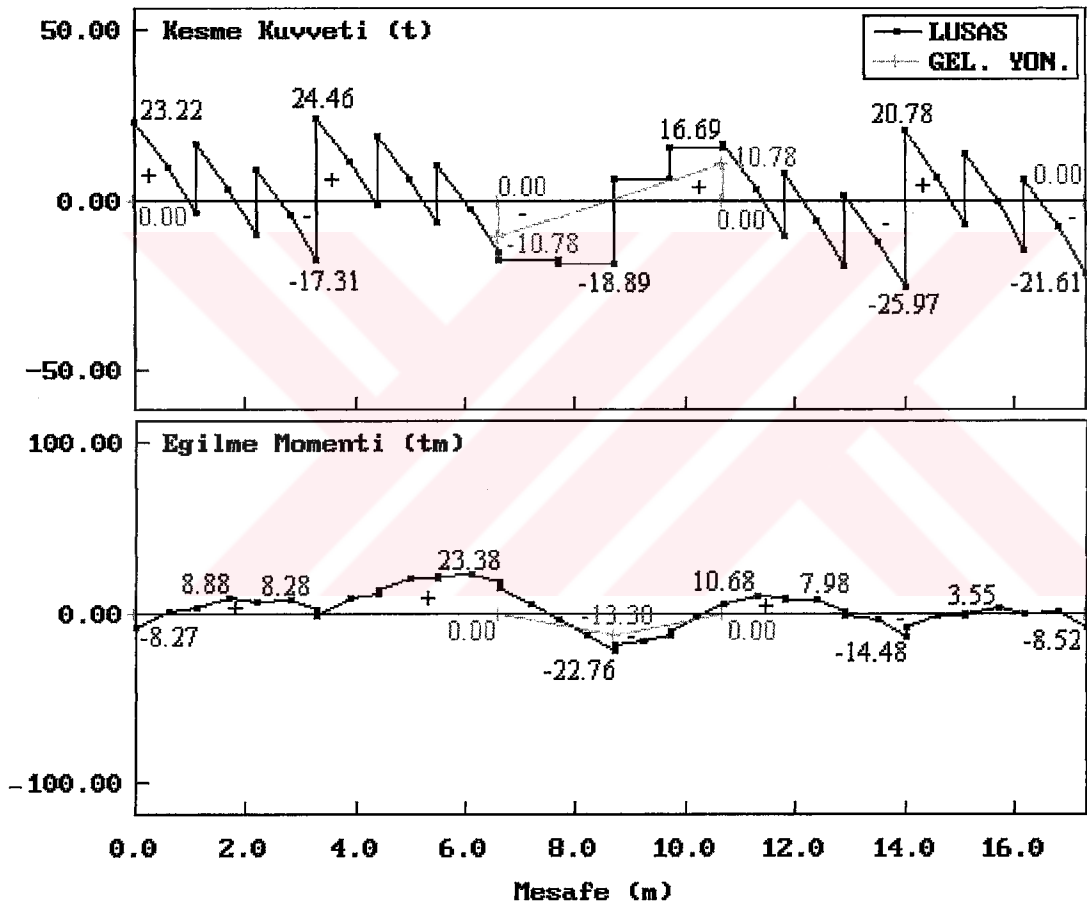
(b)

Şekil 5.23.a: 13-13 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )

b: 13-13 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



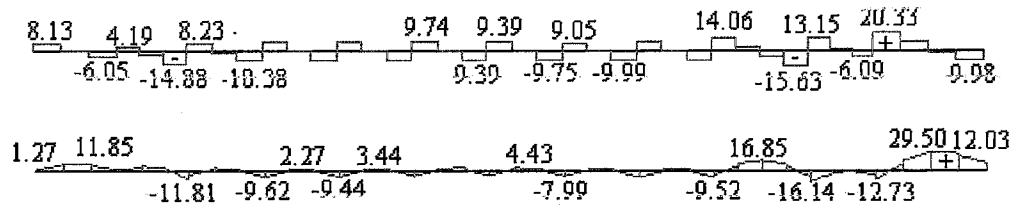
(a)



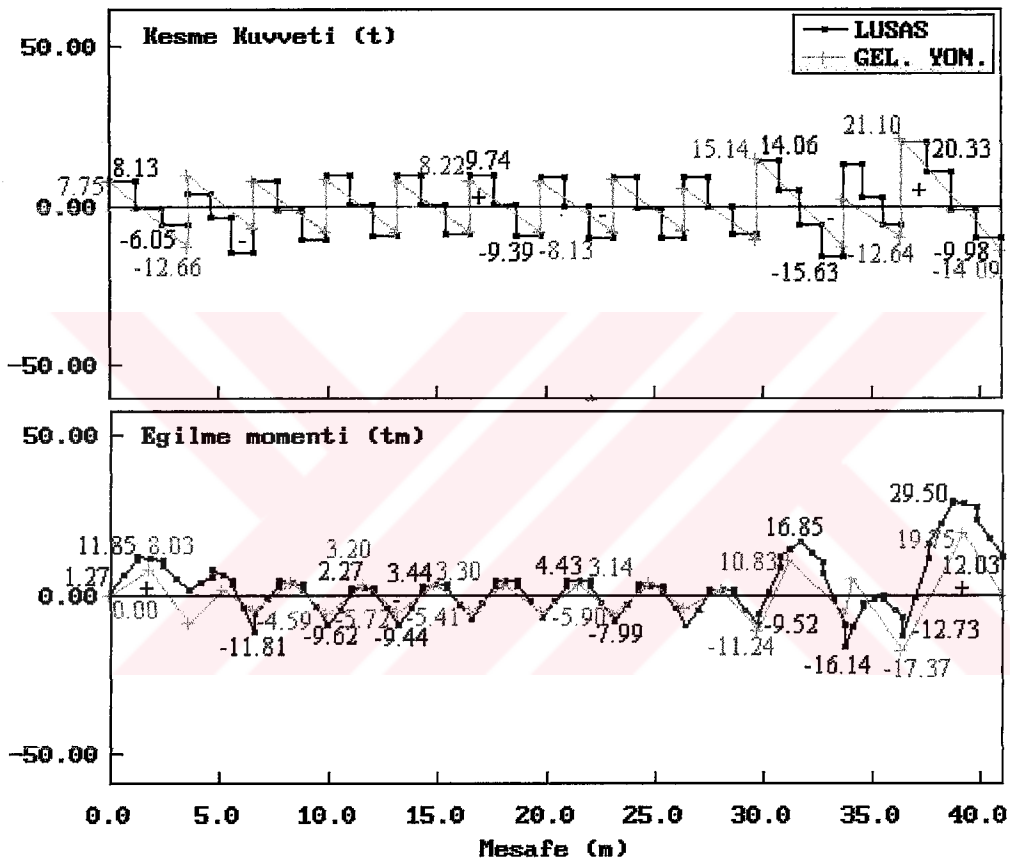
(b)

Şekil 5.24.a: 14-14 Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: 14-14 Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



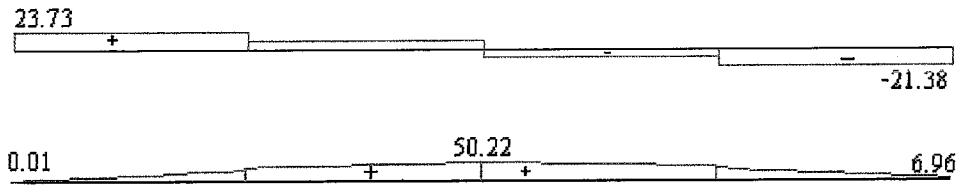
(a)



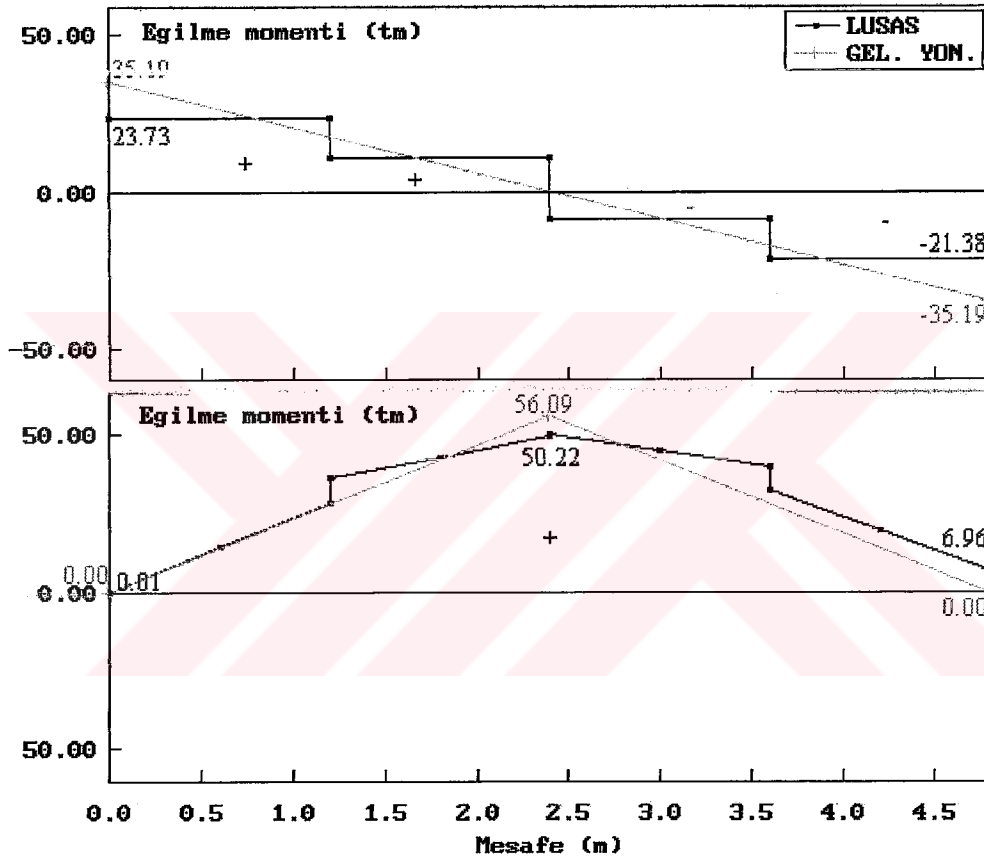
(b)

Şekil 5.25.a: A-A Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )

b: A-A Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi

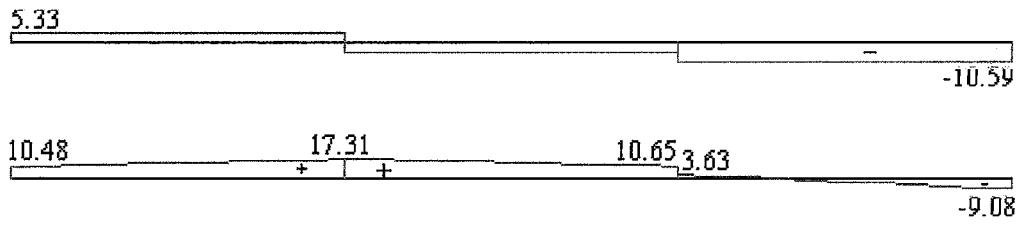


(a)

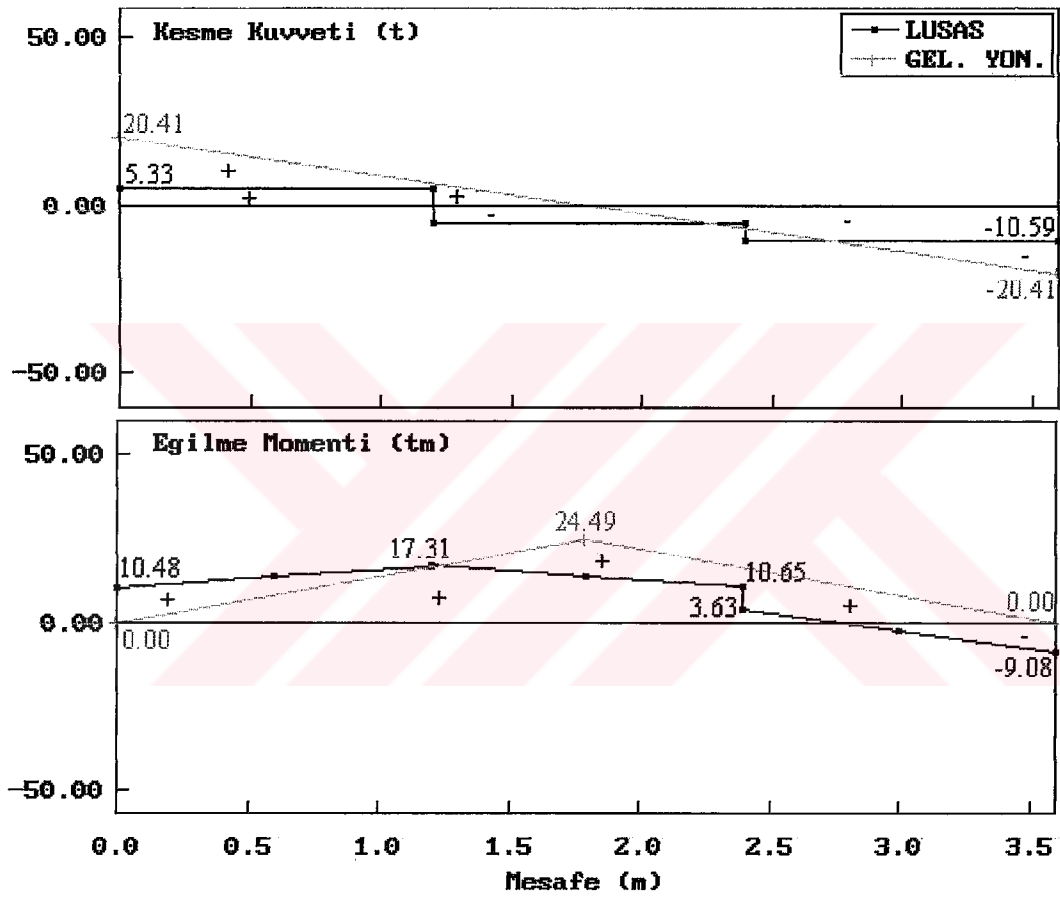


(b)

Şekil 5.26.a: B-B Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )  
 b: B-B Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



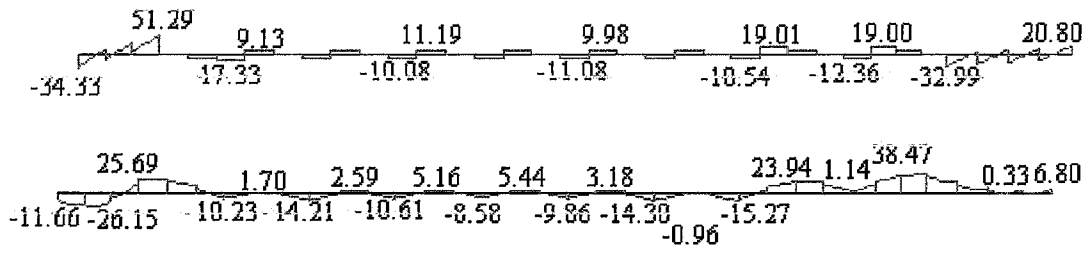
(a)



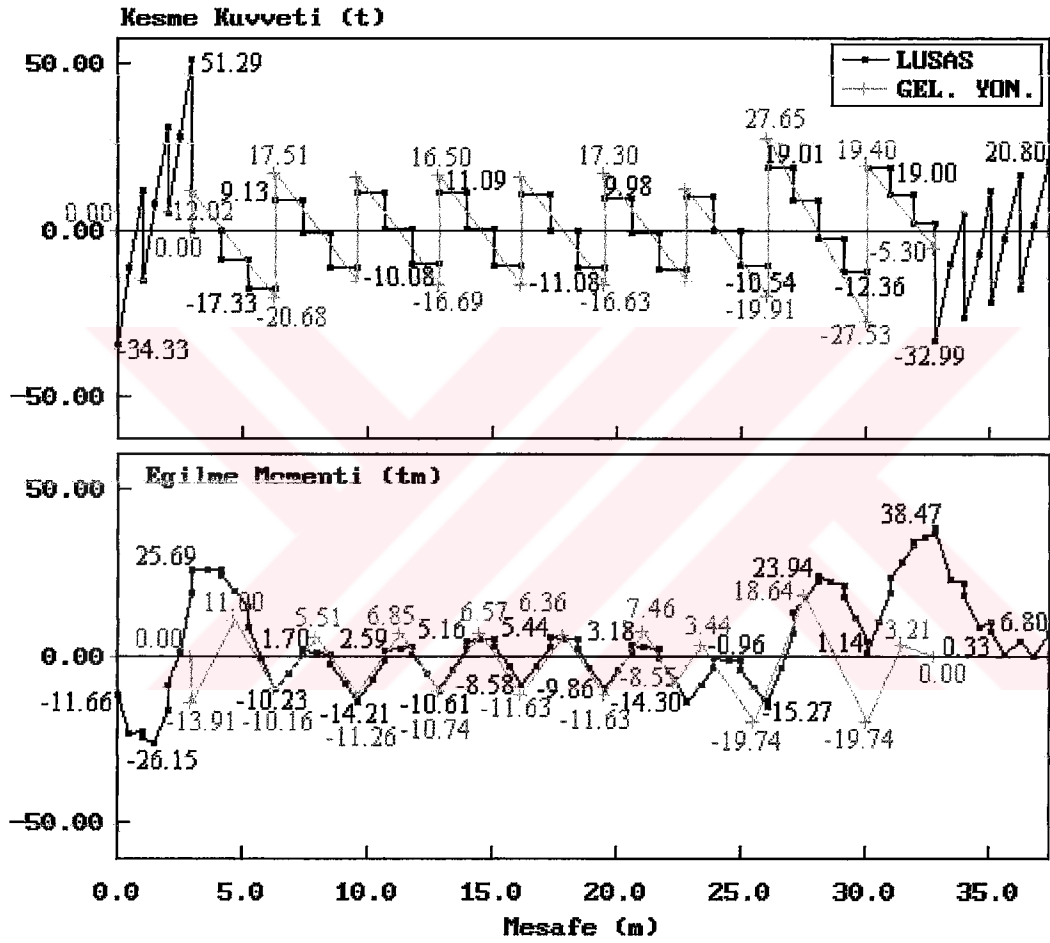
(b)

Şekil 5.27.a: C-C Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları( Lusas )

b: C-C Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



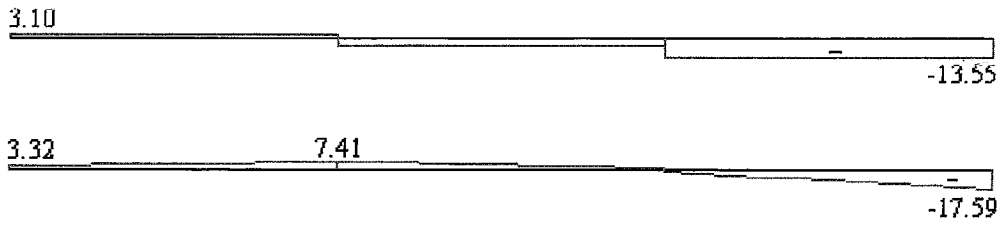
(a)



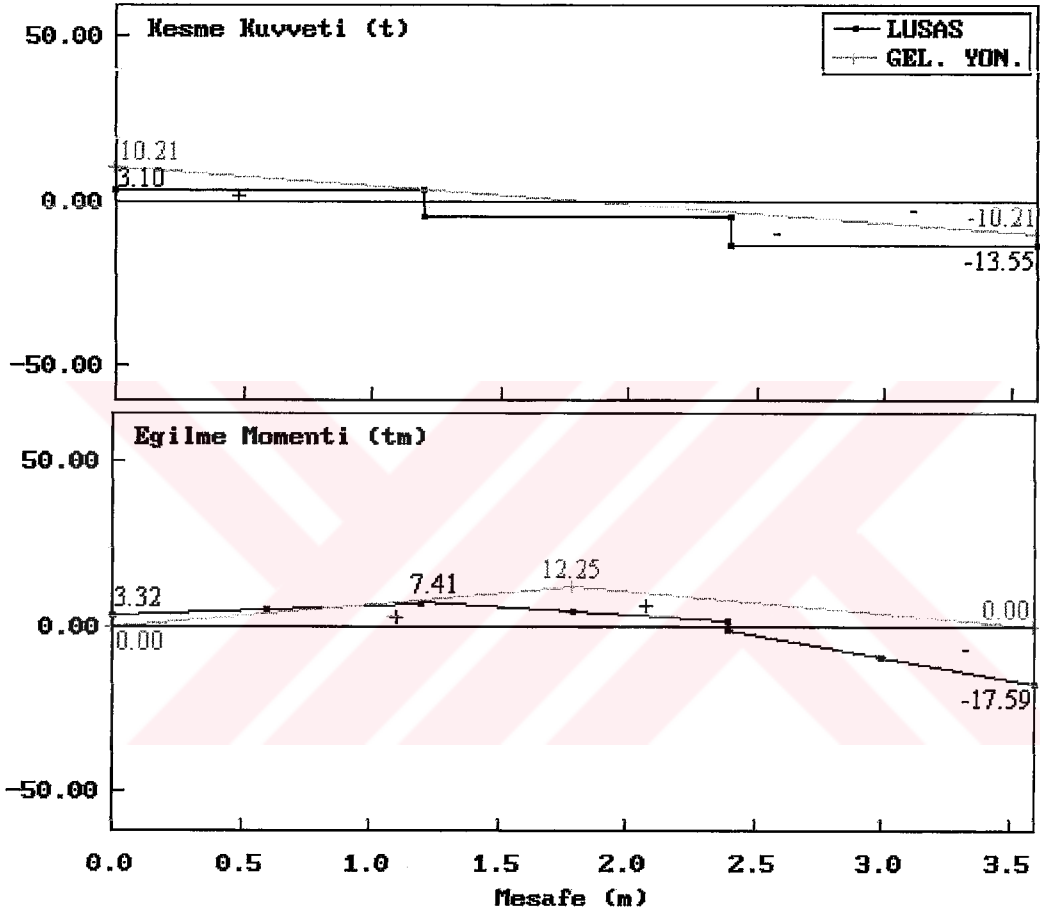
(b)

Şekil 5.28.a: D-D Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )

b: D-D Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



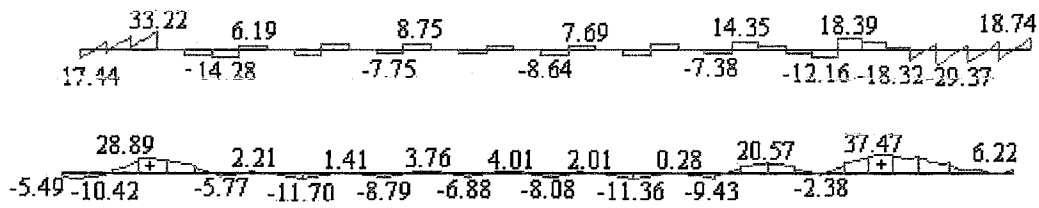
(a)



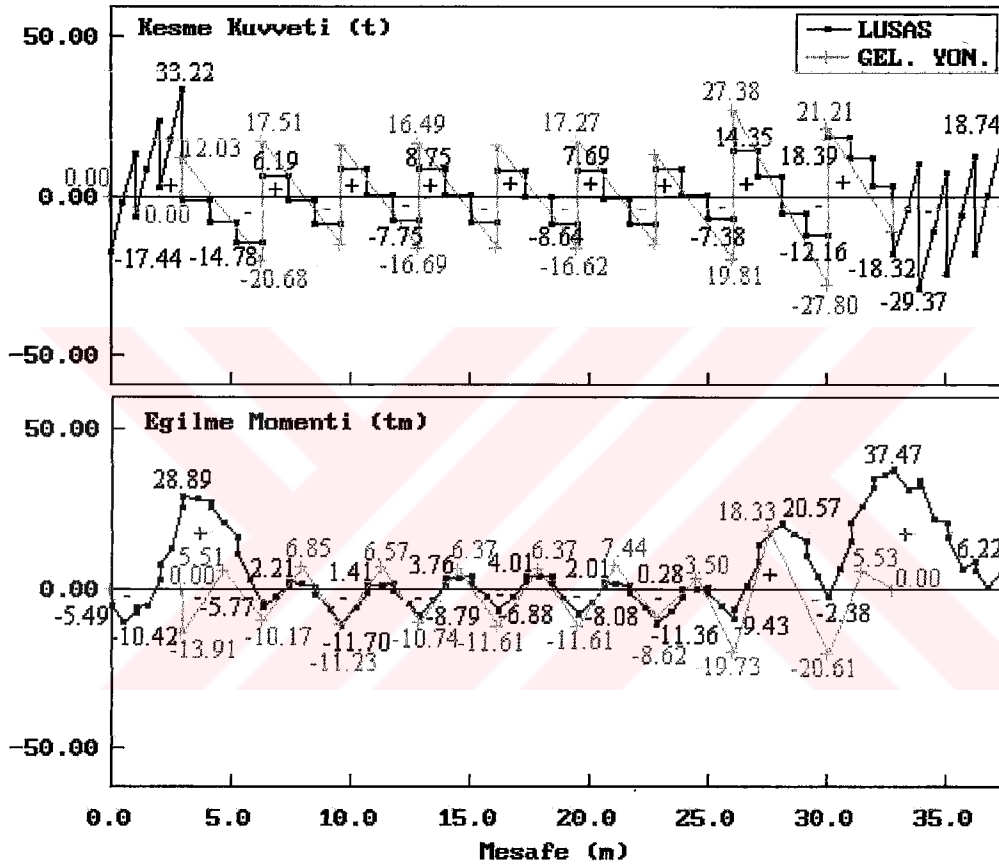
(b)

Şekil 5.29.a: E-E Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)  
 b: E-E Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi





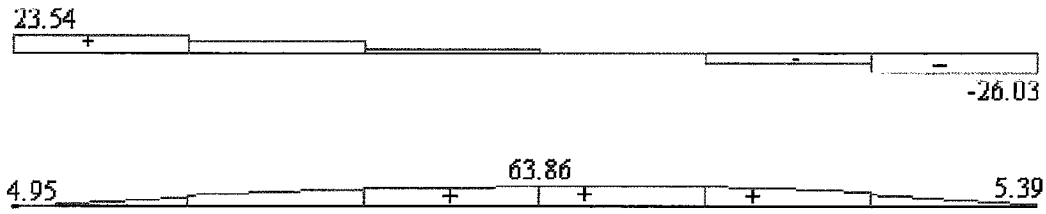
(a)



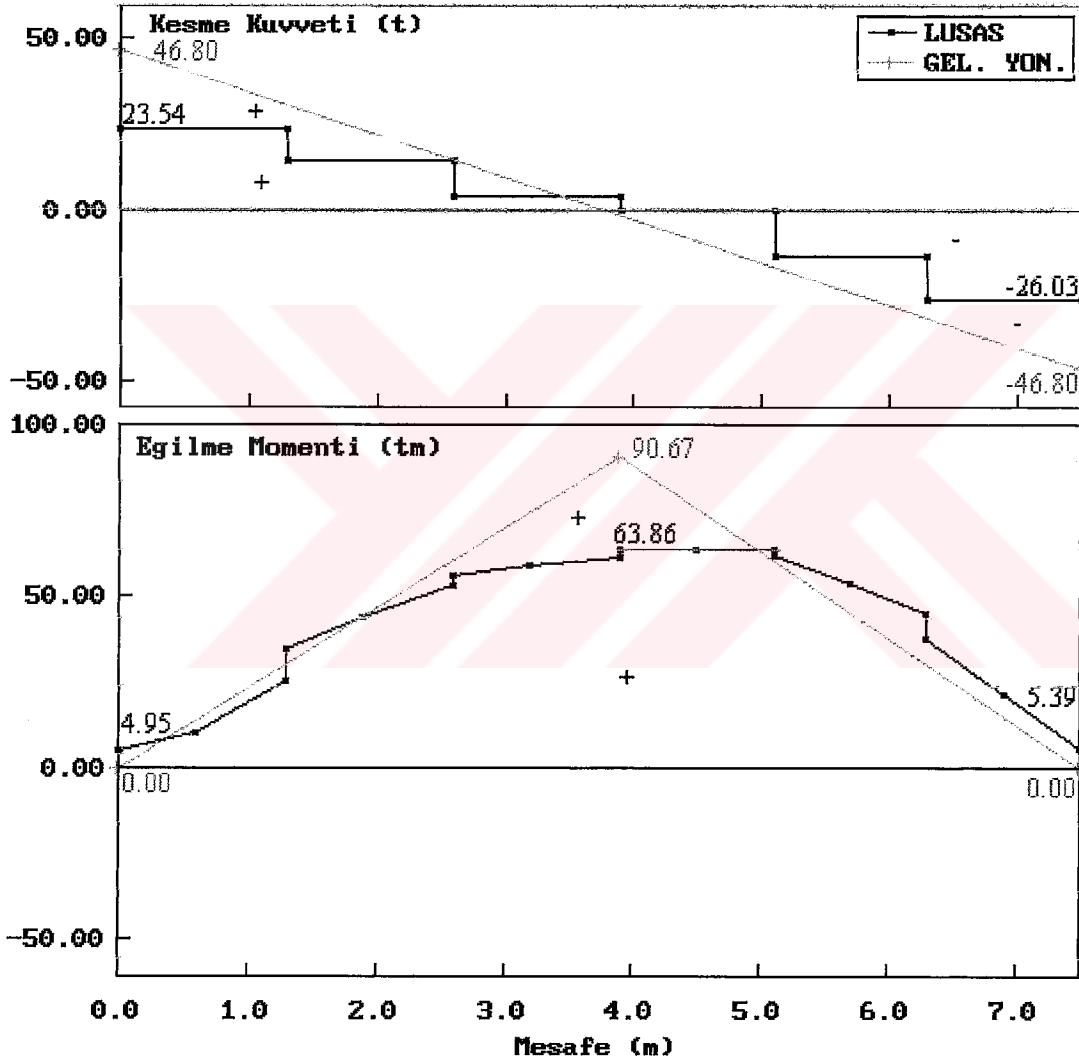
(b)

Şekil 5.30.a: F-F Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları ( Lusas )

b: F-F Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



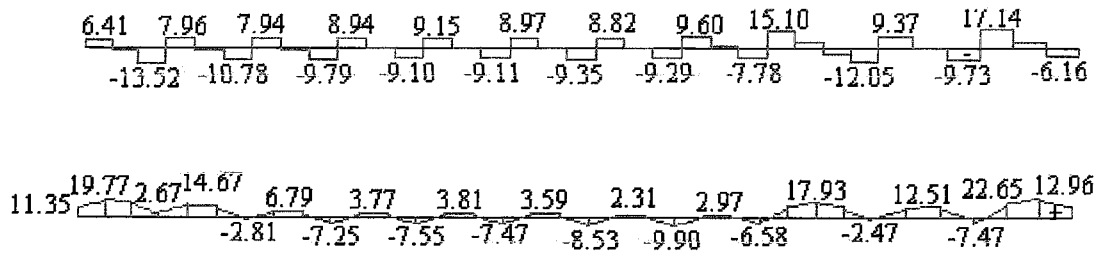
(a)



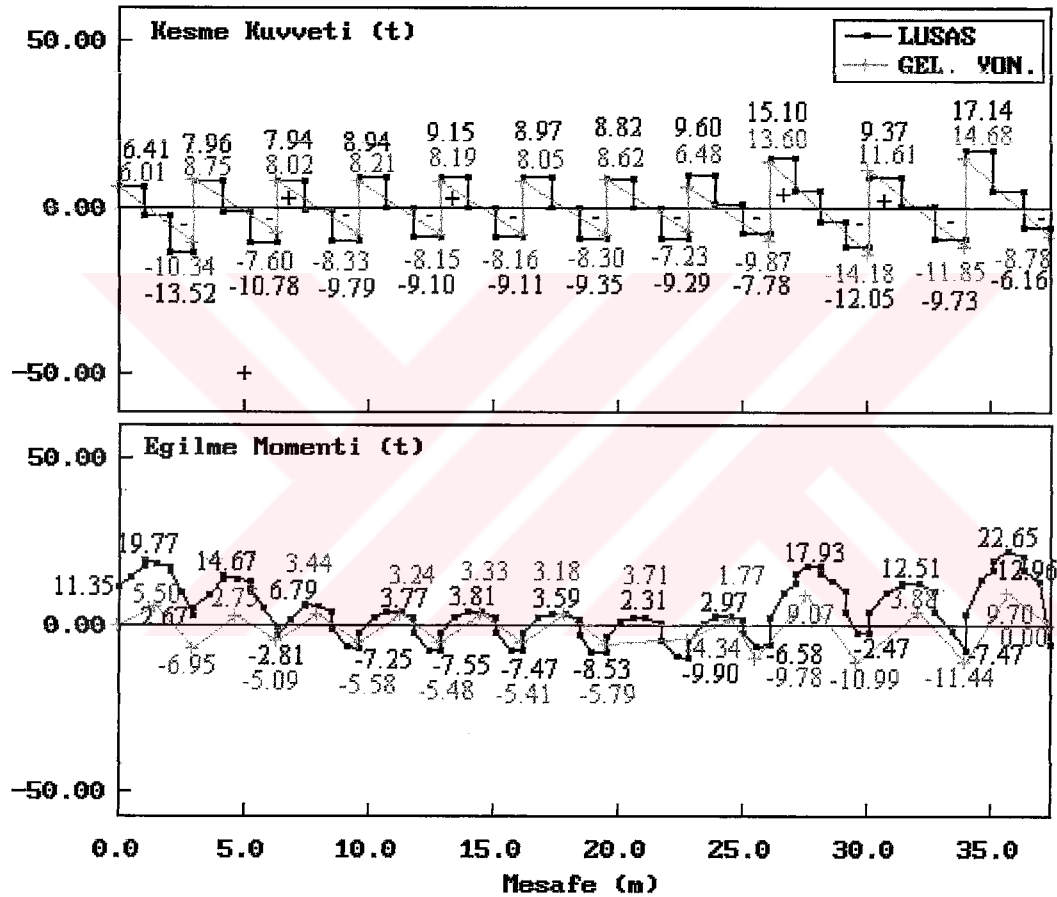
(b)

Şekil 5.31.a: G-G Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: G-G Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



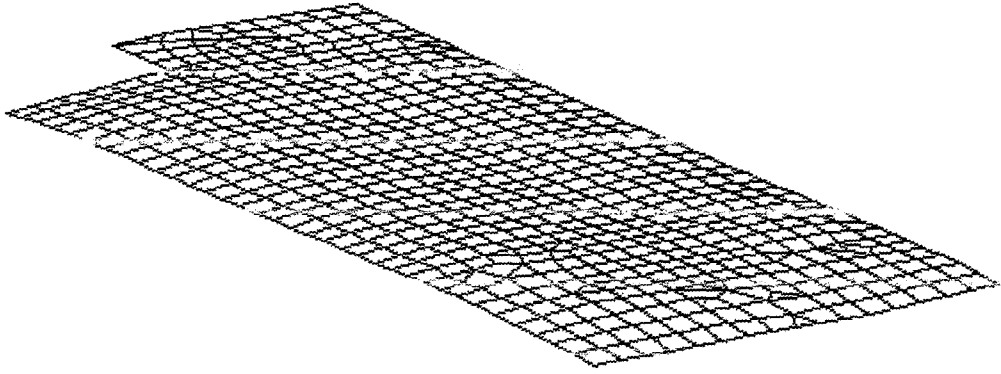
(a)



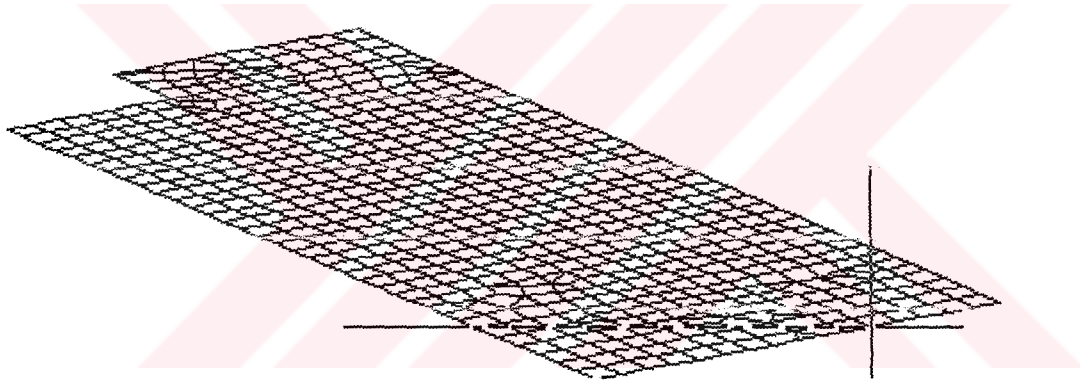
(b)

Şekil 5.32.a: H-H Aksında kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları (Lusas)

b: H-H Aksında sonuçların Lusas ve geleneksel rijit metoda göre karşılıklı gösterimi



Şekil 5.33 Temelin deforme olmuş şekli



Şekil 5.34 Maksimum oturmaanın bulunduğu yer

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Sadece düşey statik yükler için yapılan çözüm sonunda elde edilen değerlere bakıldığında büyük farklılıkların olduğu görülebilir. Geleneksel yöntemde temeli sürekli kirişlere bölerek birbirinden bağımsız olarak çözerken sonlu elemanlar yönteminde temeli bir bütün olarak ele almak böyle büyük farklılıkların çıkmasına açıklama olabilir.

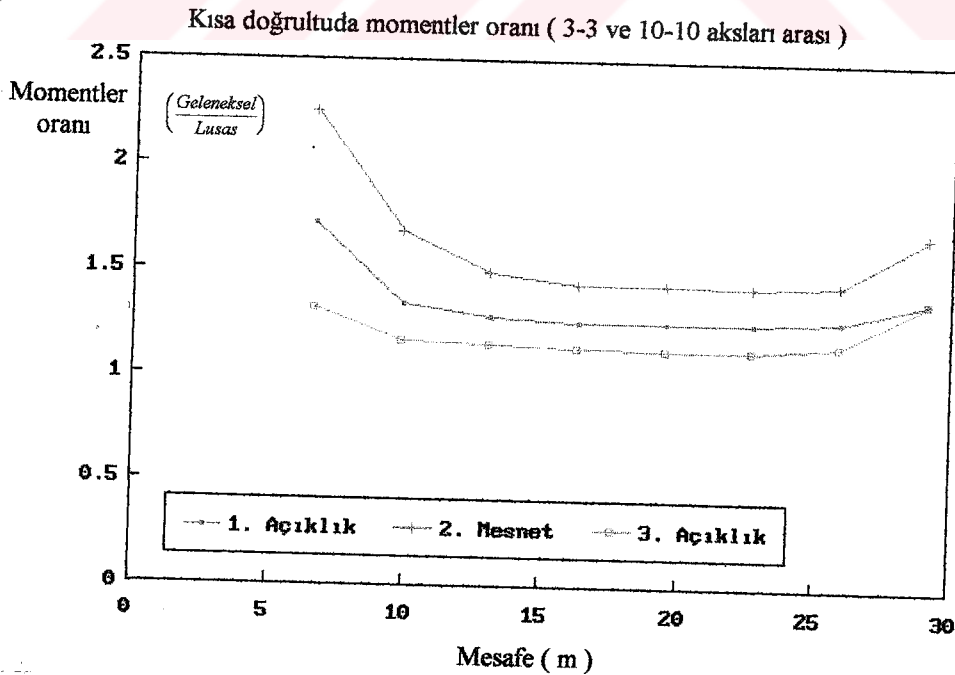
En büyük farklılıklardan bir tanesi sonlu elemanlar metoduyla yapılan çözümde kiriş uçlarında moment değerlerinin elde edilmesidir. Geleneksel yöntemde ise sürekli kiriş çözümü yapıldığından kiriş uç momentleri 0 olmaktadır. Lusas çözümünde kısa doğrultuda 2 - 2 aksında -10.20 tm, uzun doğrultuda E - E aksında -17.59 tm lik kiriş uç momenti elde edilmiştir. Bu iki maksimum değer betonarme perdelerin bulunduğu yerlerde elde edilmiştir. Sonlu elemanlar metodu çözümünde birbirine dik doğrultuda olan kirişlerin bağlantısı ortadan kaldırılmadığı için bu kirişler birbiriyle etkileşim içinde olmakta ve ankastrelik durumu ortaya çıkmaktadır. Bu ankastrelik perdelerin buldukları yerlerde rijitlik artışı sebebiyle daha büyük çıkmaktadır.

İkinci büyük farklılık ise geleneksel yöntemde perdelerin üzerinde bulunduğu kirişlerin kiriş olarak çözülmemesidir. Bu metotta perdelerin bulunduğu kirişlerde moment bulunmamaktadır; buna karşılık sonlu elemanlar çözümünde kısa doğrultuda 2 - 2 aksında -10.20 tm, uzun doğrultuda D - D aksında 38.47 tm lik momentler elde edilmektedir. Burada elde edilen değerler tüm sisteme yansımaktadır.

Moment diyagramlarına bakıldığında genelde sonuçların paralellik taşıdığı; fakat perdelerde ortaya çıkan değerlerin o bölgelerde sonuçlar arasında çok büyük farklılıklar çıkmasına neden olduğu görülebilir.

Uzun doğrultuda perde altındaki kirişlerde Lusas büyük moment değerleri verdiği için perdelerine yakın mesafelerde Lusas sonuçları geleneksel yöntemle göre daha büyük çıkmaktadır. Ortalara gelindikçe sonuçların birbirine yaklaştığı, aynı kiriş üzerinde bazı yerlerde Lusas, bazı yerlerde ise geleneksel yöntem sonuçlarının büyük olduğu görülmektedir. Geleneksel yöntemde perde kenarında bulunan kirişler perdelerine basit mesnet olarak mesnetlenmişlerdir ve buradaki moment değerleri de 0'dır.

Kısa doğrultudaki kirişlerde ise durum daha değişik bir hal almaktadır. Buradaki hemen hemen tüm değerlerde geleneksel yöntem sonuçları büyük çıkmakta; aynı noktalar arasında elde edilen momentlerin oranları 1.17'den 132'ye kadar değişebilmektedir. Daha ilginç olanı orta açıklıkta geleneksel yöntemde 30 - 40 tmm lik pozitif momentlerin elde edilmesine karşın Lusas'ta negatif moment elde edilmesidir.



Şekil 6.1 Kiriş boyuna göre sonuçlardaki farklılıklar

Moment değerleri arasındaki fark kısa doğrultuda fazlalaşmaktadır. Bu doğrultuda boy ksalmasına rağmen üç açıklık bulunmakta ve kiriş açıklıkları diğer yone göre daha büyük olmaktadır. Bina kenarlarına yakın taraflarda ( perdelerin bulunduğu kısım ) büyük olan fark bina ortalarında nisbeten azalmaktadır.

3 - 3 aksının kenar açıklıklarında 1.72 ve 1.32 olan moment oranları 8 - 8 aksında 1.26 ve 1.13 e düşmektedir. Bu oranlar perdelerin bulunduğu alana yaklaşıldığı için 1.40 ve 2.74 değerlerine ulaşmaktadır.



## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sonuçlara ilk bakıldığında farklılıkların perdelerin bulunduğu kirişlerin kiriş olarak çözülüp çözülmemesi ve temelin ayrı sürekli kirişler olarak veya bir bütün olarak çözülmesinden kaynaklandığı kolayca görülebilir.

Bu örnekte üst yapı rijitliğinin temele etkisi gözönüne alınmamıştır. Sonlu elemanlar metodunda sistemin bütün olarak çözülmesinin uygulamacının lehine moment değerlerini azalttığı görülmüştür. Dolayısıyla, üst yapı rijitliğinin hesaba katılmasının gene uygulamacı lehine sonuçlar getireceği düşünülebilir.

Adapazarı genelde yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu ve I. derecede deprem bölgesinde olan bir yerleşim merkezidir. Aynı zamanda zemin koşulları kötü olup sıvılaşma riski taşıyan zeminler mevcuttur. Suyun yüzeye olan yakınlığı nedeniyle yapı temelleri hemen hemen hiç bir kazı yapılmadan zemin üzerine inşa edilmektedir.

Bilindiği gibi temellerin taşıma gücünün bağlı olduğu etkenlerden birisi de gömme derinliği ( $D_f$ ) dir. Yapı temellerinin yüzeye inşa edilmesiyle kötü zemin şartları birleşince çözüm olarak ister istemez yayılı temeller gündeme gelmektedir. Bu ise mal sahibine ekonomik açıdan oldukça büyük bir külfet getirmektedir. Bu şekilde bir uygulamaya gitmek yerine su izolasyonu yapılarak gömme derinliği arttırılırsa hem temelin taşıma gücü arttırılmış olur hem de başka temel sistemleri seçilerek ekonomik açıdan tasarruf sağlanabilir.

Adapazarı'nda projeci mühendisler temel hesaplarında zemin emniyet gerilmesi kavramını kullanmaktadırlar. Bilindiği gibi zemin emniyet gerilmesi sadece kayma direncinin genişlikten bağımsız olduğu yumuşak killer için geçerlidir. Bu kavramın



bina nerede olursa olsun, şekli nasıl olursa olsun, boyutları nasıl olursa olsun her koşulda kullanılması bunu yapanları daha baştan yanlış yola saptırmaktadır. Unutulmamalıdır ki bir şeyi kabul etmekle gerçekte olan arasında hiç bir benzerlik olmayabilir. Zemin için de bu geçerlidir ve zeminler küçük alanlarda bile farklılıklar gösterebilirler. Dolayısıyla gerçek zemin şartlarını bilebilmek için onu tanımak lazımdır. Bunun manası da inşaat yapılan her yerde zemin etüdünün yapılması gereğidir.

Bu çalışma üst yapı - temel etkileşimini gözönüne almadığı ve sadece statik durum için yapıldığından ileride bunları da içeren bir çalışmaya gidilebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] İMO İzmir Şubesi Eğitim Merkezi: “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, İzmir 1996.
- [2] ÖNALP, A., “İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi”, c. 2, KTÜ, s. 594 - 729, Trabzon 1983.
- [3] DAS, B.M., “Principles of Foundation Engineering, PWS - Kent Publishing Company, s. 211 - 248, Boston 1990
- [4] TOSUN, H., “Temel Zemini Taşıma Gücü”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, s. 32 - 51, Ankara 1989.
- [5] UZUNER, B. Ali., “Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği”, Teknik Yayınevi, s. 159 - 180, Trabzon 1990.
- [6] UZUNER, B. Ali., “Temel Mühendisliğine Giriş”, Derya Kitabevi, s. 27 - 86, Trabzon 1995.
- [7] MERTOL, A., “Betonarme Temeller, Çözümlü Problemler Örnekler” s. 247 - 303, Ankara 1984.
- [8] KOERNER, R. M., “Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering”, Mc Graw-Hill, Singapor 1985, s.1 - 55.
- [9] BOWLES, J. E., “Foundation Analysis and Design”, Mc Graw-Hill1, NewYork 1988.

[10] BOWLES, J. E., "Analitical and Computer Methods in Foundation Engineering", Mc Graw-Hill, NewYork 1974.

[11] DUNITAM, Clarence W., "Foundation of Structures",: Kogokusha Company, s. 176 - 213, Tokyo 1962.

[12] LITTLE, A.L., "Foundations", Edward Arnold Ltd., s. 36 - 127, London 1961.

[13] ÖZÜDOĞRU K., TAN O., AKSOY İ.H., "Çözümlü Problemlerle Zemin Mekanikliği", Birsen Yayınevi, s. 108 - 117, İstanbul 1988.

[14] FRANK R., "Recent Developments on the Behaviour of Shallow Foundations", 10 th European Conf. Soil Mech & Fdn Engng, Florance, s. 1 - 27, 1991.

[15] TENG W.C., " Foundation Design", Prentice Hall, s. 158 - 191, New Jersey 1962.

[16] PECK R.B., HANSON W.E., THORNBURN T.H., "Foundation Engineering", John Wiley & Sons, s. 263 - 369, New York 1974.

[17] APAY A., "Yapı Bilgisi", İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası, s. 7 - 18, Adapazarı 1991.

[18] NATH B., "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri (Çev. D. GÜNAY)", SAÜ, s. 1 - 234, Adapazarı 1995.

[19] FEA, "Lusas Finite Element Library", Finite Element Analysis Ltd., Australian National University.

[20] FEA, "Lusas User Manual", Finite Element Analysis Ltd., Australian National University.

[21] TS 5744, “Temel Zemin Özelliklerinin Yerinde Ölçümü”, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara 1990

[22] TS 1900, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara 1987

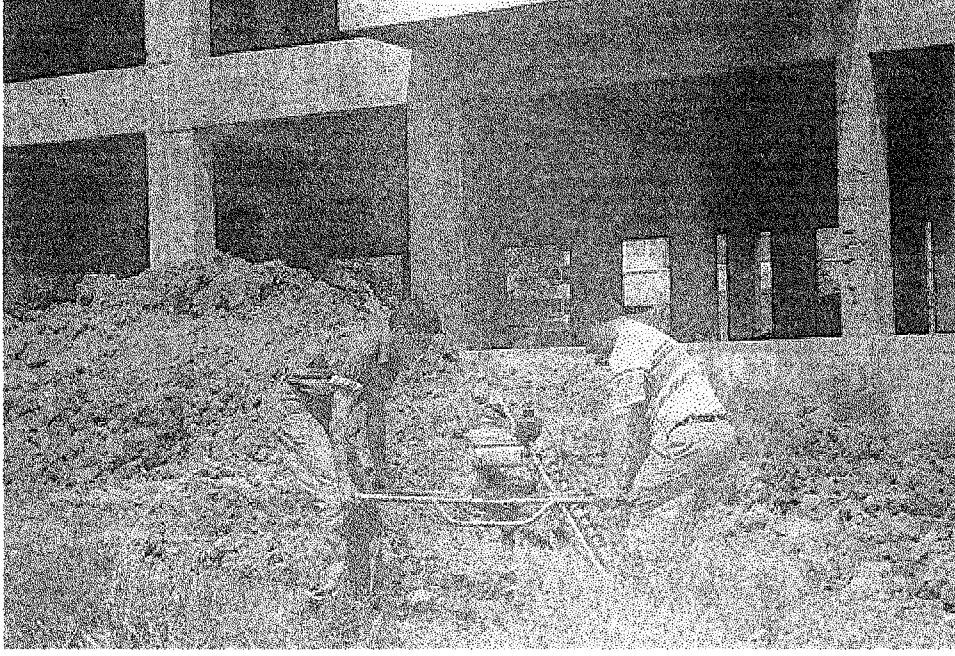


**EKLER**



## **EK - A. FOTOĞRAFLAR**

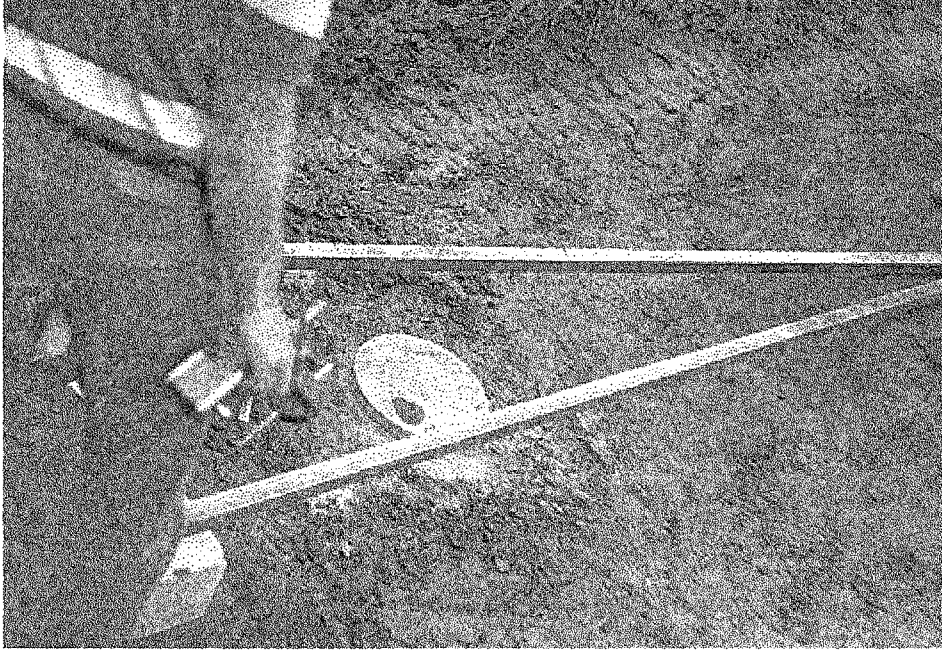




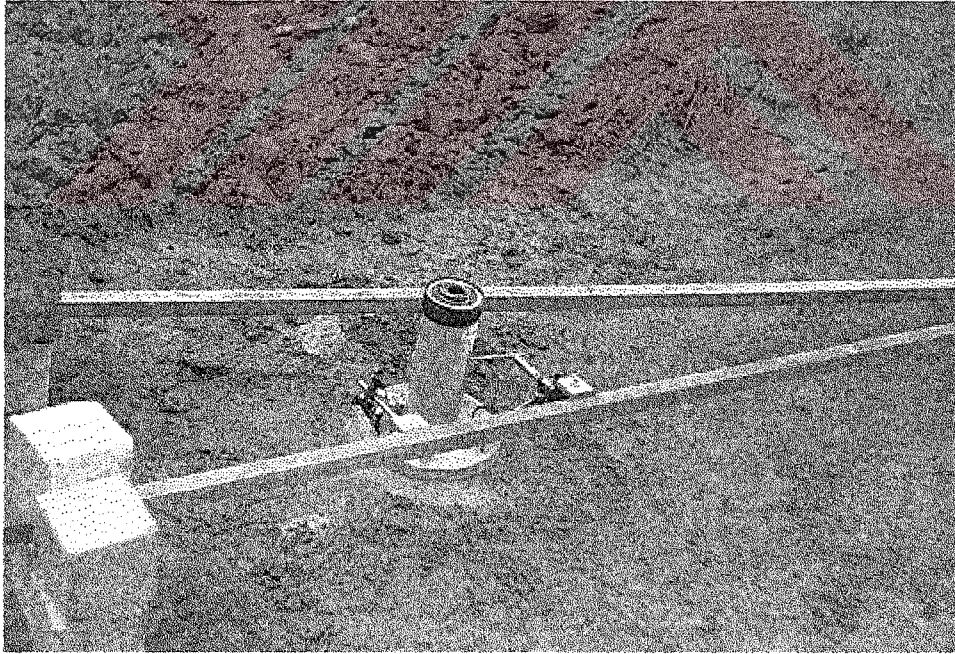
Fotoğraf 1: Zeminden örselenmemiş numune almak için motorlu burgu ile zeminin delinmesi



Fotoğraf 2: Zeminden örselenmemiş numune almak için motorlu burgu ile zeminin delinmesi

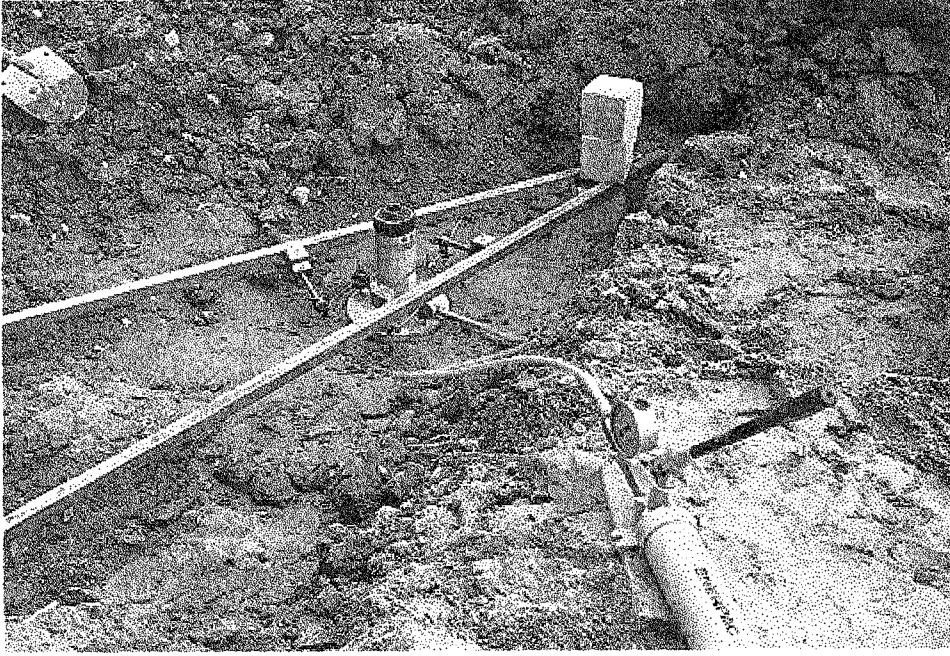


Fotoğraf 3: Plaka taşıma deneyi için plakanın yerine konması



Fotoğraf 4: Krikonun ve oturma ölçer saatlerin yerine konması





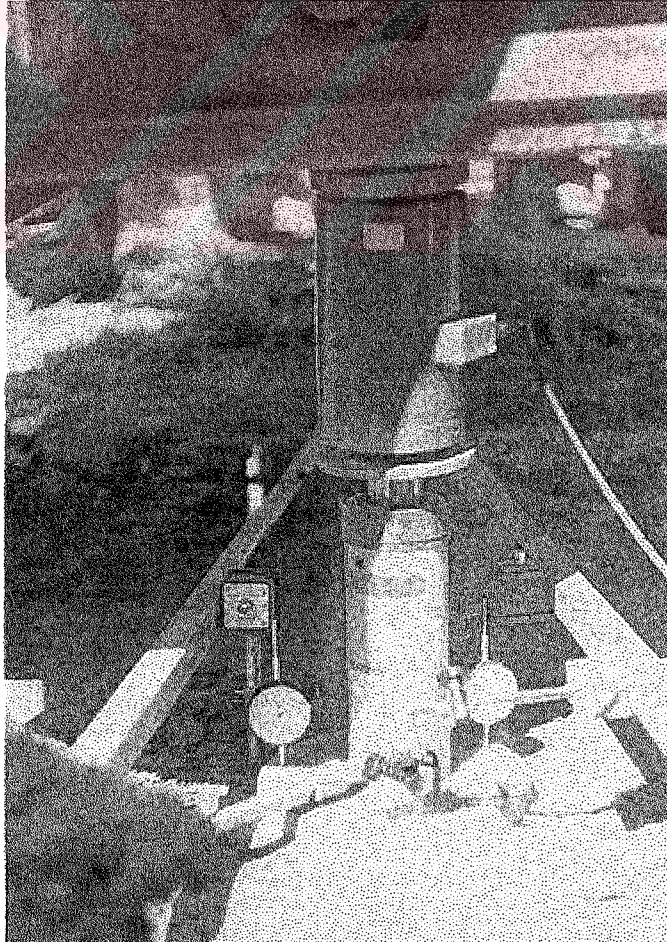
Fotoğraf 5: Oturma ölçer saatlerin metal profillere mesnetlenmiş görüntüsü



Fotoğraf 6: Plaka taşıma deneyinde yük almak için kullanılan traktör



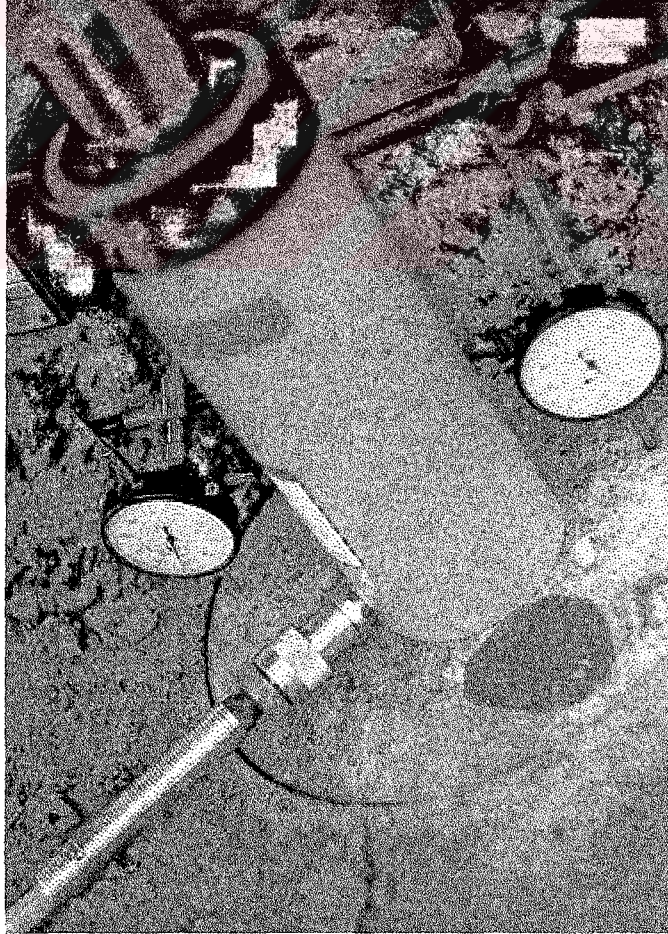
Fotoğraf 7: Mevcut bina ve plaka taşıma deneyinin uygulaması



Fotoğraf 8: Plakanın yüklenmiş görüntüsü



Fotoğraf 9: Yükleme sırasında okumaların not edilmesi



Fotoğraf 10: Plakanın deney sonunda zemine batmış hali

## EK - B. DENEY SONUÇLARI



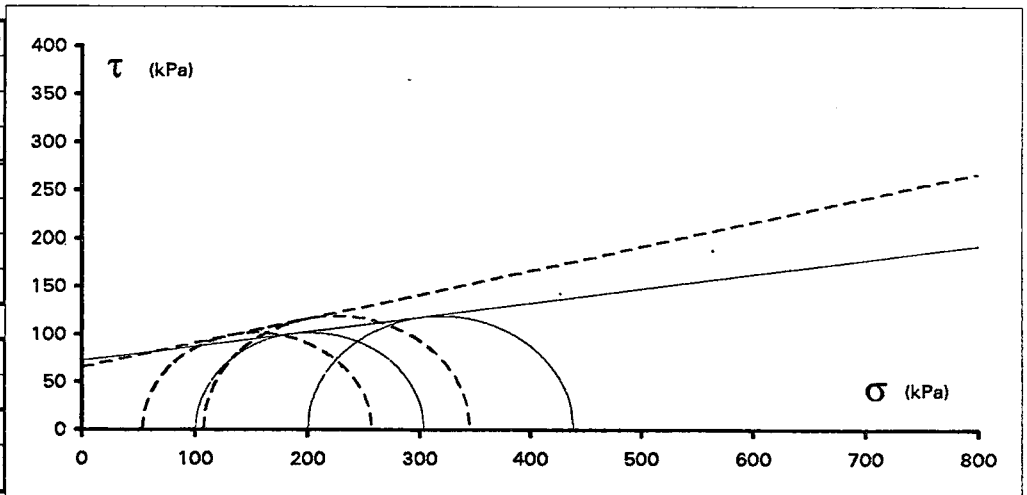
## SAKARYA ÜNİVERSİTESİ - GEOTEKNİK LABORATUVARI

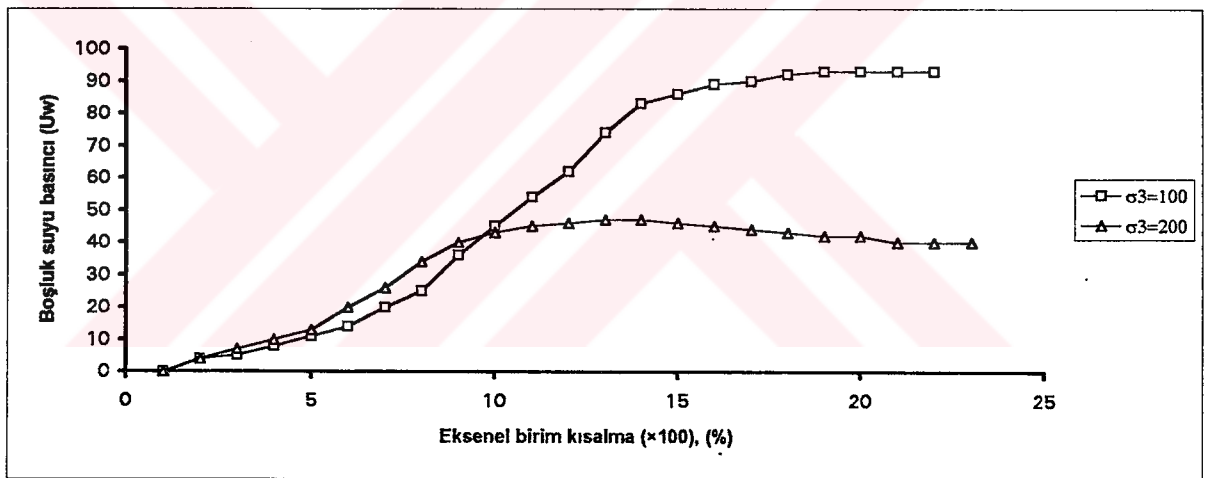
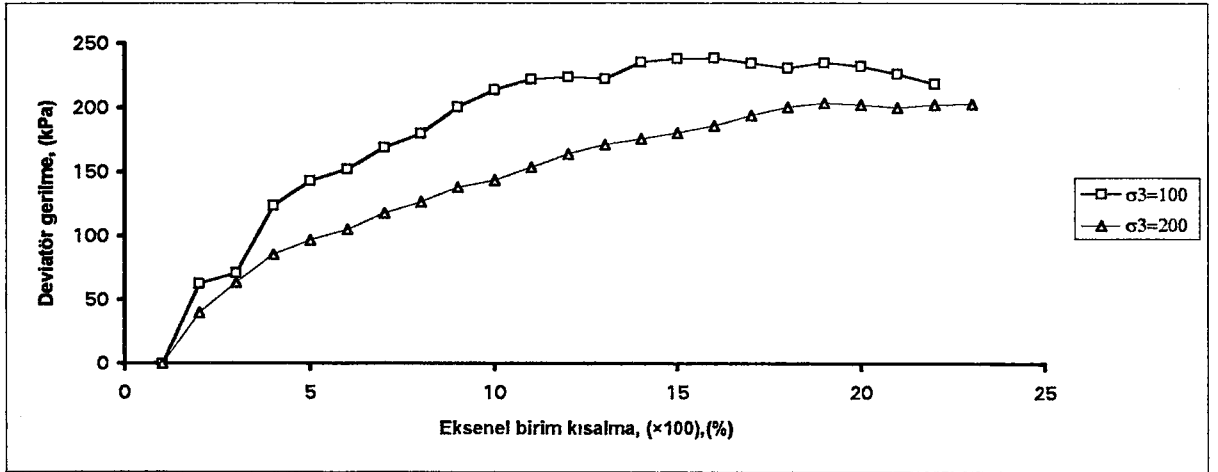
## ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CIU)

PROJE		LİSE İNŞAATI	
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		OZANLAR	
ÖRNEĞİN TANIMI		Kahverengi	
SONDAJ NO		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2.65
DERİNLİK		DENEYİ YAPAN	S.S.
DENEY HIZI	350	KUVVET HALKASI NO	4693
TARİH	12.06.1996	KALİBRASYON K.SAYISI	2.152
ÖRNEK NO			1 2
ÖRNEK ÇAPI, (cm)			4.80 4.85
ÖRNEK İLK ALANI, (cm <sup>2</sup> )			18.10 18.47
ÖRNEK İLK YÜKSEKLİĞİ, (cm)			9.52 9.58
ÖRNEK İLK HACMI, (cm <sup>3</sup> )			172.27 176.99
KONSOLİDASYON HACMI, (cm <sup>3</sup> )			13.90 9.90
KONS. SONRASI ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )			17.12 17.79
KONS. SONRASI ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)			9.26 9.40
KONS. SONRASI ÖRNEK HACMI, (cm <sup>3</sup> )			158.62 167.21
ÇEVRE BASINCI, (kPa)			200 100
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)			306.58 319.21
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)			281.79 301.88
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)			208.95 228.36
SU AĞIRLIĞI, (g)			97.63 90.85
SU MUHTEVASI, (%)			47 40
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )			17.46 17.69
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )			11.90 12.66
DANE HACMI, (cm <sup>3</sup> )			78.85 86.17
BOŞLUK HACMI, (cm <sup>3</sup> )			93.42 90.81
POROZİTE, (%)			54.23 51.31
BOŞLUK ORANI			1.18 1.05
DOYGUNLUK DERESESİ, (%)			100 100
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)			10.72 13.61
ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)			23.13 15.94

Boy Kısalması	$\epsilon$	Alan	Kuvvet Halkası	TR	Kuvvet	$U_w$	$\sigma$	Kuvvet Halkası	TR	Kuvvet	$U_w$	$\sigma$
0	0	17.45	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0
10	0.0011	17.47	52	4	111.90	4	63	33	4	71.02	4	40
25	0.0027	17.50	59	5	126.97	5	71	53	7	114.06	7	64
50	0.0054	17.55	103	8	221.66	8	124	71	10	152.79	10	85
75	0.008	17.60	119	11	256.09	11	143	81	13	174.31	13	97
100	0.0107	17.64	127	14	273.30	14	152	88	20	189.38	20	105
150	0.0161	17.74	142	20	305.58	20	169	99	26	213.05	26	118
200	0.0214	17.84	152	25	327.10	25	180	107	34	230.26	34	127
300	0.0321	18.03	171	36	367.99	36	200	118	40	253.94	40	138
400	0.0429	18.24	185	45	398.12	45	214	124	43	266.85	43	144
500	0.0536	18.44	194	54	417.49	54	222	134	45	288.37	45	153
600	0.0643	18.65	198	62	426.10	62	224	145	46	312.04	46	164
700	0.075	18.87	199	74	428.25	74	223	153	47	329.26	47	171
800	0.0857	19.09	213	83	458.38	83	236	159	47	342.17	47	176
900	0.0964	19.32	218	86	469.14	86	238	165	46	355.08	46	180
1000	0.1072	19.55	221	89	475.59	89	239	172	45	370.14	45	186
1100	0.1179	19.79	220	90	473.44	90	235	182	44	391.66	44	194
1200	0.1286	20.03	219	92	471.29	92	231	190	43	408.88	43	200
1300	0.1361	20.20	225	93	484.20	93	235	195	42	419.64	42	204
1400	0.1466	20.45	225	93	484.20	93	232	196	42	421.79	42	202
1500	0.1571	20.71	222	93	477.74	93	226	196	40	421.79	40	200
1600	0.1675	20.97	217	93	466.98	93	218	201	40	432.55	40	202
1700	0.178	21.23						204	40	439.01	40	203

1) $\sigma_3$	200
1) $\sigma_1$	439
2) $\sigma_3$	100
2) $\sigma_1$	304
1) $\sigma'_3$	107
1) $\sigma'_1$	346
2) $\sigma'_3$	53
2) $\sigma'_1$	257
<b>SONUÇLAR</b>	
c	73
$\phi$	9
c'	66
$\phi'$	14





## SAKARYA ÜNİVERSİTESİ - GEOTEKNİK LABORATUVARI

## ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU)

PROJE		LİSE İNŞAATI	
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		OZANLAR	
ÖRNEĞİN TANIMI		Kahverengi	
SONDAJ NO	SK - 2	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2.65
DERİNLİK	1.00 - 1.50 m.	DENEYİ YAPAN	S.S.
DENEY HIZI	360	KUVVET HALKASI NO	4693
TARİH	29.05.1996	KALİBRASYON K.SAYISI	2.152
ÖRNEK NO		1	2
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		4.90	4.85
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		18.86	18.47
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		10.42	9.65
ÖRNEK HACMI, (cm <sup>3</sup> )		196.49	178.28
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		370.97	333.95
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		-	-
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		284.66	254.90
SU AĞIRLIĞI, (g)		86.31	79.05
SU MUHTEVASI, (%)		30	31
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18.52	18.38
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		14.21	14.03
DANE HACMI, (cm <sup>3</sup> )		107.42	96.19
BOŞLUK HACMI, (cm <sup>3</sup> )		89.08	82.09
POROZİTE, (%)		45.33	46.05
BOŞLUK ORANI		0.83	0.85
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		97	96
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		7.97	15.94
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		0.39	0.24

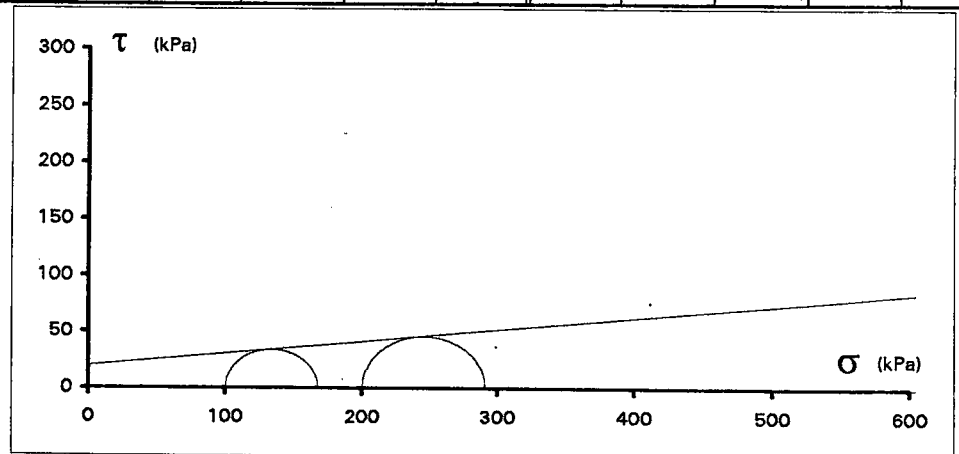


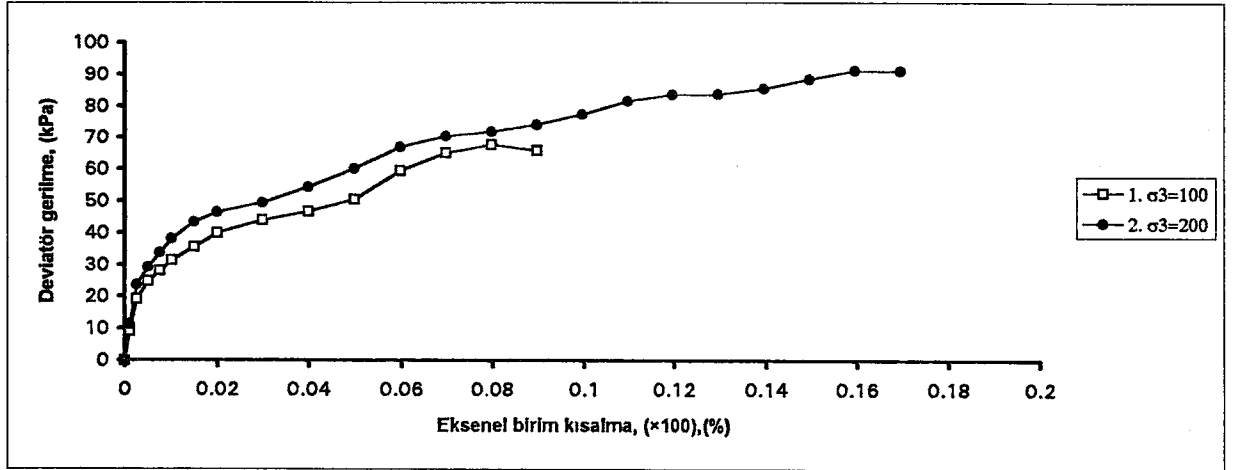
Boy Kısalması	$\epsilon$	Alan	Kuvvet Halkası	TR	Yük	$U_w$	$\sigma$	Kuvvet Halkası	TR	Yük	$U_w$	$\sigma$
0	0	18.67	0		0		0	0		0		0
10	0.001	18.68	8		17.22		9	10		21.52		11
25	0.00249	18.71	17		36.58		19	21		45.19		24
50	0.00498	18.76	22		47.34		25	26		55.95		29
75	0.00747	18.81	25		53.80		28	30		64.56		34
100	0.00997	18.85	28		60.26		31	34		73.17		38
150	0.01495	18.95	32		68.86		36	39		83.93		43
200	0.01993	19.05	36		77.47		40	42		90.38		47
300	0.0299	19.24	40		86.08		44	45		96.84		49
400	0.03986	19.44	43		92.54		47	50		107.60		54
500	0.04983	19.64	47		101.14		51	56		120.51		60
600	0.05979	19.85	56		120.51		60	63		135.58		67
700	0.06976	20.07	62		133.42		65	67		144.18		70
800	0.07972	20.28	65		139.88		68	69		148.49		72
900	0.08969	20.50	64		137.73		66	72		154.94		74
1000	0.09965	20.73						76		163.55		77
1100	0.10962	20.96						81		174.31		82
1200	0.11958	21.20						84		180.77		84
1300	0.12955	21.44						85		182.92		84
1400	0.13951	21.69						88		189.38		86
1500	0.14948	21.95						92		197.98		88
1600	0.15944	22.21						96		206.59		91
1700	0.16941	22.47						97		208.74		91

1) $\sigma_3$	100
1) $\sigma_1$	168
2) $\sigma_3$	200
2) $\sigma_1$	291
1) $\sigma'_3$	
1) $\sigma'_1$	
2) $\sigma'_3$	
2) $\sigma'_1$	

**SONUÇLAR**

c	20
$\phi$	6
c'	
$\phi'$	



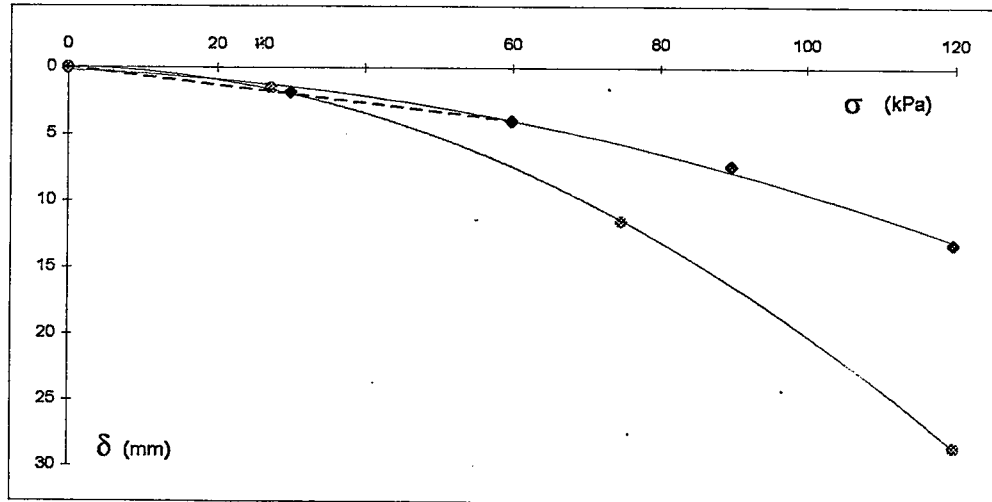


## SAKARYA ÜNİVERSİTESİ - GEOTEKNİK LABORATUVARI

## PLAKA TAŞIMA DENEYİ

PROJE	Lise İnşaatı		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	Ozanlar		
ÖRNEĞİN TANIMI	Kahverengi		
TARİH	21 - 22 . 05 . 1996	PLAKA ÇAPI (cm)	30.6
DENEYİ YAPAN	S.S.	PLAKA ALANI (m <sup>2</sup> )	0.074

YÜK (kN)	DENEY NO: 1					DENEY NO: 2			
	0.0	2.2	4.4	6.6	8.8	0.0	2.0	5.5	8.8
GERİLME (kPa)	0.00	29.91	59.83	89.74	119.66	0.00	27.20	74.79	119.66
SAAT			10:55	13:15	14:55	12:58	13:00	13:34	14:34
MİKROMETRE 1	4779	4613	4468	4261	3668	4958	4744	3722	
MİKROMETRE 2	4384	4164	3932	3590	3046	2835	2825	1943	213
MİKROMETRE 3	3966	3799	3537	3077	2475	4920	4693	3607	1855
OTURMALAR (mm)		1.66	3.11	5.18	11.11		2.14	12.36	
		2.20	4.52	7.94	13.38		0.10	8.92	26.22
		1.67	4.29	8.89	14.91		2.27	13.13	30.65
ORT.OTURMA (mm)	0.00	1.84	3.97	7.34	13.13	0.00	1.50	11.47	28.44



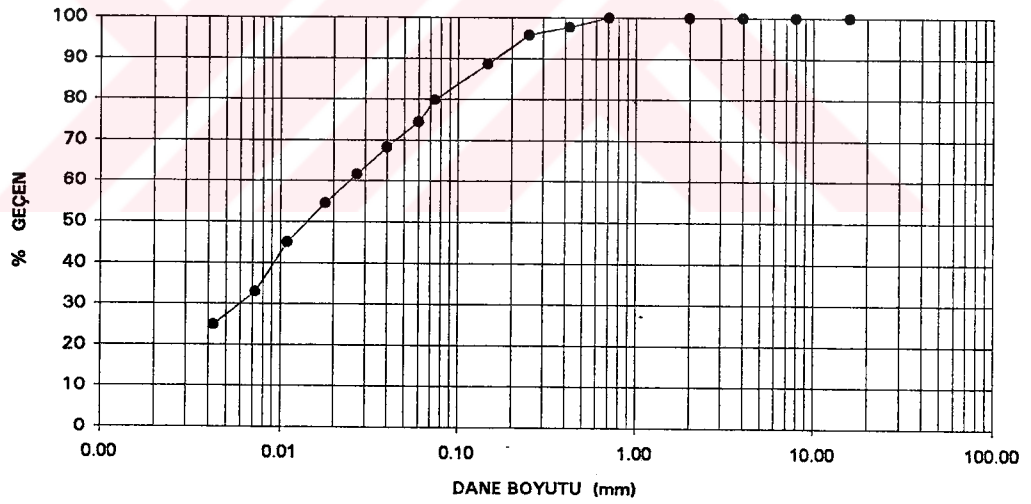
$$E_s = 3542.63 \text{ kPa}$$

$$k_s = 16.26 \text{ kN/m}^3$$

## Elek Analizi

<b>PROJE:</b>	LİSE İNŞAATI	<b>SONDAJ NO:</b>	SK - 1
<b>YERİ:</b>	OZANLAR	<b>DERİNLİK:</b>	1.00 - 1.50 m.
<b>ÖRNEĞİN TANIMI:</b>	Kahverengi	<b>TOPLAM AĞIRLIK:</b>	50 gr.
<b>DENEYİ YAPAN:</b>	S.S.	<b>TARİH:</b>	03.06.1996
<b>ELEME YÖNTEMİ:</b>		<b>YIKAMALI</b>	<b>KURU</b>

ELEK AÇIKLIĞI	KALAN AĞIRLIK	% KALAN	%GEÇEN
16.00 mm.	0.00	0	100
8.00 mm.	0.00	0	100
4.00 mm.	0.00	0	100
2.00 mm.	0.00	0	100
0.71 mm.	0.00	0	100
0.425 mm.	1.12	2	98
0.250 mm.	0.97	2	96
0.147 mm.	3.55	7	89
0.074 mm.	4.41	9	80
PAN	39.95	80	0
TOPLAM	50.00		





LİKİT LİMİT & PLASTİK LİMİT DENEYİ									
PROJE					LİSE İNŞAATI				
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER					OZANLAR				
ÖRNEĞİN TANIMI					Kahverengi				
SONDAJ NO		SK - 1			DENEYİ YAPAN		S.S.		
DERİNLİK		1.00 - 1.50 m.			TARİH		28.05.1996		
LİKİT LİMİT					PLASTİK LİMİT				
Deney No	1	2	3	4	5	Deney No	1	2	
Kap No	803	801	804	806	K9	Kap No	E	E5	
Kap + Örnek, (g)	48.73	54.10	59.00	46.87	102.12	Kap + Örnek, (g)	46.55	86.24	
Kap + Kuru Örnek, (g)	43.12	47.97	51.70	42.10	93.72	Kap + Kuru Örnek, (g)	45.38	85.08	
Kap Ağırlığı, (g)	31.08	33.19	35.08	31.19	75.46	Kap Ağırlığı, (g)	40.58	80.52	
Kuru Örnek Ağırlığı, Ws(g)	12.04	14.78	16.62	10.91	18.26	Kuru Örnek Ağırlığı, Ws(g)	4.80	4.56	
Su Ağırlığı, Ww (g)	5.61	6.13	7.30	4.77	8.40	Su Ağırlığı, Ww(g)	1.17	1.16	
Su Muhtevası, w (%)	47	41	44	44	46	Su Muhtevası, w (%)	24	25	
Darbe Sayısı, N	10	42	19	28	25	Plastik Limit, Wp (%)	25		
<p>The chart is a semi-logarithmic plot with the y-axis representing Water Content (Su Muhtevası, %) ranging from 40 to 50, and the x-axis representing the logarithm of the number of blows (Darbe Sayısı, log N) ranging from 10 to 100. A solid line represents the Liquid Limit (LL) curve, and a dashed horizontal line represents the Plastic Limit (PL) at 25%. Data points are plotted for each test, showing a general downward trend of water content as the number of blows increases.</p>									
Likit Limit, LL (%) =		44			ZEMİN SINIFI (TS 1500) :		CL		
Plastik Limit, PL (%) =		25							
Plastisite Indisi, PI =		19							

## DICTIONARY

- Allowable settlement:** İzin verilebilir oturma
- Allowable stress:** İzin verilebilir güvenli gerilme
- Beam:** Kiriş
- Bearing capacity:** Taşıma gücü
- Bearing capacity factor:** Taşıma gücü katsayısı
- Cantilever wall:** Konsol duvar (betonarme)
- Centrally loaded footing:** Merkezi yüklenmiş temel
- Coefficient of subgrade reaction:** Yatak katsayısı
- Combined footing:** Birleşik temel
- Contact pressure on foundation:** Temelde taban basıncı
- Continious footing:** Sürekli temel
- Deep foundation:** Derin temel
- Depth of foundation:** Temel derinliği
- Differantial settlement:** Farklı oturma
- Distribution of contact pressure:** Taban basıncı dağılımı
- Distributed load:** Yayılı yük
- Eccentrically loaded footing:** Eksantirik yüklü temel
- Excavation:** Kazı
- Expansive soil:** Şişebilen zemin
- Factor of safety:** Güvenlik sayısı
- Failure:** Kırılma, göçme
- Failure surface:** Kırılma yüzeyi
- Failure zone:** Yenilme bölgesi
- Flexible:** Esnek
- Flexible foundation:** Esnek temel
- Frost action:** Don etkisi

**Frost depth:** Don derinliği  
**Footing:** Sömel, tekil temel  
**Footing width:** Temel genişliği  
**Foundation:** Temel  
**Foundation depth:** Temel derinliği  
**Foundation soil:** Temel zemini  
**General share failure:** Genel kayma kırılması  
**Immediate settlement:** Ani ( ilk ) oturma  
**Individual footing:** Ayrık temel  
**Isolated footing:** Ayrık temel  
**Load - settlement curve:** Yük - oturma eğrisi  
**Load test:** Plaka yükleme deneyi  
**Local share failure:** Yerel kayma kırılması  
**Mat foundation:** Yayılı temel  
**Modules of elasticity:** Elastisite modülü  
**Modules of subgrade reaction:** Yatak katsayısı  
**Pier:** Kuyu temel  
**Pile:** Kazık  
**Pile foundation:** Kazıklı temel  
**Plate bearing ( loading ) test:** Plaka taşıma ( yükleme ) deneyi  
**Point load:** Nokta yük  
**Pressure bulb:** Basınç soğanı  
**Raft foundation:** Yayılı temel  
**Rectangular combined footing:** Dikdörtgen birleşik temel  
**Rigid:** Rijit, katı  
**Rigid foundation:** Rijit temel  
**Safe bearing capacity:** Emin taşıma gücü  
**Safety factor:** Güvenlik sayısı  
**Settlement:** Oturma  
**Shallow footing:** Yüzeysel temel  
**Shape factor:** Şekil faktörü



**Slab foundation:** Plak temel

**Spread foundation:** Tekil temel

**Square footing:** Kare temel

**Strap footing:** Bağ kirişli birleşik temel

**Strip foundation:** Şerit temel

**Total settlement:** Toplam oturma

**Trapezoidal combined footing:** Yamuk birleşik temel

**Ultimate bearing capacity:** Son taşıma gücü

**Ultimate load:** Nihai yük ( göçme yükü )

**Underpinning:** Temel takviyesi

**Unsymmetrical footing:** Asimetrik temel

**Wall foundation:** Duvar altı temeli



## ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk ve orta dereceli tahsilini Adapazarı'nda tamamladı. 1989 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1990 yılında İngilizce hazırlık programını bitirdikten sonra 1994 Haziran ayında mezun oldu. Aynı yıl SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği EABD Geoteknik programına kayıt oldu. 1995 yılı Haziran-Aralık ayları arasında İzmit Entegre Çevre Projesi'nde bir özel kuruluştaki şantiye sorumlusu olarak çalıştı. 1995 yılı sonunda SAÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik ABD'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamış olup, halen bu görevini sürdürmektedir.