



YATAK KATSAYISI İLE TEMELLERİN TASARIMI

Burhan AVCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2015

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burhan AVCI

11/12/2015

YATAK KATSAYISI İLE TEMELLERİN TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Burhan AVCI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2015

ÖZET

Günümüzde kullanılan yapısal analiz programlarında, temel tasarımı yapabilmek için yatak katsayısına gerek duyulmaktadır. Ülkemizde ve dünyada yatak katsayısı, literatür çalışmalarından ve plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilmektedir. Literatür çalışmalarında, yatak katsayıları zemin türüne bağlı olarak tablo haline getirilmiş ve çok geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Bu yöntem kullanılarak elde edilen yatak katsayısı değerlerinin çok geniş bir aralık için verilmesi sebebi ile bu yöntem kullanılırken çok dikkatli olunmalıdır. Plaka yükleme deneyleri çok sığ derinlikte etkidiğinden, plaka yükleme deneyi ile bulunan yatak katsayısı sadece çok sığ temel tasarımları için kullanılmaları uygundur. Ayrıca, plaka yüklemi deneyi ile bulunan yatak katsayıları temel boyutuna bağlı olarak düzeltilmelidirler. Bu çalışmada, ölçülmüş plaka yükleme deneyleri ile oluşturulan veri tabanındaki veriler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen yük – deplasman eğrileri ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucu veren eğrileri elde etmek için elastisite modülü değiştirilerek geri analiz yapılmıştır. Yapılan bu geri analizler sonucunda, aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin çok değişken elastisite modülüne sahip olabileceği görülmüştür. Bunun sonucunda; temel tasarımı yapılırken, deplasmana bağlı olarak azalma eğilimi gösteren yatak katsayıları için; temel derinliğine, zemin içsel sürtünme açısına ve zemin elastisite modülüne bağlı olarak geliştirilen korelasyonların kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı fikrine varılmıştır.

Bilim Kodu : 911.1.050
Anahtar Kelimeler : Yatak katsayısı, plaka yükleme deneyi, temel yükleme deneyi
Sayfa Adedi : 137
Danışman : Doç. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

DESIGN OF FOUNDATIONS WITH MODULUS OF SUBGRADE REACTION

(M. Sc. Thesis)

Burhan AVCI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2015

ABSTRACT

To perform foundation design with structural analysis programs currently used, modulus of subgrade reaction is required. In our country and in the world, to determine the modulus of subgrade reaction, literature studies and plate loading test results are utilized. In the scope of literature studies, modulus of subgrade reaction values are tabulated with respect to the type of soil and exhibit variance within a wide range. It is important to be careful while using this method due to the fact that the modulus of subgrade reaction values are found for a very wide range. Since the plate load test has extremely shallow impact depth, the modulus of subgrade reaction obtained through this method should be merely used for the design of shallow foundations. Furthermore, the modulus of subgrade reaction values found using the plate loading tests should be corrected depending upon the dimensions of the foundation. In this study, data obtained through measured plate loading tests is compared to the load – displacement curves found by means of finite elements method and thereafter, reverse analysis is conducted by modifying the modulus of elasticity to capture curves which provides the best results. As a result of such reverse analyses, it is observed that the soils with same friction angles may possess variable modulus of elasticity. Accordingly, it is concluded, in terms of the modulus of subgrade reaction which tends to decrease depending on the displacement, that it will be more efficient approach to use correlations developed on the basis of foundation depth, internal friction angle of the soil, and modulus of elasticity of the soil, while designing the foundation.

Science Code : 911.1.050
Key Words : Subgrade reaction, plate load test, foundation load test
Page Number : 137
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgileri ve önerileri ile benden yardımını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Ayhan GÜRBÜZ'e teşekkür ederim.

Anlayışlı kararları ve desteklerinden ötürü Hidromark Mühendislik A.Ş yönetim kuruluna teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu günlere gelmemi sağlayan saygıdeğer annem Suzan AVCI'ya, babam Şuayip AVCI'ya ve ablam Pınar AVCI'ya şükranlarımı sunarım.

Sevgi, sabrı ve fedakârlığı ile bir an olsun beni yalnız bırakmayan saygıdeğer eşim Zeynep AVCI'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Literatürde Bulunan Yatak Katsayısı Değerleri.....	11
2.2. Plaka Yükleme Deneyi	13
2.3. Yatak Katsayısı İçin Literatürde Önerilen Düzeltme Bağlılıkları	16
2.4. Temel Boyutunun Yatak Katsayısı Üzerindeki Etkisi	18
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
3.1. Veriler	23
3.2. Zemin Sınıflandırılması	24
3.3. Zemin Parametrelerinin Bulunması	26
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli	34
3.3.1. Model oluşturulması	34
3.3.2. Zemin modeli	37
3.4. Analiz Sonuçları.....	38
4. YATAK KATSAYI DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ.....	41
4.1. $\phi=28^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	41

	Sayfa
4.2. $\phi=30^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	42
4.3. $\phi=32^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	44
4.4. $\phi=34^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	45
4.5. $\phi=35^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	46
4.6. $\phi=36^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	48
4.7. $\phi=38^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	49
4.8. $\phi=39^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	50
4.9. $\phi=40^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	52
4.10. $\phi=41^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	53
4.11. $\phi=42^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	54
4.12. $\phi=43^\circ$ İçin Yatak Katsayısı	56
4.13. Elastisite Modülünün Yatak Katsayısı Üzerindeki Etkisi.....	57
5. TAŞIMA GÜCÜ.....	59
5.1. Taşıma Gücü Yöntemleri.....	60
5.2. Oluşturulan Veri Tabanında Bulunan Plaka Yükleme Deneylerinin Taşıma Gücü Hesabı.....	61
6. TEMELLERİN YATAK KATSAYISI İLE TASARIMI	67
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	79
EKLER.....	85
Ek-1. Sonlu elemanlar analiz sonuçları	86
ÖZGEÇMİŞ	137

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Araştırmacılar tarafından geliştirilen yatak katsayısı bağıntıları.....	5
Çizelge 2.2. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı	6
Çizelge 2.3. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı	6
Çizelge 2.4. İzin verilebilir deplasman oranı	6
Çizelge 2.5. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı	7
Çizelge 2.6. Temel türüne bağlı izin verilebilir deplasman miktarı	7
Çizelge 2.7. Yatak katsayısı değerleri.....	11
Çizelge 2.8. Yatak katsayısı değerleri.....	11
Çizelge 2.9. Yatak katsayısı değerleri.....	11
Çizelge 2.10. Yatak katsayısı değerleri.....	11
Çizelge 2.11. Yatak katsayısı değerleri.....	12
Çizelge 2.12. Yatak katsayısı değerleri.....	12
Çizelge 2.13. Yatak katsayısı değerleri.....	12
Çizelge 2.14. Yatak katsayısı değerleri.....	12
Çizelge 2.15. Literatürden derlenen en büyük ve en küçük yatak katsayısı değerleri....	13
Çizelge 3.1. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller	25
Çizelge 3.2. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi	26
Çizelge 3.3. İçsel sürtünme açısına bağlı zemin sıkılık sınıflaması	26
Çizelge 3.4. Kullanılan veri tabanı	30
Çizelge 3.5. Kullanılan veri tabanında yapılan saha deneyleri	32
Çizelge 3.6. Oluşturulan veri tabanında bulunan temellere ait eşdeğer yarıçap	36
Çizelge 3.7. ϕ° ve elastisite modülü tablosu	39
Çizelge 5.1. Zemin içsel sürtünme açısına bağlı bulunan K_{py} değerleri	60

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. Ölçümlenmiş ve hesaplanan taşıma gücü değerleri	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Gerilme – deplasman gösterimi	1
Şekil 1.2. Akış şeması.....	2
Şekil 2.1. Deplasman tanımlarının şekilsel gösterimi.....	6
Şekil 2.2. Zemin davranışı ile yatak katsayısı arasındaki ilişki	14
Şekil 2.3. Plaka yükleme deney düzeneği şekilsel gösterimi.....	15
Şekil 2.4. Plaka ve temel etki derinliği	17
Şekil 2.5. Ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$).....	19
Şekil 2.6. Düzeltme yapılmış ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$) ...	20
Şekil 2.7. Ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$).....	21
Şekil 2.8. Düzeltme yapılmış ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$) ...	22
Şekil 3.1. Veri tabanında kullanılan; temel boyutu, derinliği ve yeraltı su seviyesi gösterimi	23
Şekil 3.2. Literatürden derlenen veri tabanı.....	24
Şekil 3.3. CPT'ye bağlı içsel sürtünme açısı	27
Şekil 3.4. D_{50} ve N arasındaki ilişki	28
Şekil 3.5. SPT'ye bağlı içsel sürtünme açısı.....	29
Şekil 3.6. (a) Düzlem birim deformasyon (b) Eksenel simetri yöntemi	34
Şekil 3.7. (a) 15 düğüm noktalı üçgen eleman (b) 6 düğümlü üçgen eleman.....	35
Şekil 3.8. Örnek plaxis modeli.....	35
Şekil 3.9. ϕ° ve elastisite modülü grafiği	39
Şekil 4.1. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=28^\circ$).....	41
Şekil 4.2. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=30^\circ$).....	43
Şekil 4.3. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$).....	44
Şekil 4.4. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$).....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=35^\circ$).....	47
Şekil 4.6. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=36^\circ$).....	48
Şekil 4.7. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=38^\circ$).....	49
Şekil 4.8. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=39^\circ$).....	51
Şekil 4.9. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=40^\circ$).....	52
Şekil 4.10. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=41^\circ$).....	53
Şekil 4.11. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=42^\circ$).....	55
Şekil 4.12. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=43^\circ$).....	56
Şekil 4.13. $\phi=36^\circ$, Deplasman ve yatak katsayısı grafiği	58
Şekil 5.1. Taşıma gücü yenilme tipleri a) genel kayma yenilmesi b) yerel kayma yenilmesi c) zımbalama kayma yenilmesi.	59
Şekil 5.2. Taşıma gücü karşılaştırma grafiği	65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Plaka yükleme deney düzeneği.....	15

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ϕ	Zemin içsel sürtünme açısı
Δ	Farklı oturma
$\Delta_{s(maks)}$	Maksimum farklı oturma
γ	Zemin birim hacim ağırlığı
γ'	Zemin efektif birim hacim ağırlığı
μ	Ölçümlenmiş taşıma gücü değerinin el hesabına oranı
σ	Standart sapma
ν_s	Zeminin Poisson oranı
$\beta_{(maks)}$	Maksimum açısal çarpılma
ω	Rijit dönme açısı
ψ	Dilatasyon açısı
b_c, b_γ, b_q	Taban eğim faktörleri
B_{plaka}	Plaka Genişliği
B_{temel}	Temel Genişliği
c	Kohezyon
d_c, d_γ, d_q	Derinlik faktörleri
D_f	Temel derinliği
D_r	Rölatif sıkılık
D_{50}	Malzemenin ağırlıkça %50'sinin geçtiği dane çapı
E	Temel malzemesinin elastisite modülü
$E_{hesaplanan}$	Geri analiz yöntemi ile hesaplanan zemin elastisite modülü
F	Temel ya da plakaya etkiyen düşey kuvvet
H	Bina yüksekliği
I	Temel atalet momenti
I_f	Temelin şekline bağlı etki faktörü
I_s	Temelin şekline bağlı etki faktörü
i_c, i_γ, i_q	Yük eğim faktörleri

Simgeler	Açıklama
k_{plaka}	Plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı
k_s	Yatak katsayısı
L	Temel uzunluğu
m	Temel düzeltme katsayısı
mm	Milimetre
n	Veri sayısı
N_c, N_q, N_γ	Taşıma gücü faktörleri
N	30 cm penetrasyon için darbe sayısı
N_{60}	Örtü yükü düzeltmesi yapılmamış %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değeri
$(N_1)_{60}$	Örtü yükü düzeltmesi yapılmış ve %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değeri
q	Temel tabanında oluşan gerilme
$q_u(\text{Hansen})$	Hansen yöntemine göre elde edilen taşıma gücü değeri
$q_u(\text{Meyerhof})$	Meyerhof yöntemine göre elde edilen taşıma gücü değeri
$q_u(\text{ölçümlenmiş})$	Deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü değeri
$q_u(\text{Plaxis})$	Sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen taşıma gücü değeri
$q_u(\text{Terzaghi})$	Terzaghi yöntemine göre elde edilen taşıma gücü değeri
s	Düşey deplasman
$s_{(maks)}$	Maksimum deplasman
s_c, s_γ, s_q	Şekil faktörleri
s_{plaka}	Plaka yükleme deneyinin düşey deplasman miktarı
s_s	Düzeltilmiş düşey deplasman miktarı

Kısaltmalar	Açıklama
COV	Varyasyon katsayısı
CPT	Konik penetrasyon testi
PI	Plastisite indisi
PMT	Presiyometre testi
SPT	Standart penetrasyon testi
YASS	Yer altı su seviyesi

1. GİRİŞ

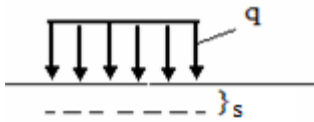
Yapıların temel projelendirilmesinde; yapı-zemin arasındaki etkileşimin dikkate alınması, yapıdan gelen yüklerin zemin tabakalarında meydana getireceği deplasmanların ve yapı eleman sistemindeki iç kuvvetlerin hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Mühendislik uygulamalarında, yapı ve zemin arasındaki ilişkiyi sabit bir yatak katsayısı ile kuran Winkler (1867) yöntemi kullanılarak temel tasarımı yapılmaktadır.

Yatak katsayısı yöntemi olarak da adlandırılan bu yaklaşımda, zeminin elastik olduğu ve birbirine bitişik sonsuz sayıda bağımsız yaydan oluştuğu kabulü yapılmaktadır. Buna bağlı olarak, yatak katsayısı “Eş. 1.1” yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$k_s = \frac{q}{s} \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte yatak katsayısı (k_s), birim alana etkiyen gerilme (q) ve düşey deplasman (s) ile gösterilmiştir.

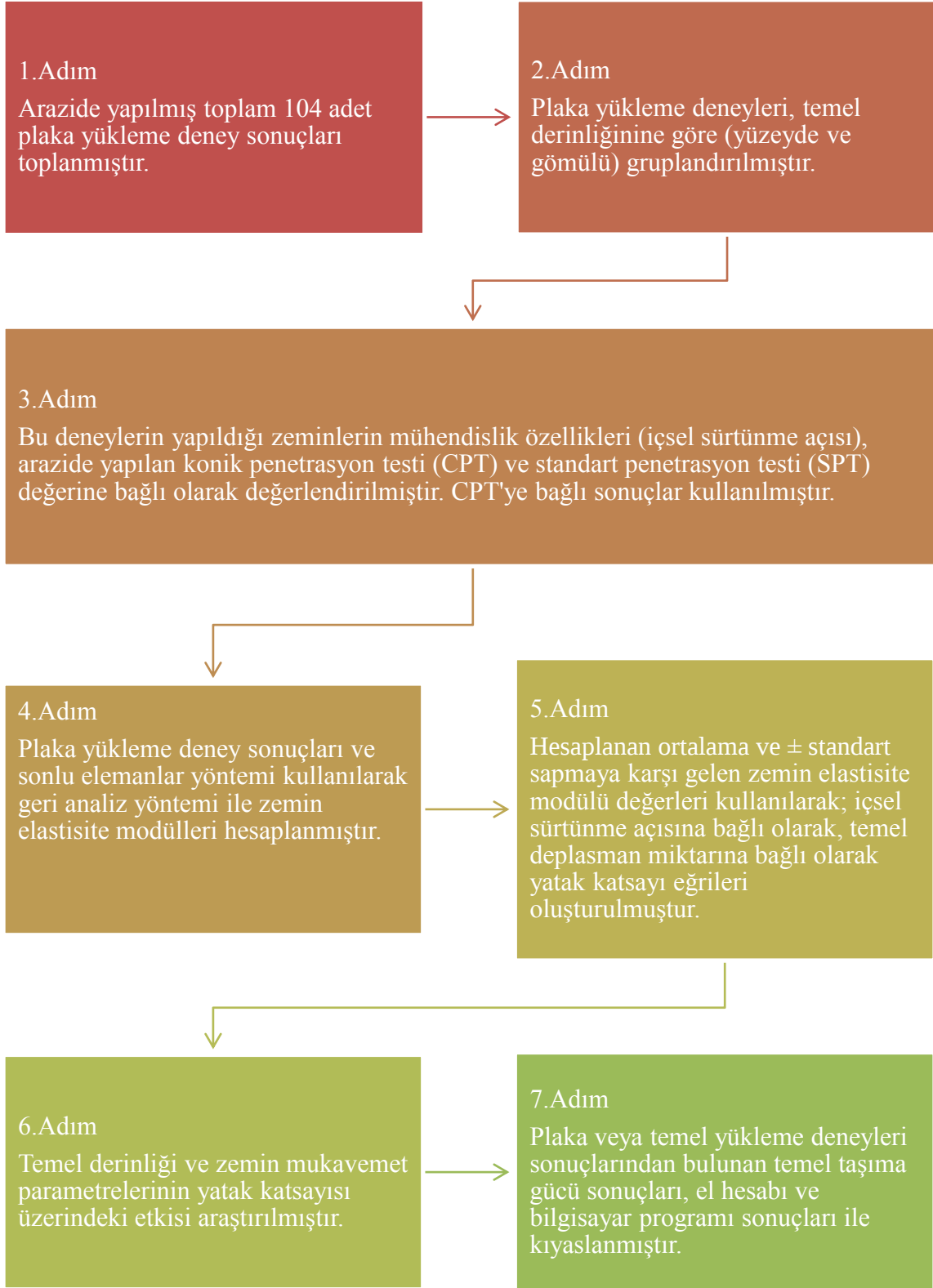
Rijit bir temel yapısında, zeminde oluşacak olan gerilmenin meydana getireceği düşey deplasman Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Gerilme – deplasman gösterimi

Ülkemizde ve dünyada yapı-zemin etkileşimi sıklıkla sabit yatak katsayıları kullanılarak dikkate alınmaktadır. Hâlbuki yatak katsayısı deplasmanın bir fonksiyonu olarak sabit bir değere sahip değildir. Yatak katsayısını etkileyen başlıca parametreler; zemin cinsi, temel derinliği, temel boyutu, zemin içsel sürtünme açısı ve zemin elastisite modülüdür. Ülkemizde yatak katsayısı belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan plaka yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar ile gerçek boyuttaki temel davranışı arasında ciddi farklılıklar olduğu bilinmektedir [2].

Bu çalışmada, izlenen adımlar aşağıda akış şeması Şekil 1.2 ile anlatılmıştır.



Şekil 1.2. Akış şeması

Sonlu elemanlar yöntemi ile geri analizler yapılarak, veri tabanında bulunan plaka yükleme deneylerinin yapıldığı zemine ait elastisite modülü bulunmuştur. Yapılan bu analizler sonucunda, aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin birbirinden çok farklı elastisite modülüne sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, genel bir zemin karakteri çıkarılması amacıyla, aynı zemin içsel sürtünme açısında geri analiz yapılarak bulunan ortalama ve $\pm$ standart sapmaya bağlı elastisite modülü değerleri kullanılmıştır.

Arazide yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen yük – deplasman eğrisine göre plaka boyutunun yatak katsayısı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, plaka ve temel boyutu farkından kaynaklanan etki derinliğidir. Bu yüzden, plaka yükleme deneyinden elde edilen sonuçların düzeltme yapılarak kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada, aynı zemin içsel sürtünme açısına sahip olan 1 m'den büyük ve 1 m'den küçük plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen yük – deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu mukayese sonucunda, 1 m'den küçük plaka genişliği için Terzaghi (1955) tarafından geliştirilen düzeltilmiş yatak katsayısı ve deplasman, 1 m'ye eşit ya da 1 m'den daha büyük plaka genişliği için de düzeltilmemiş yatak katsayısı ve deplasman eşitliklerinin kullanılması ortaya çıkmıştır.

Daha sonra, boyut etkisinin azaldığı ortaya çıkarılan 1 m genişliğindeki plaka için genel zemin karakteri çıkartılmış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu sayede; farklı elastisite modülü, zemin içsel sürtünme açısı ve temel derinliği için deplasmana bağlı zemin yatak katsayısı korelasyonları hesaplanmıştır.

Arazide yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen yük – deplasman eğrisinden temel taşıma gücü değeri hesaplanmıştır. Ölçülenmiş taşıma gücü değerleri Terzaghi (1943), Meyerhof (1965), Hansen (1970), Vesic (1973) ve bilgisayar programı yardımı ile elde edilen taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu mukayese sonucunda, ölçülenmiş taşıma gücü değerleri beş farklı yöntemle göre kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Buna göre en yakın sonuç Meyerhof (1965) yöntemi ile en tutucu yaklaşım ise Hansen (1970) yöntemi olarak belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yatak katsayısı konusunda birçok araştırma yapılmış olup çok fazla sayıda yöntem geliştirilmiştir. Literatürde en çok karşılaşılan yöntemlerin başında, Winkler (1867), Biot (1937), Terzaghi (1955), Vesic (1961), Meyerhof ve Baïke (1965), Selvadurai (1984) ve Bowles (1998) tarafından geliştirilen yatak katsayısı bağıntıları gelmektedir. Bu araştırmacıların yatak katsayısı için önerdikleri bağıntılar Çizelge 2.1’de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Araştırmacılar tarafından geliştirilen yatak katsayısı bağıntıları

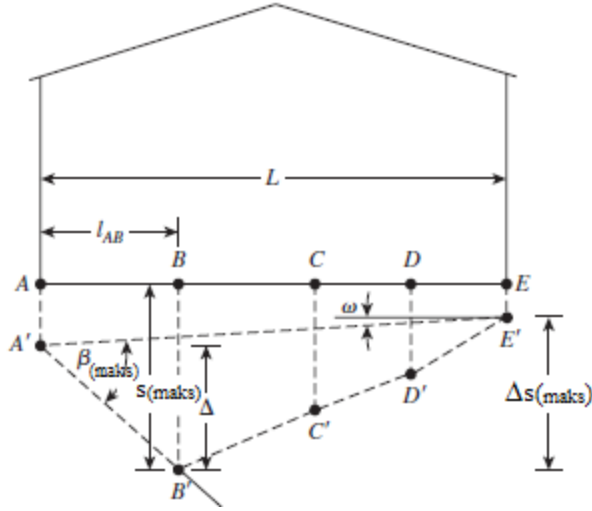
Winkler (1867) [1]	$k_s = \frac{q}{s}$
Biot (1937) [8]	$k_s = \frac{0.95 \times E_s}{B_{temel} \times (1 - v_s^2)} \times \left[\frac{B^4 \times E_s}{(EI)(1 - v_s^2)} \right]^{0.108}$
Terzaghi (1955) [3]	$k_s = k_{(plaka)} \times \left(\frac{B_{temel} + B_{plaka}}{2B_{temel}} \right)$
Vesic (1961) [9]	$k_s = \frac{0.65 \times E_s}{B_{temel} \times (1 - v_s^2)} \times \sqrt[12]{\frac{B^4 \times E_s}{(EI)}}$
Meyerhof ve Baïke (1963) [10]	$k_s = \frac{E_s}{B_{temel} \times (1 - v_s^2)}$
Selvadurai (1984) [11]	$k_s = \frac{0.65}{B_{temel}} \times \frac{E_s}{(1 - v_s^2)}$
Bowles (1998) [12]	$k_s = \frac{E_s}{B \times (1 - v_s^2) \times (m \times I_s \times I_f)}$

Bu tablodaki m: sırasıyla temel kenarı için 1,2 merkezi için ise 4 alınabilir, I_s : temelin şekline bağlı etki faktörü, I_f : temelin şekline bağlı etki faktörü, E_s : zeminin elastisite modülü, v_s : zeminin Poisson oranı, k_s : yatak katsayısı, E: temel elastisite modülü, I: temel atalet momenti, B_{temel} : temel genişliğidir.

Ülkemizde yatak katsayısını belirlemek için iki tür yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, literatürden elde edilen ve zeminin türüne göre tablo halinde verilen değerleri kullanma yöntemidir. İkincisi ise, proje yerine ait arazide yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından yatak katsayısı elde etme yöntemidir.

Çizelge 2.1’in incelenmesi sonucunda elde edilecek yatak katsayıları deplasmanlardan bağımsız olmaktadır. Yapı temelinde oluşacak olan deplasman miktarının şartnamelerde belirtilen değerlerden fazla olması, yapı güvenliği açısından istenmez. Temel tasarımında araştırmacılar ve standartlar tarafından önerilen hasarlanma kriterleri Şekil 2.1’de

gösterilmiş, izin verilebilir deplasman değerleri ise Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’da sunulmuştur.



Şekil 2.1. Deplasman tanımlarının şekilsel gösterimi [13]

Bu şekilde ω : rijit dönme açısı, Δ : farklı oturma, L : temel uzunluğu, $\beta_{(maks)}$: maksimum açısal çarpılma, $\Delta s_{(maks)}$: maksimum farklı oturma, $s_{(maks)}$: maksimum oturma H : bina yüksekliğidir.

Çizelge 2.2. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı [14]

Zeminin Cinsi	$s_{(maks)}$ (mm)
Kum	32
Kil	45

Çizelge 2.3. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı [14]

Temel Türü	Zeminin Cinsi	$\Delta s_{(maks)}$ (mm)
Tekil Temel	Kum	51
	Kil	76
Radye Temel	Kum	51-76
	Kil	76-127

Çizelge 2.4. İzin verilebilir deplasman oranı [15]

Kum ve Kil için önerilen;	
$\frac{\Delta}{L}$	$\frac{L}{H}$
0,0003	≤ 2
0,001	$= 8$

Çizelge 2.5. Zemin cinsine bağlı izin verilebilir deplasman miktarı [16]

Bina Türü	L/H	Zemin Cinsi	Δ/L
Çok Katlı	≤ 3	Kum	0,0003
		Kil	0,0004
	≥ 5	Kum	0,0005
		Kil	0,0007
Tek Katlı	-	Kil – Kum	0,001

Çizelge 2.6. Temel türüne bağlı izin verilebilir deplasman miktarı [17]

Temel Türü	$S_{(maks)}$ (mm)
Tekil Temel	25
Radye Temel	50

Ülkemizde temel tasarımı yapılırken elastik zemine oturan yapı ile zemin arasındaki bağıntıyı kurmak için sıklıkla Çizelge 2.1’de özetlenen yöntemler kullanılarak, yatak katsayı değerleri hesaplanmaktadır. Bu yüzden yapısal tasarımın önemli bir parçası olan temel tasarımı, yapı ile zemin arasındaki etkileşim ihmal edilerek ve zemin özelliklerini dikkate almadan yapılmaktadır. Literatürde deplasmana bağlı olmayan ve yapı – temel – zemin etkileşimini dikkate almayan yatak katsayı yöntemi ile ilgili olarak farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Lin, Yang ve Juang (1998) tarafından sahada yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından yola çıkılarak, plaka boyutu arttıkça yatak katsayısının azaldığı ve taşıma gücü değerinin arttığı ortaya konmuştur [18].

Moayed ve Janbaz (2008) tarafından kohezyonlu zeminde yapılan plaka ve temel yükleme deneyleri sonucunda, 3 boyutlu sonlu elemanlar analizinin, Terzaghi’nin (1955) plaka ve temel boyutuna bağlı olarak önerdiği yatak katsayısına göre daha gerçekçi olduğu ve Terzaghi (1955) yönteminin daha güvensiz olduğu ortaya konmuştur [19].

Potts (2009) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, yatak katsayısı değerinin arttıkça oluşacak olan deplasmanın azaldığı ve buna bağlı olarak yapıda oluşacak olan momenti azalttığı ortaya konmuştur [20].

Moayed ve Janbaz (2011) tarafından farklı boyutlarda yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından yola çıkılarak, elde edilen yatak katsayısı değerinin boyut etkisine göre düzeltilmesi gerektiğini ortaya koymuştur [21].

Dinçer'e (2011) göre yatak katsayısı değeri bir çok değişkene bağlıdır bu yüzden zemin mukavemet parametreleri yüksek korelasyonlu olarak yatak katsayı değeri elde etmek için yeterli değildir [22].

Marto ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, temel boyutu arttıkça yatak katsayısı değerinin azaldığı ve kuru zemin koşullarında hesaplanan yatak katsayısı değerinin doygun zemin koşullarına göre daha yüksek değerler verdiği ortaya konmuştur [23].

Moayed ve Bolandi (2012) tarafından yapılan sonlu elemanlar analizi ve ölçümlenmiş plaka - temel yükleme deney sonucuna göre; zemin elastiste modülü arttıkça, oluşacak olan deplasman azalmakta ve buna bağlı olarak yatak katsayısı değerinin arttığı saptanmıştır [24].

Abd Elsamaee (2013) tarafından kohezyonsuz zeminde 3 farklı plaka tipine bağlı olarak yapılan yükleme deneyleri sonucunda; zemin içsel sürtünme açısı ve/veya temel derinliği arttıkça yatak katsayısının arttığı ortaya çıkarılmıştır [25].

Mühendislik yapıları izin verilebilir kıstaslar çerçevesinde tasarlanmalıdır. Bu yüzden temel tasarımı yaparken Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da özetlenen izin verilebilir deplasman kriterleri göz önünde bulundurularak tasarım yapılmaktadır.

Yapısal tasarımın önemli bir parçası olan temel tasarımı, yapı ile zemin arasındaki etkileşim göz ardı edilmeden yapılmalıdır. Bu konu ile ilgili olarak literatürde yapı – temel – zemin etkileşimi ile ilgili birçok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bunlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Daloğlu ve Vallabhan'a (2000) göre esnek temellerde yapılan yapısal analizlerde; sabit yatak katsayısı kullanmak sistemde eşit deplasmana sebep olmuştur. Ancak gerçek sonuca yaklaşabilmek için, temelin köşe noktalarında temel orta noktasına kıyasla daha yüksek yatak katsayısı girilerek tasarım yapılmasının gerekliliği ortaya çıkarılmıştır [26].

Mısır, Özden ve Kahraman'a (2005) göre yapılan çalışmada tek parametrelili yatak katsayısı ile iki parametrelili yatak katsayısı kullanılarak yapısal tasarım yapılmış ve bunun sonucunda bina yapısal tasarımındaki yük paylaşımının değiştiği ortaya çıkmıştır [27].

Kahraman, Mısır ve Özden'e (2007) göre değişken yatak katsayısı değeri ile yapılan sonlu elemanlar analizinde hesaplanan eğilme momentinin, sabit yatak katsayısı ile yapılan analizlere göre ciddi şekilde arttığı ortaya konulmuştur. Ayrıca; temel hasarlanma kriterlerinden biri olan açısallı çarpılma değerinin, sabit yatak katsayısı ile yapılan analizlerde çok düşük değerler alırken, değişken yatak katsayısı ile yapılan analizlerde oldukça yüksek değerler aldığı ortaya konmuştur [28].

Girgin, Mısır, Özden ve Kahraman'a (2008) göre yapısal tasarım yapılırken, yapı-temel-zemin arasındaki etkileşimini dikkate almak gerekmektedir. Bunun sebebi; üst yapı tarafından gelen yüklerin, temel tarafından zemine aktarılırken oluşacak olan deplasmanların, üst yapı taşıyıcı sistemindeki iç kuvvetleri ve yük dağılımından elde edilen değerleri 3 kata kadar olumsuz yönde değiştirdiği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konmasıdır [29].

Sadrekarami ve Akbarzad (2009) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, pratikte yatak katsayısı hassasiyetini arttırmak için iki yol önerilmektedir. Bunlardan birincisi, temel – zemin – yapı etkileşimi üzerinde tecrübe sahibi kişiler tarafından hesaplanmalıdır. İkincisi ise, eşdeğer elastisite modülü hesaplanırken, zemin tabakalarının geometrik özellikleri ile zemin mekanik özelliklerinin derinlik ile değişimi hesaba katılmalıdır. Ayrıca, winkler yöntemi ile yapılan analizler sonucunda, temas basıncının olması gerekenden yüksek değerlere ulaştığı ve zeminde oluşan yatak gerilmelerinin ise ihmal ettiğini ortaya çıkarılmıştır [30].

Abdul Hussein'e (2011) göre, aynı yapı sistemi için, farklı yatak katsayısı değerleri kullanıldığı zaman deplasmanların çok geniş bir aralıkta değiştiği ve yapı içsel kuvvetlerinin ciddi bir şekilde güvensiz yönde değiştiği ortaya konmuştur [31].

Farouk ve Farouk'a (2014a) göre, izin verilebilir taşıma gücü değerinden elde edilen yatak katsayısı, temel altında eşit temas basıncı sağlamakta ve temelde eşit deplasman oluşmasına sebep olmaktadır. Bu yöntemin yerine; sonlu elemanlar yöntemin yardımı ile

hesaplanan temas basıncına göre elde edilen yatak katsayısı kullanıldığında, iç duvar yüklerinin % 6 arttığı, dış duvar yüklerinin ise % 8 azaldığı saptanmıştır [32]. Ayrıca, yatak katsayısı değerinin her yerde aynı olmadığı ve temas basıncına bağlı olduğu bulunmuştur. Geleneksel yöntemle göre hesaplanan yatak katsayısı ile yapılan analizlerde, temeller yarı rijit olarak modellenmektedir. Bunun sonucunda; temel ortasında düşük, kenarlarda ise yüksek yatak katsayısı değeri elde edilmiştir [33].

Farouk ve Farouk (2015a)'a göre, temel boyunca eşit dağılımlı yatak katsayısı kullanmanın, temel – yapı – zemin etkileşimini dikkate almadığı ve bunun sonucunda yapı sisteminde iç kolonlarda normal kuvveti düşürdüğü, kenar kolonlarda normal kuvveti arttırdığı ve köşe kolonlarda normal kuvveti değiştirmediği bulunmuştur [34]. Plaka yükleme deneyinde kullanılan plaka ile gerçek boyutlu temel arasında rijitlik farkı olması sebebi ile, plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı değerinin sadece genişlik düzeltilmesi yapılarak kullanılmasının uygun olmadığı belirtilmiştir [35].

Ülkemizde yapı sistemin en önemli noktalarından biri olan temel tasarımı, maalesef yapı – zemin etkileşimini ihmal eden farklı yaklaşımlar tarafından yapılmaktadır. Bunun sonucunda; bazı yapı elemanlarında elde edilen kesit tesirlerinde minimum donatı oranı yeterli olurken, değişken yatak katsayısı yöntemi kullanılarak hesaplanan kesit tesirlerine göre donatı oranları minimum donatı oranının yaklaşık olarak 3 katına kadar çıkmaktadır. Ayrıca yapı tasarımında temel sisteminin bağımsız olarak tasarlanması durumunda üst yapı taşıyıcı sisteminde meydana gelecek olan etkilerin göz ardı edileceği yukarıdaki araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Üst yapı tasarımı yaparken mutlaka yapı – zemin etkileşimini dikkate almak gerekmektedir.

Bu nedenle, bu çalışmada deplasmana bağlı olarak azalama eğilimi gösteren yatak katsayılarının temel derinliğine, temel ölçüsüne, içsel sürtünme açısına ve zemin elastisite modülüne bağlı olarak değişimi sunulmuştur.

2.1. Literatürde Bulunan Yatak Katsayısı Değerleri

Yatak katsayıları ile ilgili sabit değerler, Dörken ve Dehne (1955), Terzaghi (1955), Zeevaert (1983: 234), Baldouf (1988), Ersoy (1995: 177), Bowles (1996: 505), Das (2007: 312), Uzuner (2011: 170) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmacıların sunmuş oldukları temel deplasmanına bağlı olmayan yatak katsayıları Çizelge 2.7 ile Çizelge 2.14 arasında sunulmuştur.

Çizelge 2.7. Yatak katsayısı değerleri [36]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Turba	5000 – 15 000
Orta Katı Kil	20 000 – 30 000
Katı Kil	40 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	60 000 – 80 000
Sert Kil	100 000
Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Orta sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	120 000 – 150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 250 000

Çizelge 2.8. Yatak katsayısı değerleri [3]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Katı Kil	24 000 – 48 000
Sert Kil	48 000 – 96 000
Çok Sert Kil	>96 000
Gevşek Kum	8000 – 12 800
Orta Sıkı Kum	19 600 – 41 600
Sıkı Kum	96 000 – 160 000

Çizelge 2.9. Yatak katsayısı değerleri [37]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Gevşek Kum	6400 – 19 200
Orta Sıkı Kum	19 200 – 96 200
Sıkı Kum	96 200 – 320 100
Katı Kil	16 000 – 32 100

Çizelge 2.10. Yatak katsayısı değerleri [38]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Orta Katı Kil	20 000 – 30 000
Katı Kil	40 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	60 000 – 80 000
Sert Kil	100 000
Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Orta sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	120 000 – 150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 250 000

Çizelge 2.11. Yatak katsayısı değerleri [39]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Balçık, Turba	< 2000
Plastik Kil	5000 – 10 000
Yarı Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Toprak Dolgu	10 000 – 20 000
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Sağlam Şist	> 500 000
Kaya	> 2 000 000

Çizelge 2.12. Yatak katsayısı değerleri [40]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Gevşek kum	4800 – 16 000
Orta Sıkı Kum	9600 – 80 000
Sıkı Kum	64 000 – 128 000
Killi Orta Sıkı Kum	32 000 – 80 000
Siltli Orta Sıkı Kum	24 000 – 48 000
Killer	
$\sigma_{emn} \leq 200$ kPa	12 000 – 24 000
$200 \text{ kPa} < \sigma_{emn} \leq 800$ kPa	24 000 – 48 000
$\sigma_{emn} > 800$ kPa	> 48 000

Çizelge 2.13. Yatak katsayısı değerleri [13]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Kuru Gevşek Kum	8000 – 25 000
Kuru Orta Sıkı Kum	25 000 – 125 000
Kuru Sıkı Kum	125 000 – 375 000
Doygun Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Doygun Orta Sıkı Kum	35 000 – 40 000
Doygun Sıkı Kum	130 000 – 150 000
Katı Kil	12 000 – 25 000
Yarı Sert Kil	25 000 – 50 000
Sert Kil	>50 000

Çizelge 2.14. Yatak katsayısı değerleri [41]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Gevşek kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Yumşak Kil	5000 – 10 000
Orta Sert Kil	10 000 – 15 000

Çizelge 2.7 ile Çizelge 2.14 arasındaki çizelgelerin incelenmesi sonucunda, bütün zemin türlerini ve bu türlere ait derlenen yatak katsayılarının en büyük ve en küçük değerleri

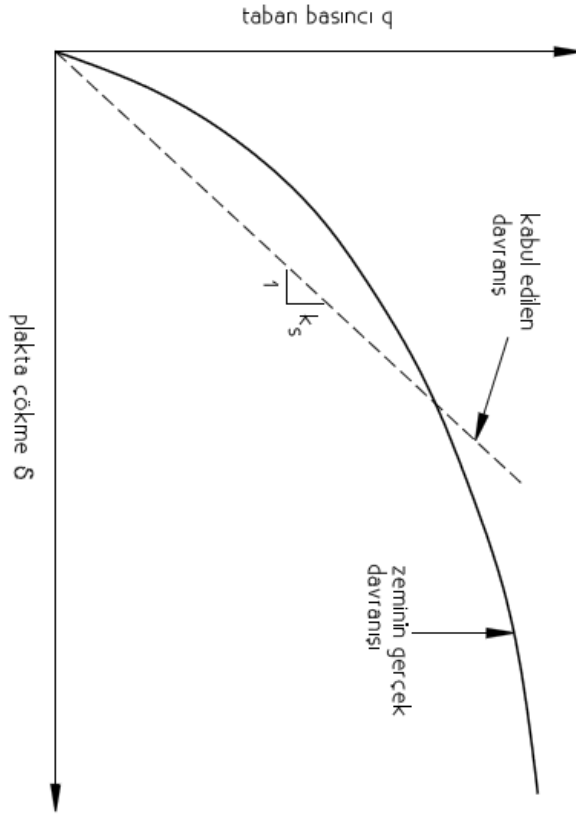
Çizelge 2.15’de sunulmuştur. Sonuç olarak Çizelge 2.15’de görüldüğü gibi aynı zemin türüne ait çok geniş yatak katsayısı değerleri ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.15. Literatürden derlenen en büyük ve en küçük yatak katsayısı değerleri

Zemin Cinsi	Minimum k_s (kN/m ³)	Maksimum k_s (kN/m ³)
Gevşek kum	4800	20 000
Orta Sıkı Kum	9600	100 000
Sıkı Kum	50 000	320 100
Killi Orta Sıkı Kum	32 000	80 000
Siltli Orta Sıkı Kum	24 000	48 000
Kuru Gevşek Kum	8000	25 000
Kuru Orta Sıkı Kum	25 000	125 000
Kuru Sıkı Kum	125 000	375 000
Doygun Gevşek Kum	10 000	15 000
Doygun Orta Sıkı Kum	35 000	40 000
Doygun Sıkı Kum	130 000	150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000	250 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000	150 000
Toprak Dolgu	10 000	20 000
Balçık, Turba	2 000	15 000
Yumşak Kil	5 000	10 000
Plastik Kil	5 000	10 000
Katı Kil	12 000	50 000
Orta Katı Kil	20 000	30 000
Yarı Sert Kil	10 000	80 000
Sert Kil	15 000	100 000
Çok Sert Kil	>96 000	-
Sağlam Şist	>500 000	-
Kaya	>2 000 000	-

2.2. Plaka Yükleme Deneyi

Yatak katsayısı değeri plaka yükleme deneyi ile elde edilebilir. Şekil 2.2’de gösterilen plaka yükleme deneyi sonucunda elde edilen yük – deplasman eğrisinin, lineer kabul edilen parçasının eğimi, yatak katsayısı olarak ifade edilmektedir [42].

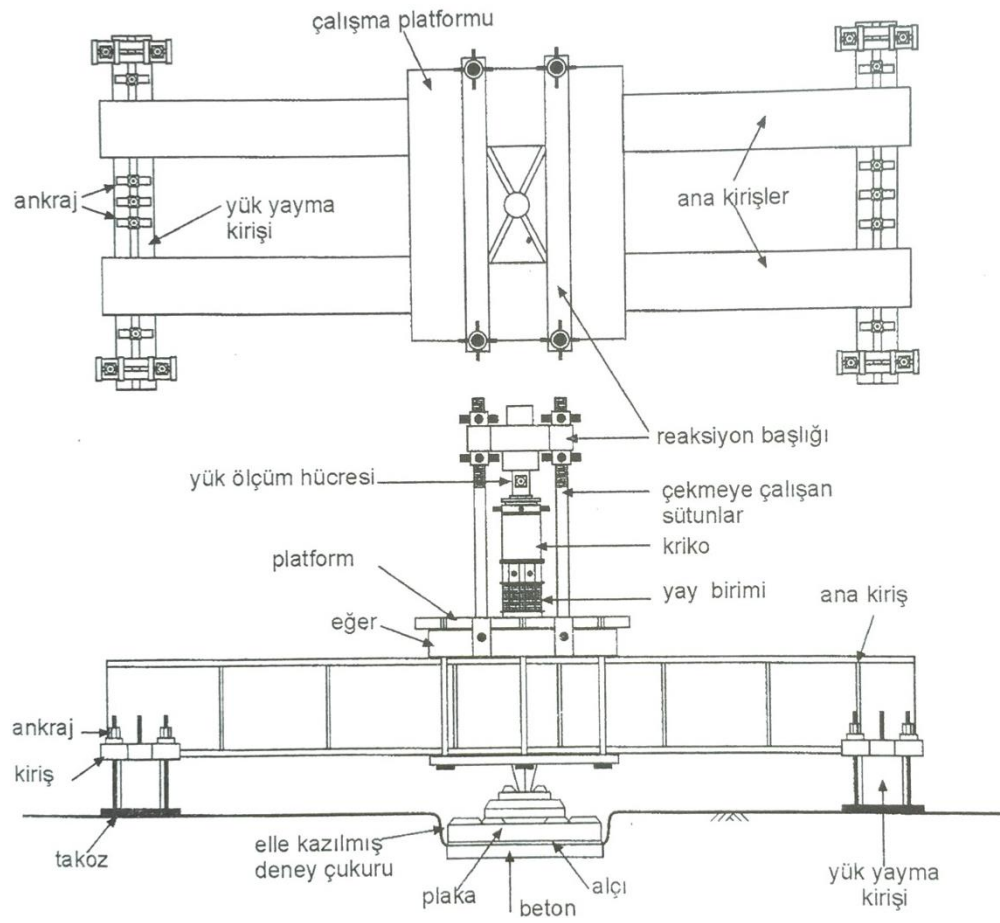


Şekil 2.2. Zemin davranışı ile yatak katsayısı arasındaki ilişki [43]

Ülkemizde plaka yükleme deneyi Resim 2.1 ve Şekil 2.3’de gösterildiği şekilde yapılmaktadır. Plaka yükleme deneyi, TS 5744 nolu standartta tariflenmiş olup, zeminin rijit bir plakayla yüklenecek plaka çapının iki - üç katı bir derinlikte, son taşıma gücü, deformasyon modülü ve yatak katsayısının hesaplanmasını sağlayacak verileri elde etmede kullanılacak bir deney olarak tanımlanmıştır.



Resim 2.1. Plaka yükleme deney düzeneği [18]



Şekil 2.3. Plaka yükleme deney düzeneği şekilsel gösterimi [43]

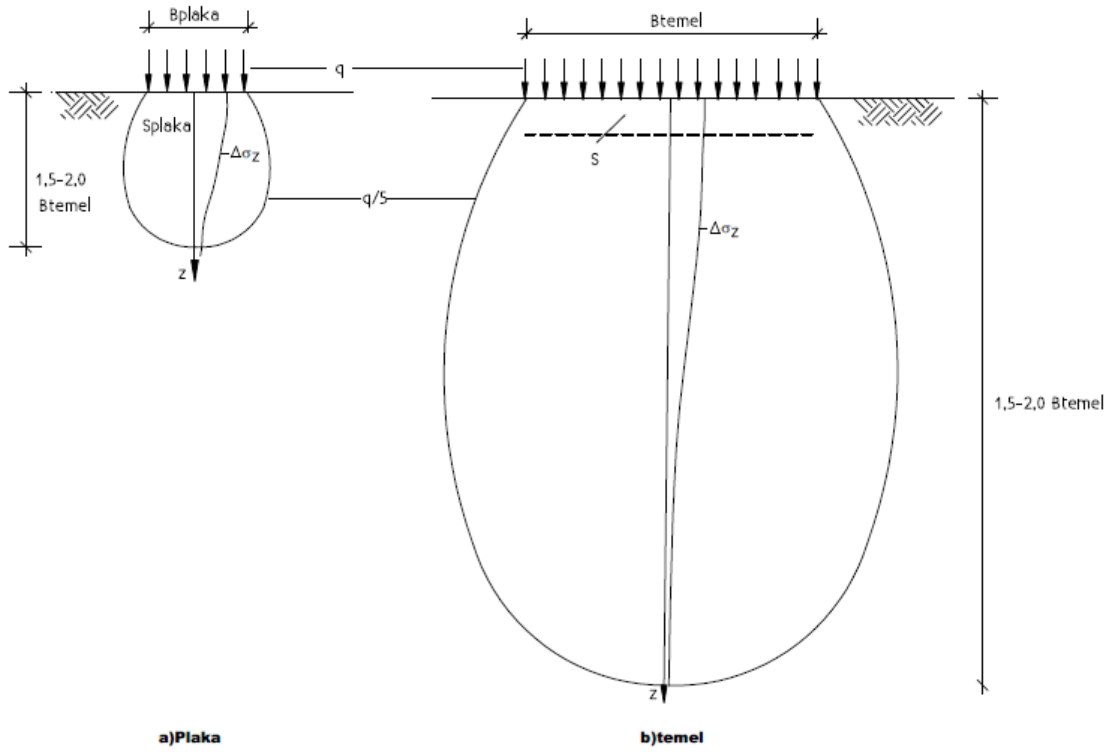
Bu standartta, deneylerde kullanılacak plakaların, 300 mm, 600 mm ve 762 mm çaplarında kalınlığının ise 25 mm den az olmayacak şekilde çelik malzemeden olması gerekmektedir. Plaka yükleme deneyinin, en az üç farklı yerde gerçekleştirilmesi ve kullanılan en büyük plaka çapından minimum beş katı mesafede olması gerekmektedir [44].

Eurocode 7 (2004)'de, plaka yükleme deneyi sonucunda ölçüm yapılarak kayıt altına alınan yük ve düşey deplasman sayesinde yatak katsayısının elde edilebileceği belirtilmektedir. Bu standarda göre; plaka yükleme deney sonuçlarının temel tasarımında hiçbir düzeltme yapmadan kullanılabilmesi için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır [45].

- a) Plaka yükleme deneyi yapılan zemin koşullarının, homojen yapıya sahip olması ve plaka boyutunun azami 2 katı derinliğinde olması gerekmektedir.
- b) Plaka yükleme deneyinde kullanılacak olan plaka boyutu, tasarımı yapılan temel boyutlarına yaklaşık değerlerde olmalıdır.

2.3. Yatak Katsayısı İçin Literatürde Önerilen Düzeltme Bağlantıları

Plaka yükleme deneyinde kullanılan plaka boyutunun, temel boyutundan daha küçük olması sebebi ile plaka etkili derinliği Şekil 2.4'de gösterildiği üzere gerçek boyutlu bir temele göre daha yüzeyseldir. Bu yüzden, sadece yüzeye yakın zeminin özelliklerini yansıtmakta ve yanıltıcı sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.4. Plaka ve temel etki derinliği [41]

Bu nedenle plaka yükleme deneylerinden elde edilen yatak katsayısı değerleri, düzeltme yapılmadan, karayolu yol kaplamaları ve buna benzer çok sığ etki derinlikleri altında gerçekleşen durumlar için kullanılabilir.

Temel tasarımında, plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayılarını kullanabilmek için temel boyutuna ve derinliğine bağlı olarak düzeltme yapılması gerekir.

Bu amaçla, Terzaghi (1955) değişik temel türleri için aşağıdaki bağıntıları önermektedir.

Granüler zemine oturan kare veya dairesel temeller için;

$$k_s = k_{(plaka)} \times \left(\frac{B_{temel} + B_{plaka}}{2B_{temel}} \right)^2 \quad (2.1)$$

$$s_s = s_{(plaka)} \times \left(\frac{2B_{temel}}{B_{temel} + B_{plaka}} \right)^2 \quad (2.2)$$

Granüler zemine oturan dikdörtgen temel için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir;

$$k_s = \frac{k_{(plaka)} \left(1 + \frac{B_{temel}}{L}\right)}{1.50} \quad (2.3)$$

Granüler zemine oturan şerit temeller için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir;

$$k_s = 0,67 \times k_{(Plaka)} \quad (2.4)$$

Terzaghi (1955), ayrıca yatak katsayısı değerlerinin temel derinliğine bağlı olarak düzeltilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

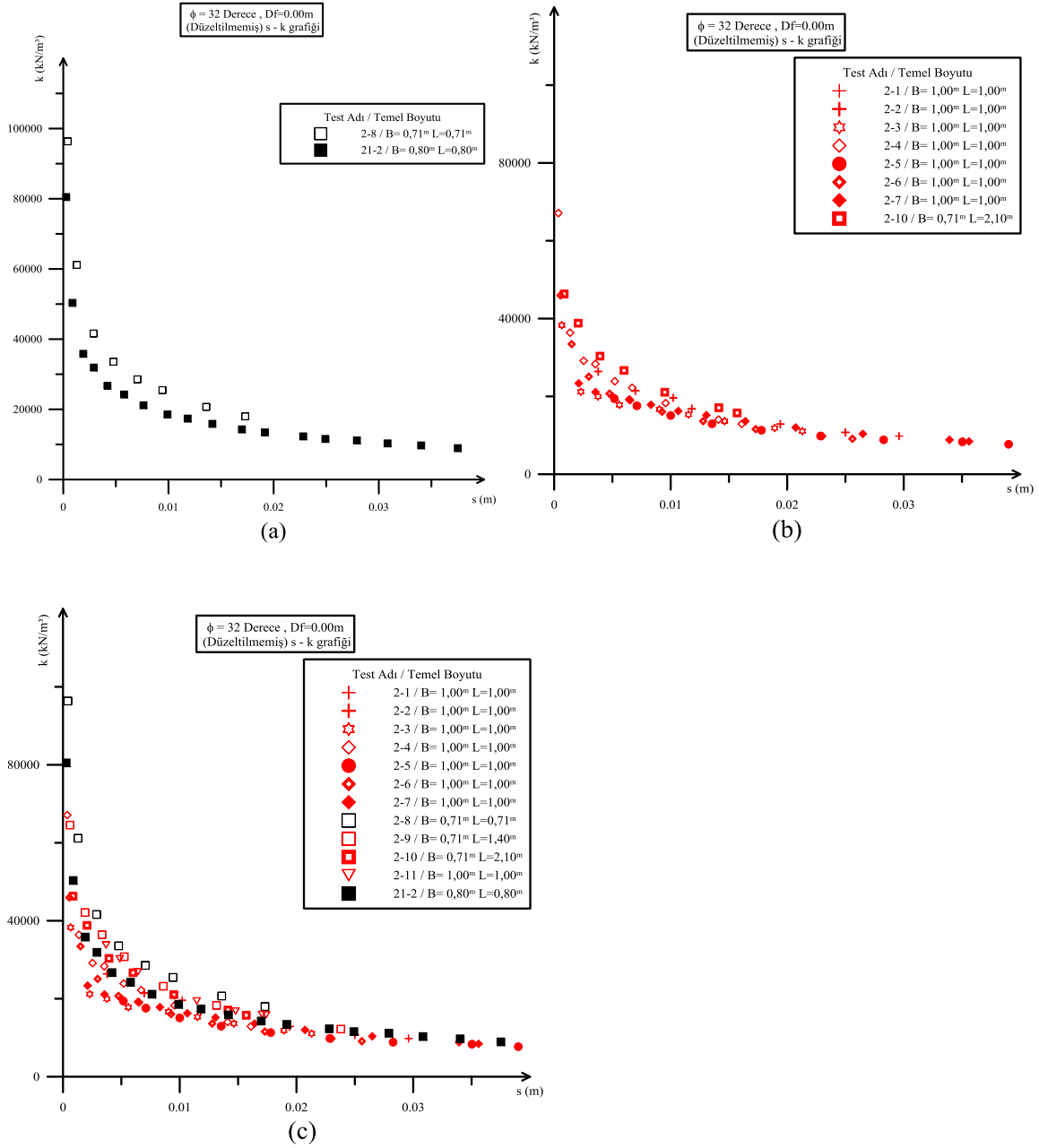
$$k_s = k_{(Plaka)} \times \left(1 + \frac{2 \times D_f}{B_{temel}}\right) \quad (2.5)$$

Burada; B_{temel} : temel genişliği, B_{plaka} : plaka genişliği, L : temel uzunluğu, D_f : temel derinliği, $k_{(plaka)}$: plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı, k_s : yatak katsayısı, $s_{(plaka)}$: plaka yükleme deneyinden elde edilen düşey deplasman, s_s : temele ait düzeltilmiş düşey deplasmandır.

2.4. Temel Boyutunun Yatak Katsayısı Üzerindeki Etkisi

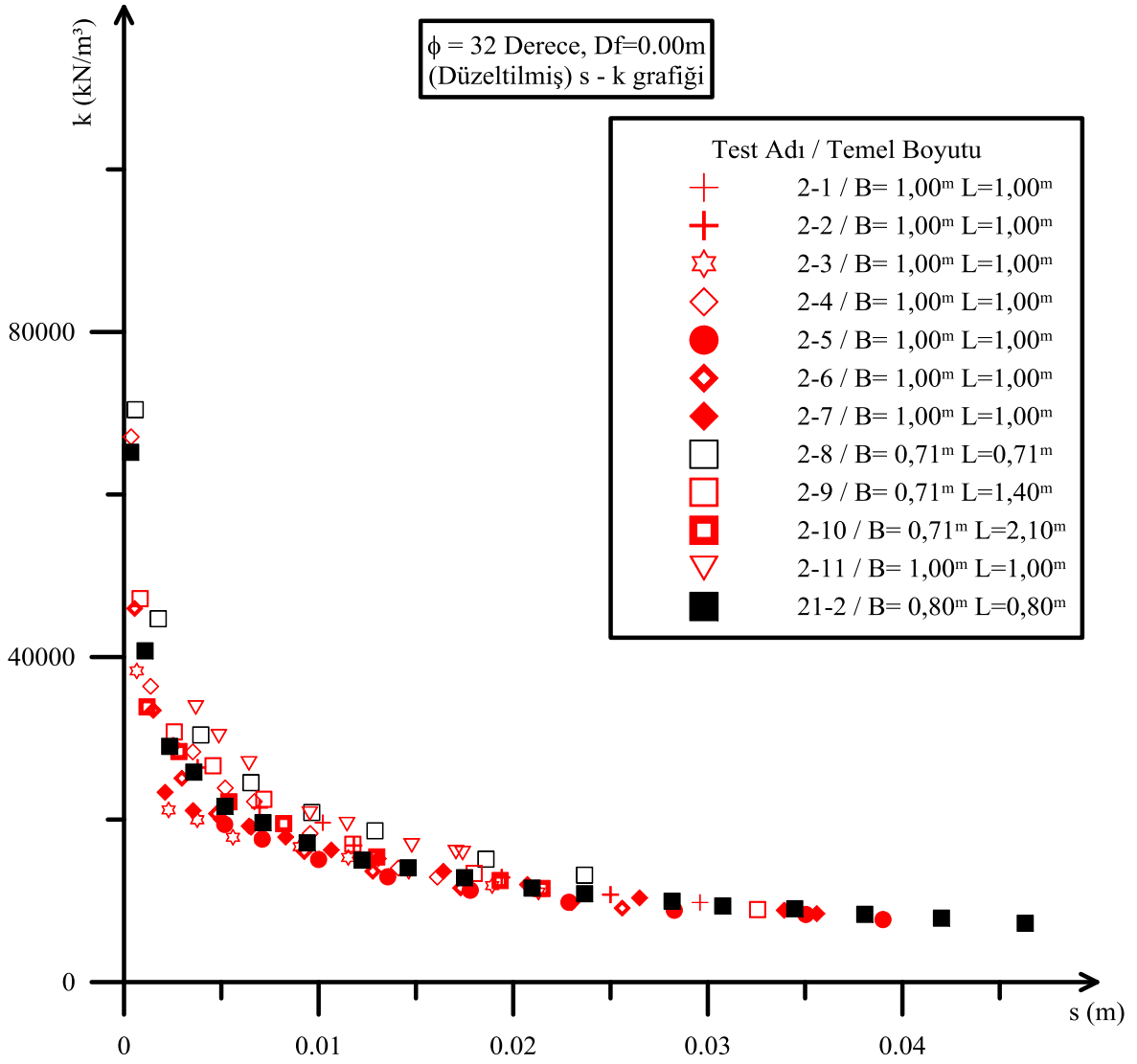
Plaka yükleme deney sonuçları; zemin içsel sürtünme açısına, temel genişliği bir metreden büyük ve temel genişliği bir küçük olmak üzere kendi içerisinde gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre zemin içsel sürtünme açısı 32 derece için ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafikleri Şekil 2.5’de verilmiştir.

Temel genişliği (B) bir metreden küçük olanlar Şekil 2.5 (a)’da, temel genişliği bir metreden büyük olanlar Şekil 2.5 (b)’de ve bütün temel genişlikleri kapsayan ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı Şekil 2.5 (c)’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$)

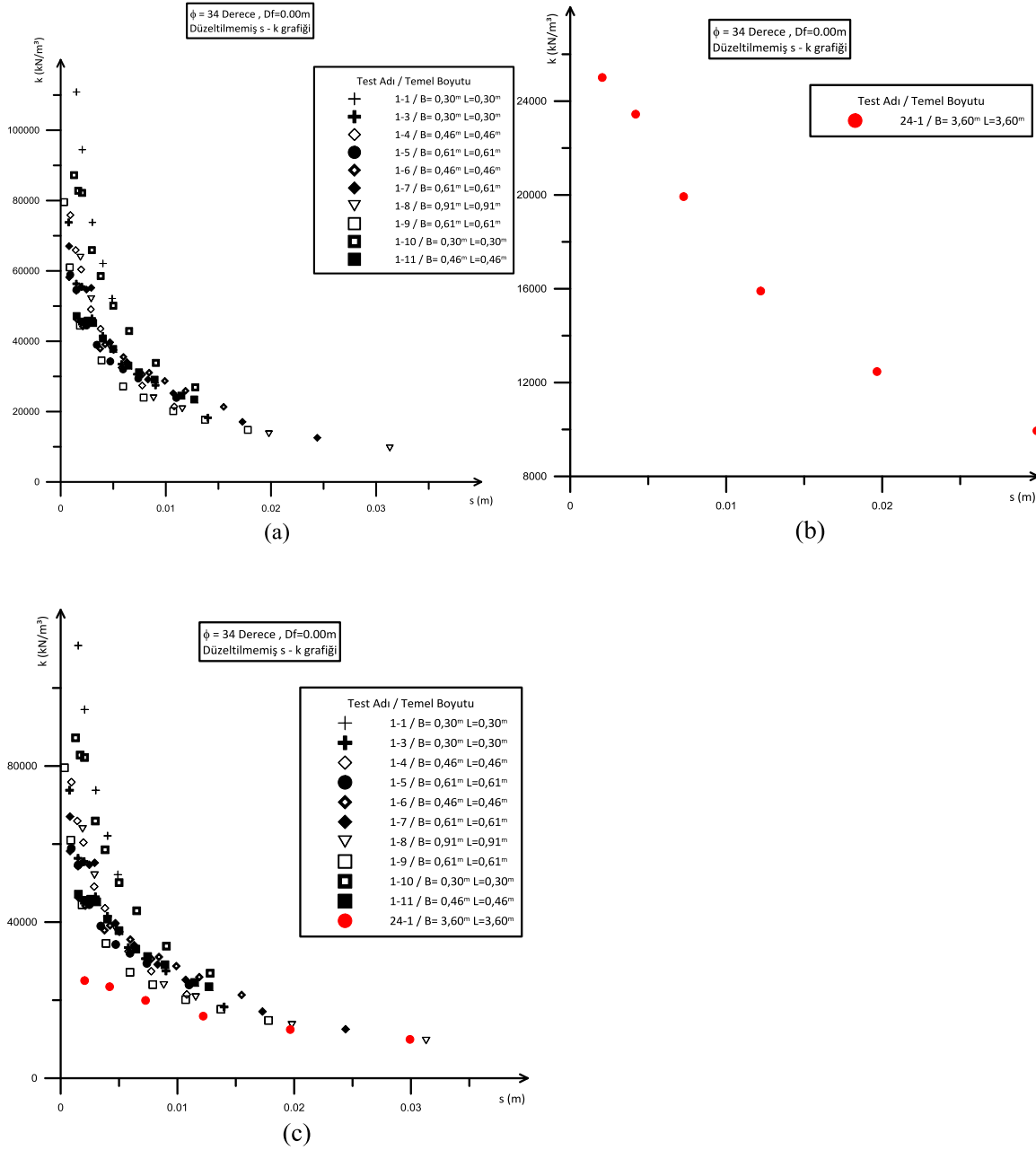
Terzaghi (1955) düzeltme bağıntıları temel genişliği sadece bir metreden küçük olan temellere uygulanmıştır. Temel genişliği bir metreden büyük olanlar için Terzaghi (1955) düzeltme bağıntıları Şekil 2.5 (b)'deki ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı değerleri yakınsak oldukları için uygulanmamıştır. Düzeltilmiş deplasman – yatak katsayısı ($B<1m$) ve düzeltme ihtiyacı duyulmamış deplasman – yatak katsayısı ($B>1m$) sonuçları Şekil 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 2.6. Düzeltme yapılmış ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$)

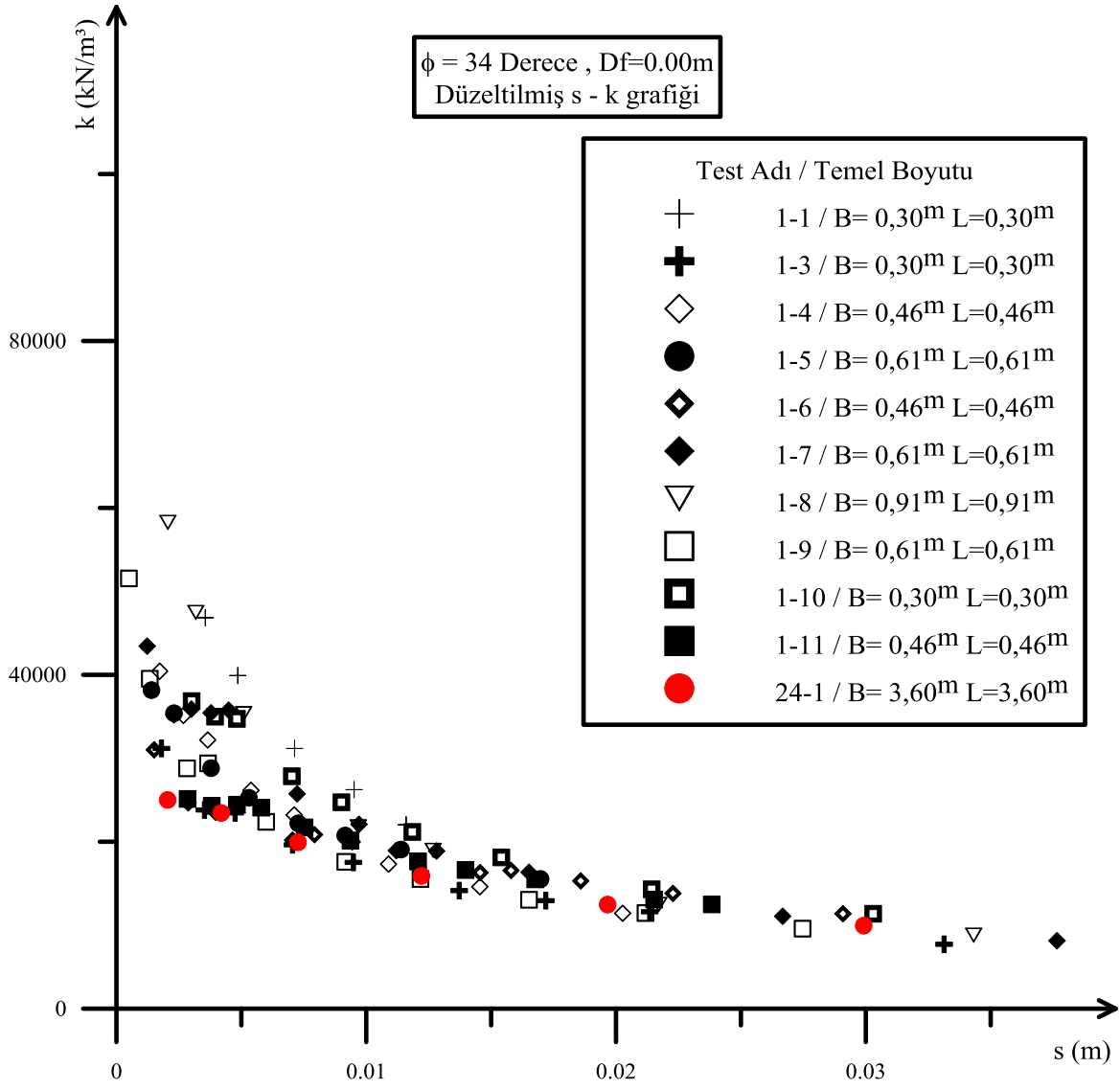
Plaka yükleme deney sonuçları; zemin içsel sürtünme açısına, temel genişliği bir metreden büyük ve temel genişliği bir küçük olmak üzere kendi içerisinde gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre zemin içsel sürtünme açısı 34 derece için ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafikleri Şekil 2.7’de verilmiştir.

Temel genişliği (B) bir metreden küçük olanlar Şekil 2.7 (a)’da, temel genişliği bir metreden büyük olanlar Şekil 2.7 (b)’de ve bütün temel genişlikleri kapsayan ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı Şekil 2.7 (c)’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$)

Terzaghi (1955) düzeltme bağıntıları temel genişliği sadece bir metreden küçük olan temellere uygulanmıştır. Temel genişliği bir metreden büyük olanlar için Terzaghi (1955) düzeltme bağıntıları Şekil 2.7 (b)'deki ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı değerleri yakınsak oldukları için uygulanmamıştır. Düzeltilmiş deplasman – yatak katsayısı ($B < 1m$) ve düzeltme ihtiyacı duyulmamış deplasman – yatak katsayısı ($B > 1m$) sonuçları Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

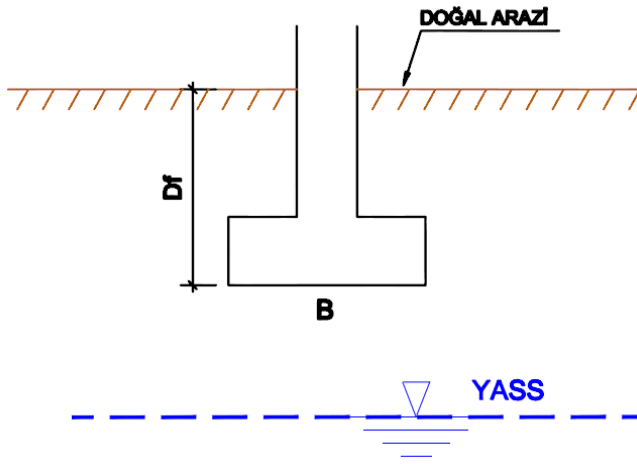


Şekil 2.8. Düzeltme yapılmış ölçülmüş deplasman – yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$)

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

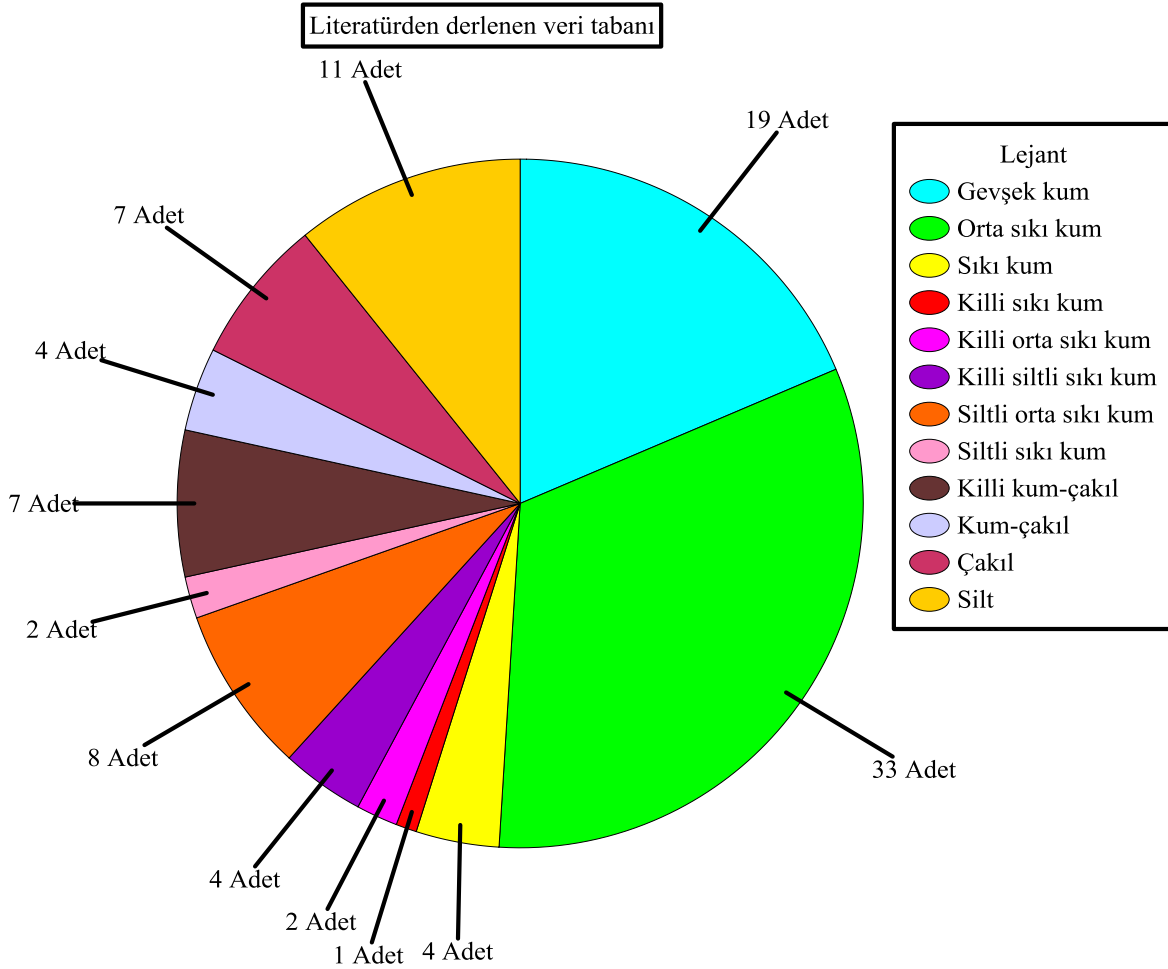
3.1. Veriler

Literatürden elde edilen gerçek boyutlu temel yükleme deneyleri ile plaka yükleme deneyleri toplandığında, temel derinliği sıfır olan 69 adet ve temel derinliği sıfırdan büyük olan 35 adet deney olmak üzere toplamda 104 adet veri bulunmaktadır. Veri tabanında belirtilen temel derinliği, temel genişliği ve yer altı su seviyesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Veri tabanında kullanılan; temel boyutu, derinliği ve yeraltı su seviyesi gösterimi

Farklı zemin türleri için literatürden derlenen 104 adet verinin, yük – deplasman eğrileri oluşturulmuş ve EK’de sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında yük – deplasman eğrisi ve zemin karakteristikleri elastisite modülüne bağlı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirme sonucu olarak, zemin içsel sürtünme açısına bağlı elastisite modül değerleri çıkarılmıştır. Literatürden derlenen 104 adet deney verisi, zemin cinsine ve deney sayısına bağlı olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Literatürden derlenen veri tabanı

Kullanılan veri tabanında bulunan deneylerde yükleme yapılan temellerin genişliği 0,25 m–6,9 m, uzunluğu ise 0,25 m–6,9 m arasında değişmektedir. Deneyler kare, dikdörtgen ve dairesel olmak üzere 3 farklı geometri için gruplandırılmıştır. Zeminin içsel sürtünme açısı 32° – 43° arasında; birim hacim ağırlığı ise 14,7–22,1 kN/m³ değişmektedir. Literatürden derlenen plaka yükleme deneyleri sonucunda, plakaya uygulanan kuvvet 17–8000 kN arasında değişmekte olup uygulanan bu kuvvetler sonucunda plakada oluşan deplasmanlar 0,9–40 mm arasında değişmektedir.

3.2. Zemin Sınıflandırılması

Zeminler, davranışlarına göre sistematik şekilde kategorilere ayrılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada, farklı zemin sınıflandırma sistemleri olmasına rağmen bütün yöntemlerin ana

fikri, mühendislere tasarıma geçmeden önce ya da tasarım sırasında karşılaşılabilecek olan problemler hakkında fikir vermektir.

Bu çalışmada elde edilen verilerin yabancı kaynaklardan alınması ve en çok kabul gören zemin sınıflandırma sistemi olmasından dolayı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS) kullanılmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıfında kullanılan semboller Çizelge 3.1’de açıklanmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde, Çizelge 3.1’de kullanılan semboller yardımı ile birbirinden ayrılan 15 farklı zemin sınıflandırma tanımı mevcuttur. Kullanılan zemin sınıflandırma sistemine ait kabuller Çizelge 3.2’de kısaca açıklanmıştır.

Çizelge 3.1. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller

Sembol	Açıklaması
G	Çakıl
S	Kum
C	Kil
M	Silt
O	Turba (organik)
W	İyi derecelenmiş
P	Kötü derecelenmiş
L	Düşük plastisiteli
H	Yüksek plastisiteli

Çizelge 3.2. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi

Ana Gruplar			Grup Sembolü	Zemin Cinsi	Laboratuvar Sınıflandırma Kriteri				
İri Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen<%50)	Çakıllar (İri kısmın No.4 Elekten geçen %'si <%50)	Temiz çakıllar (No.200 Elek altı <%5)	GW	İyi derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları	No.200 Elekten Geçen Kısım <%5 GW,GP,SW,SP >%12 GM,GC,SM,SC %5-12 Çift Sembol Kullanılır	$C_u=D_{60}/D_{10}>4$ ve $C_c=D_{30}^2/((D_{10})*(D_{60}))=1-3$			
			GP	Kötü derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları		$C_u\leq 4$ ve $C_c\neq 1-3$			
		Siltli ve killi çakıllar (No.200 Elek altı >%12)	GM	Siltli çakıllar, çakıl-kum-silt karışımları		A hattının altında veya $PI<4$	A hattının üstünde ve $4<PI<7$ çift sembol		
			GC	Killi çakıllar, çakıl-kum-kil karışımları		A hattının üzerinde veya $PI>4$			
	Kumlar (İri kısmın No.4 Elekten geçen %'si>%50)	Temiz kumlar (No.200 Elek altı <%5)	SW	İyi derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar		$C_u=D_{60}/D_{10}>6$ ve $C_c=D_{30}^2/((D_{10})*(D_{60}))=1-3$			
			SP	Kötü derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar		$C_u\leq 6$ veya $C_c\neq 1-3$			
		Siltli ve killi kumlar (No.200 Elek altı >%12)	SM	Siltli kumlar		A hattının altında veya $PI<4$	A hattının üstünde ve $4<PI<7$ çift sembol		
			SC	Killi kumlar		A hattının üzerinde veya $PI>4$			
		İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen>%50)	Siltler ve Killler	Düşük plastisiteli siltler ve killler $LL<%50$		ML	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler		
						CL	Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killler		
OL	Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler								
Yüksek plastisiteli siltler ve killler $LL>%50$	MH			Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler					
	CH			Yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killler					
	OH			Yüksek plastisiteli organik siltler ve killi siltler					
Organik Zeminler			Pt	Turba zeminler ve diğer organik zeminler					

Kullanılan veri tabanının, içsel sürtünme açısına bağlı olarak belirlenen zemin sıkılık derecesi Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. İçsel sürtünme açısına bağlı zemin sıkılık sınıflaması [5]

İçsel sürtünme açısı (ϕ°)	Rölatif sıkılık (%)	Sınıflama
<30	<20	Çok gevşek
30 – 35	20 – 40	Gevşek
35 – 40	40 – 60	Orta sıkı
40 – 45	60 – 80	Sıkı
>45	>80	Çok sıkı

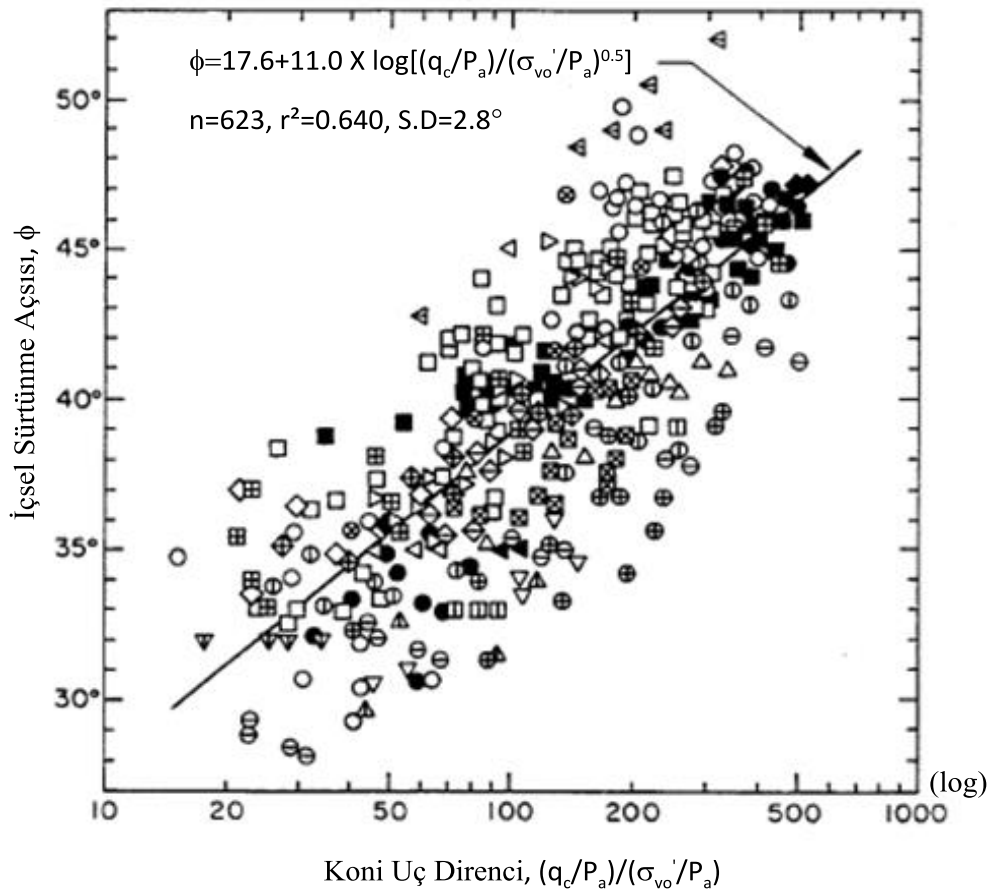
3.3. Zemin Parametrelerinin Bulunması

Geoteknik analizlerde zemin mukavemet parametrelerine sıkılıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Saha deneyleri, kohezyonsuz zeminlerin mukavemet parametrelerinin belirlenebildiği en

güvenilir ve en ekonomik deney türüdür. Bu yüzden, oluşturulan veri tabanında 3 farklı saha deneyine rastlanmıştır. Bunlar; konik penetrasyon testi, standart penetrasyon testi ve presiyometre testidir.

Literatürden derlenen saha deneyleri sonucunda; 30 cm penetrasyon için darbe sayısı (N) 7 – 32 arasında, örtü yükü düzeltmesi yapılmamış % 60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değeri (N_{60}) 3 – 34 arasında ve % 60 enerji oranı ve örtü yükü düzeltmesi yapılmış SPT değeri (N_1)₆₀ 6 – 40 arasındadır.

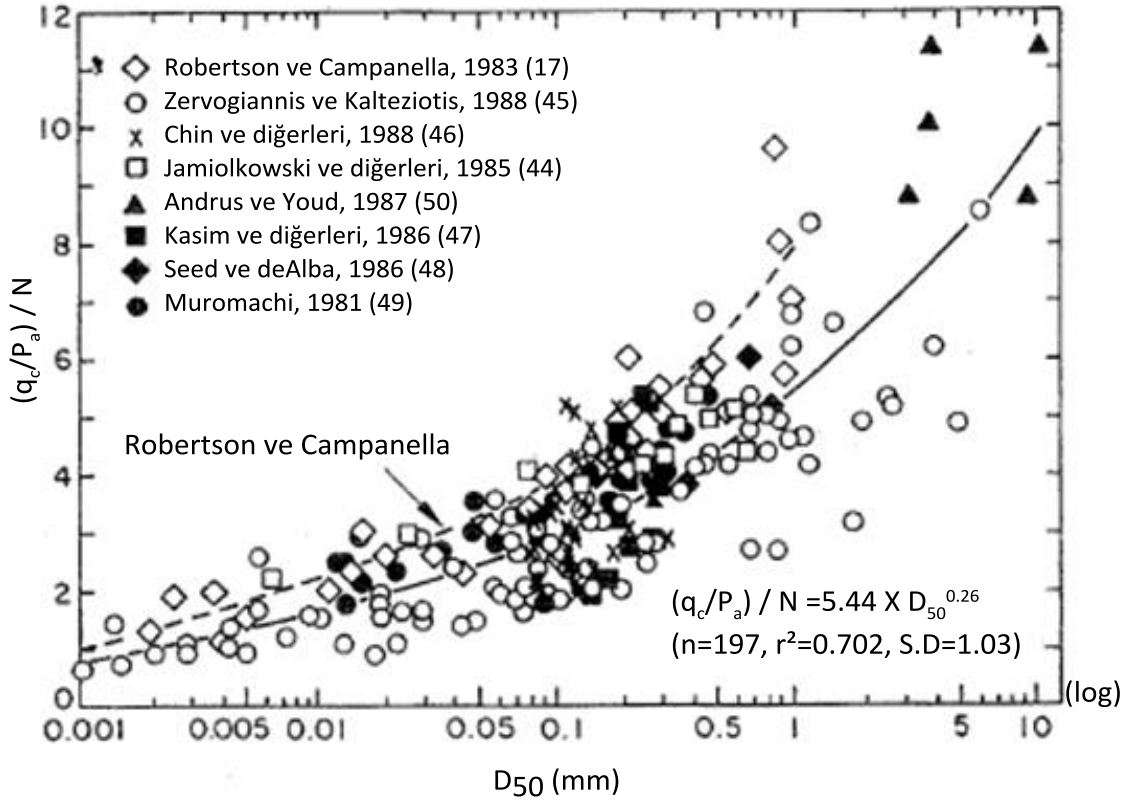
Şekil 3.3’de gösterildiği üzere, konik penetrasyon test sonucu kullanılarak kumlar için koni uç direnci ve zemin içsel sürtünme açısı arasında bir korelasyon gerçekleştirilmiştir. Bu korelasyon sayesinde, konik uç direnci bilinen kumlar için zemin içsel sürtünme açısı direkt olarak bulunabilmektedir.



Şekil 3.3. CPT’ye bağlı içsel sürtünme açısı [46]

Burada; q_c : konik uç direnci, P_a : atmosfer basıncı, σ_{vo}' : konik ucundaki efektif gerilmedir.

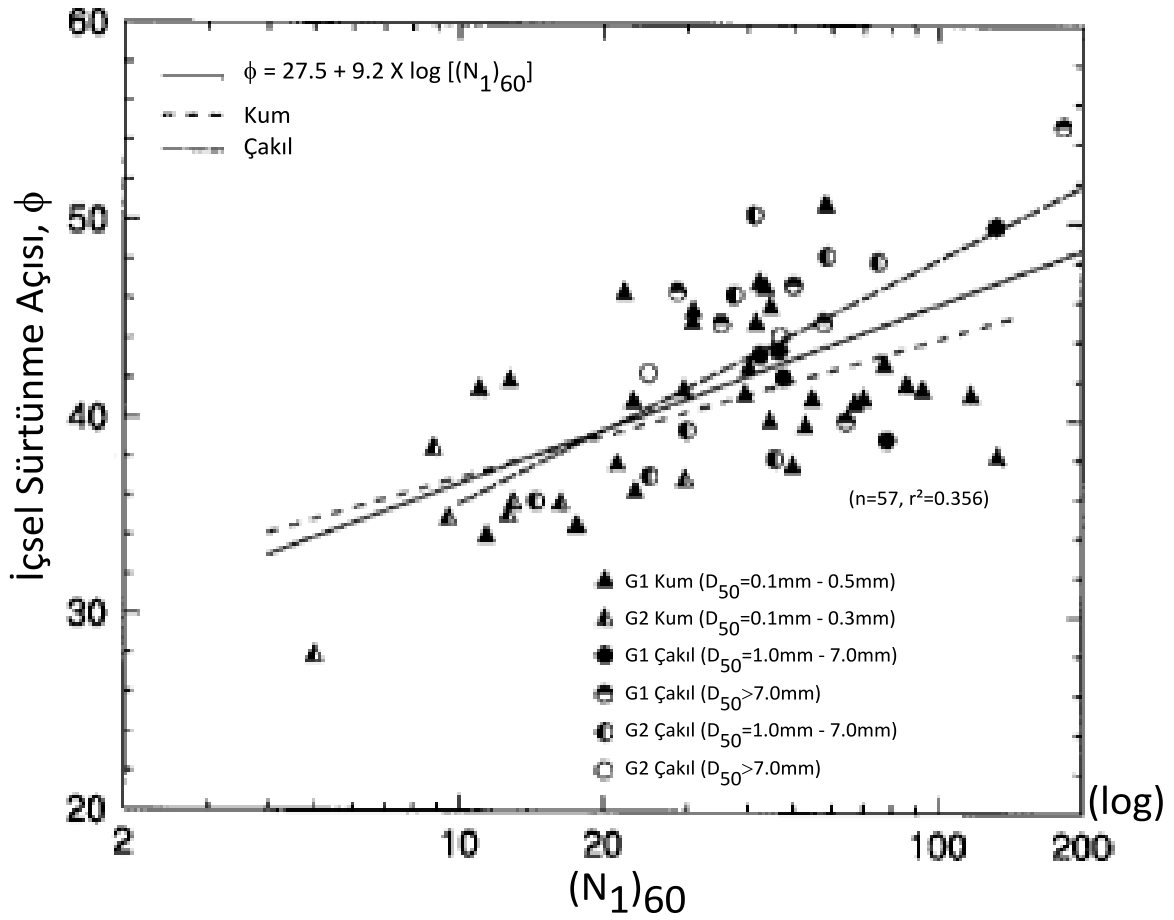
Literatürden derlenen veri tabanında, konik penetrasyon testinin yapılmadığı deney sahaları mevcuttur. Ancak, bu deney sahalarında standart penetrasyon testi yapılmış ve zemin penetrasyon değeri hesaplanmıştır. Şekil 3.4’de SPT-N değeri ve dane boyutu bilinen zeminler için konik uç direnci bulunmaktadır. Bulunan konik uç direnci sayesinde Şekil 3.3’de verilen grafik kullanılarak, zemin içsel sürtünme açısı bulunabilmektedir.



Şekil 3.4. D_{50} ve N arasındaki ilişki [46]

Burada; q_c : konik uç direnci, P_a : atmosfer basıncı, N: 30 cm penetrasyon için darbe sayısı ve D_{50} : malzemenin ağırlıkça % 50'sinin geçtiği dane çapını ifade etmektedir.

Chen (2004), zemin içsel sürtünme açısı ve düzeltilmiş SPT $(N_1)_{60}$ değerlerini kullanarak kohezyonsuz zeminler için bir korelasyon önermiştir. Bu çalışma Şekil 3.5’de verilmiş olup Şekil 3.3.’de verilen korelasyon ile büyük uyum sağlamaktadır.



Şekil 3.5. SPT'ye bağlı içsel sürtünme açısı [47]

Bu grafikte, ϕ : İçsel sürtünme açısı, $(N_1)_{60}$: % 60 enerji oranı ve örtü yükü düzeltmesi yapılmış SPT değeridir.

Oluşturulan veri tabanında yapılan saha deneyleri sonucunda bulunan içsel sürtünme açısında herhangi bir uyumsuzluk olmaması için birbirine oldukça yakın sonuçlar veren Şekil 3.3 ve Şekil 3.5'de verilen korelasyonlar kullanılarak, zemin içsel sürtünme açısı bulunmuştur.

Literatürden derlenen veriler içerisinde 11 adet siltli malzeme bulunmaktadır. Yapılan çalışmada, siltli malzemenin kohezyon değerinin olmadığı kabulüne göre çözümler yapılmıştır. Literatürden derlenen veri tabanı Çizelge 3.4'de ve yapılan saha deneyleri Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan veri tabanı

Test Adı	Referans No	Zemin Tipi	B (m)	L (m)	D _f (m)	E _{hesaplanan} (kPa)	YASS (m)	γ (kN/m ³)	ϕ°
1-1	[48]	Gevşek kum	0,30	0,30	0,00	90000	Kuru	-	34
1-2	[48]	Gevşek kum	0,46	0,46	0,00	100000	Kuru	-	34
1-3	[48]	Gevşek kum	0,30	0,30	0,00	50000	Kuru	-	34
1-4	[48]	Gevşek kum	0,46	0,46	0,00	70000	Kuru	-	34
1-5	[48]	Gevşek kum	0,61	0,61	0,00	60000	Kuru	-	34
1-6	[48]	Gevşek kum	0,46	0,46	0,00	60000	Kuru	-	34
1-7	[48]	Gevşek kum	0,61	0,61	0,00	70000	Kuru	-	34
1-8	[48]	Gevşek kum	0,91	0,91	0,00	50000	Kuru	-	34
1-9	[48]	Gevşek kum	0,61	0,61	0,00	40000	Kuru	-	34
1-10	[48]	Gevşek kum	0,30	0,30	0,00	70000	Kuru	-	34
1-11	[48]	Gevşek kum	0,46	0,46	0,00	60000	Kuru	-	34
2-1	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	50000	-	19,50	32
2-2	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	50000	-	19,50	32
2-3	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	40000	-	19,50	32
2-4	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	40000	-	19,50	32
2-5	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	30000	-	19,50	32
2-6	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	35000	-	19,50	32
2-7	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	45000	-	19,50	32
2-8	[49]	Silt	0,71	0,71	0,00	80000	-	19,50	32
2-9	[49]	Silt	0,71	1,40	0,00	70000	-	19,50	32
2-10	[49]	Silt	0,71	2,10	0,00	50000	-	19,50	32
2-11	[49]	Silt	1,00	1,00	0,00	70000	-	19,50	32
3-1	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,00	90000	3,00	16,80	35
3-2	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,00	70000	3,00	16,80	35
3-3	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,00	40000	3,00	16,80	35
3-4	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,00	50000	3,00	16,80	35
4-1	[51]	Kum ve çakıl	0,61	0,61	0,00	150000	3,96	-	43
5-1	[52]	Çakıl	0,75	-	0,00	20000	Kuru	-	36
5-2	[52]	Çakıl	0,45	-	0,00	30000	Kuru	-	39
6-1	[53]	Kum ve çakıl	0,30	0,30	0,00	60000	6,40	20,80	41
7-1	[54]	Orta sıkı kum	0,61	0,61	0,00	40000	Kuru	14,70	35
7-2	[54]	Orta sıkı kum	0,91	0,91	0,00	120000	Kuru	14,80	36
7-3	[54]	Orta sıkı kum	0,61	0,61	0,00	50000	Kuru	14,80	36
7-4	[54]	Orta sıkı kum	0,46	0,46	0,00	60000	Kuru	14,80	36
8-1	[55]	Çakıl	0,90	0,90	0,00	60000	Kuru	22,10	43
8-2	[55]	Çakıl	0,60	0,60	0,00	100000	Kuru	22,10	43
9-1	[56]	Killi sıkı kum	0,60	-	0,00	30000	1,50	18,40	40
9-2	[56]	Killi orta sıkı kum	0,45	-	0,00	70000	1,50	18,40	36
10-1	[56]	Killi orta sıkı kum	1,20	-	0,00	40000	2,00	18,40	38
11-1	[57]	Orta sıkı kum	0,61	0,61	0,00	15000	1,50	19,00	39
11-2	[57]	Orta sıkı kum	0,31	0,31	0,00	30000	1,50	19,00	39
11-3	[57]	Orta sıkı kum	0,61	0,61	0,00	20000	1,50	19,00	39
11-4	[57]	Orta sıkı kum	0,31	0,31	0,00	60000	1,50	19,00	39
12-1	[58]	Sıkı kum	0,80	0,80	0,00	30000	-	17,40	41
13-1	[58]	Sıkı kum	0,63	0,63	0,00	50000	-	17,60	42
14-1	[51]	Kum ve çakıl	0,31	0,31	0,00	140000	3,96	21,60	41

Çizelge 3.4. (devam) Kullanılan veri tabanı

Test Adı	Referans No	Zemin Tipi	B (m)	L (m)	D _f (m)	E _{hesaplanan} (kPa)	YASS (m)	γ (kN/m ³)	ϕ°
15-1	[59]	Killi kum ve çakıl	1,20	1,20	0,00	130000	Kuru	20,40	43
15-2	[59]	Killi kum ve çakıl	0,30	0,30	0,00	110000	Kuru	20,40	42
15-3	[59]	Killi kum ve çakıl	1,20	1,20	0,00	140000	Kuru	20,40	42
15-4	[59]	Killi kum ve çakıl	0,30	0,30	0,00	110000	Kuru	20,40	42
15-5	[59]	Killi kum ve çakıl	0,30	0,30	0,00	140000	Kuru	20,40	38,
15-6	[59]	Killi kum ve çakıl	1,20	1,20	0,00	50000	Kuru	20,40	40
15-7	[59]	Killi kum ve çakıl	0,30	0,30	0,00	40000	Kuru	20,40	38
16-1	[60]	Killi siltli sıkı kum	0,31	0,31	0,00	30000	10,36	16,20	41
17-1	[60]	Killi siltli sıkı kum	0,76	0,76	0,00	70000	10,36	16,20	41
18-1	[60]	Killi siltli sıkı kum	0,31	0,31	0,00	110000	10,36	16,20	41
19-1	[60]	Killi siltli sıkı kum	0,76	0,76	0,00	120000	10,40	16,20	41
20-1	[61]	Çakıl	0,25	0,25	0,00	30000	Kuru	19,20	39
20-2	[61]	Çakıl	0,30	0,30	0,00	10000	Kuru	19,20	39
20-3	[61]	Çakıl	0,40	0,40	0,00	10000	Kuru	19,20	39
21-1	[62]	Gevşek kum	0,63	0,63	0,00	70000	>5,00	-	34
21-2	[62]	Gevşek kum	0,80	0,80	0,00	70000	>5,00	-	32
22-1	[63]	Gevşek kum	0,70	0,70	0,00	90000	3,00	-	34
22-2	[63]	Gevşek kum	0,70	0,70	0,00	80000	3,00	-	34
22-3	[63]	Gevşek kum	1,00	1,00	0,00	110000	3,00	-	34
22-4	[63]	Gevşek kum	1,00	1,00	0,00	100000	3,00	-	34
22-5	[63]	Gevşek kum	1,00	1,00	0,00	110000	3,00	-	34
23-1	[64]	Gevşek kum	6,09	6,09	0,00	100000	1,20	-	34
24-1	[65]	Kum ve çakıl	3,60	3,60	-	105000	-	-	34
25-1	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	60000	3,00	16,80	35
25-2	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	50000	3,00	16,80	35
25-3	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	60000	3,00	16,80	35
25-4	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	40000	3,00	16,80	35
25-5	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	35000	3,00	16,80	35
25-6	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	40000	3,00	16,80	35
25-7	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	40000	3,00	16,80	35
25-8	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	0,20	35000	3,00	16,80	35
25-9	[50]	Orta sıkı kum	0,70	0,70	0,20	40000	3,00	16,80	35
25-10	[50]	Orta sıkı kum	0,70	0,70	0,20	40000	3,00	16,80	35
26-1	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	50000	3,00	16,80	35
26-2	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	3,00	16,80	35
26-3	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	3,00	16,80	35
26-4	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	3,00	16,80	35
26-5	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	3,00	16,80	35
26-6	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	3,00	16,80	35
26-7	[50]	Orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	50000	3,00	16,80	35
26-8	[50]	Orta sıkı kum	0,70	0,70	1,00	50000	3,00	16,80	35
26-9	[50]	Orta sıkı kum	0,70	0,70	1,00	50000	3,00	16,80	35
26-10	[50]	Orta sıkı kum	0,70	0,70	1,00	50000	3,00	16,80	35
27-1	[66]	Siltli orta sıkı kum	1,00	1,00	0,50	40000	-	-	38
27-2	[66]	Siltli orta sıkı kum	0,50	0,50	0,50	70000	-	-	38
28-1	[59]	Orta sıkı kum	0,31	0,31	1,20	50000	Kuru	20,40	38
28-2	[66]	Siltli orta sıkı kum	1,00	1,00	1,00	40000	-	-	38
28-3	[66]	Siltli orta sıkı kum	0,50	0,50	1,00	40000	-	-	38
29-1	[66]	Siltli orta sıkı kum	1,00	1,00	1,50	30000	-	-	38

Çizelge 3.4. (devam) Kullanılan veri tabanı

Test Adı	Referans No	Zemin Tipi	B (m)	L (m)	D _f (m)	E _{hesaplanan} (kPa)	YASS (m)	γ (kN/m ³)	ϕ°
29-2	[66]	Siltli orta sıkı kum	0,50	0,50	1,50	40000	-	-	38
30-1	[66]	Siltli orta sıkı kum	1,00	1,00	2,00	30000	-	-	38
30-2	[66]	Siltli orta sıkı kum	0,50	0,50	2,00	40000	-	-	38
31-1	[67]	Siltli sıkı kum	3,02	3,02	0,89	100000	4,90	15,50	40
31-2	[67]	Siltli sıkı kum	3,00	3,00	0,76	100000	4,90	15,50	40
32-1	[68]	Sıkı kum	2,35	-	2,35	30000	1,90	-	40
32-2	[68]	Sıkı kum	2,35	-	2,35	30000	1,90	-	40
33-1	[59]	Dolgu	0,61	0,61	3,35	15000	3,65	17,30	40
33-2	[59]	Dolgu	0,61	0,61	3,35	15000	3,65	17,30	40

Çizelge 3.5. Kullanılan veri tabanında yapılan saha deneyleri

Test adı	Referans no	Yapılan testler	N	N ₆₀	(N ₁) ₆₀
1-1	[48]	SPT	-	3	6
1-2	[48]	SPT	-	3	6
1-3	[48]	SPT	-	3	6
1-4	[48]	SPT	-	3	6
1-5	[48]	SPT	-	4	8
1-6	[48]	SPT	-	3	6
1-7	[48]	SPT	-	4	8
1-8	[48]	SPT	-	4	7
1-9	[48]	SPT	-	4	8
1-10	[48]	SPT	-	3	6
1-11	[48]	SPT	-	3	6
2-1	[49]	SPT,CPT,PMT	16	16	29
2-2	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-3	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-4	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-5	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-6	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-7	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
2-8	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	30
2-9	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	30
2-10	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	30
2-11	[49]	SPT, CPT, PMT	16	16	29
3-1	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	28
3-2	[50]	SPT, CPT, PMT	15	15	28
3-3	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	28
3-4	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	28
4-1	[51]	SPT	20	20	25
5-1	[52]	-	-	-	
5-2	[52]	-	-	-	
6-1	[53]	SPT	32	17	20
7-1	[54]	-	17	3	21
7-2	[54]	-	30	12	22
7-3	[54]	-	30	12	20
7-4	[54]	-	30	12	20
8-1	[55]	-	-	-	
8-2	[55]	-	-	-	
9-1	[56]	SPT,CPT	20	20	31
9-2	[56]	SPT,CPT	20	20	31
10-1	[56]	SPT, CPT	20	20	31
11-1	[57]	SPT, CPT	8	8	12
11-2	[57]	SPT, CPT	7	7	11
11-3	[57]	SPT, CPT	8	8	12
11-4	[57]	SPT, CPT	7	7	11
12-1	[58]	CPT	-	20	25

Çizelge 3.5. (devam) Kullanılan veri tabanında yapılan saha deneyleri

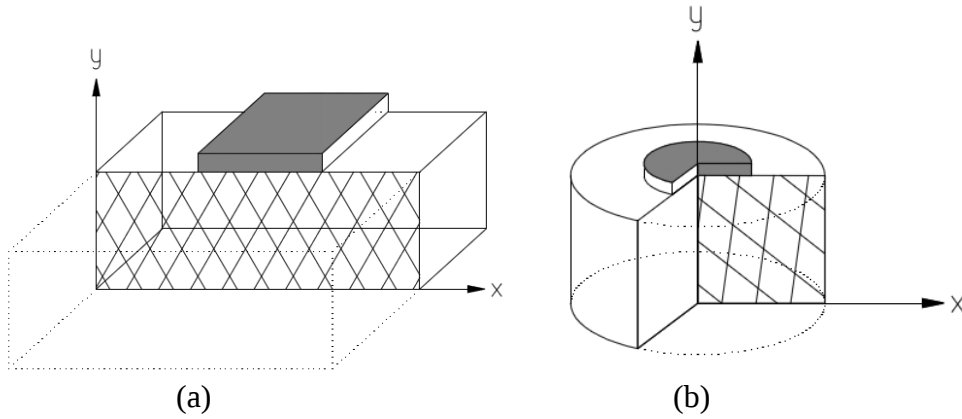
Test adı	Referans no	Yapılan testler	N	N ₆₀	(N ₁) ₆₀
13-1	[58]	CPT	-	23	29
14-1	[51]	SPT	20	20	27
15-1	[59]	SPT	-	32	40
15-2	[59]	SPT	-	25	33
15-3	[59]	SPT	-	26	32
15-4	[59]	SPT	-	25	33
15-5	[59]	SPT	-	11	14
15-6	[59]	SPT	-	16	20
15-7	[59]	SPT	-	10	13
16-1	[60]	SPT	-	25	32
17-1	[60]	SPT	-	28	30
18-1	[60]	SPT	-	34	28
19-1	[60]	SPT	-	-	-
20-1	[61]	-	-	-	-
20-2	[61]	-	-	-	-
20-3	[61]	-	-	-	-
21-1	[62]	CPT	-	-	-
21-2	[62]	CPT	-	-	-
22-1	[63]	CPT	-	-	-
22-2	[63]	CPT	-	-	-
22-3	[63]	CPT	-	-	-
22-4	[63]	CPT	-	-	-
22-5	[63]	CPT	-	-	-
23-1	[64]	CPT	-	-	-
24-1	[65]	-	-	-	-
25-1	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-2	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-3	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-4	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-5	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-6	[50]	SPT, CPT, PMT	15	15	27
25-7	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-8	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-9	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	27
25-10	[50]	SPT, CPT, PMT	15	15	27
26-1	[50]	SPT, CPT, PMT	14	14	22
26-2	[50]	SPT, CPT, PMT	14	14	22
26-3	[50]	SPT, CPT, PMT	15	14	22
26-4	[50]	SPT, CPT, PMT	15	14	22
26-5	[50]	SPT, CPT, PMT	14	14	22
26-6	[50]	SPT, CPT, PMT	14	14	22
26-7	[50]	SPT, CPT, PMT	14	14	22
26-8	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	24
26-9	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	24
26-10	[50]	SPT, CPT, PMT	14	15	24
27-1	[66]	SPT	-	20	20
27-2	[66]	SPT	-	20	20
28-1	[59]	SPT	-	9	14
28-2	[66]	SPT	-	20	20
28-3	[66]	SPT	-	20	20
29-1	[66]	SPT	-	20	20
29-2	[66]	SPT	-	20	20
30-1	[66]	SPT	-	20	20
30-2	[66]	SPT	-	20	20
31-1	[67]	SPT, CPT, PMT	25	27	39
31-2	[67]	SPT, CPT, PMT	21	21	31
32-1	[68]	CPT	-	-	-
32-2	[68]	CPT	-	-	-
33-1	[59]	SPT	12	16	19
33-2	[59]	SPT	12	16	19

3.3. Sonlu Elemanlar Modeli

Çalışmalarda kullanılan veri tabanında; temel tipi, temel boyutları ve içsel sürtünme açısı değerleri bilinen plaka yükleme deneyleri ve temel yükleme deneyleri için Plaxis 2D paket programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

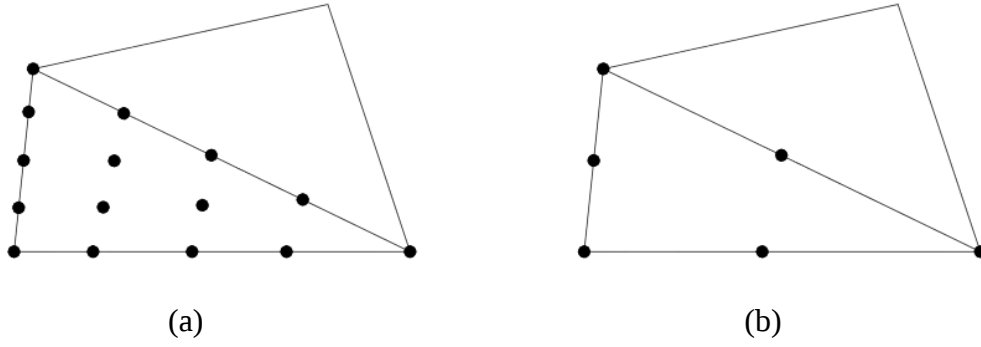
3.3.1. Model oluşturulması

Programda, geoteknik problemlerin doğru bir şekilde problem tipine ve koşullarına göre modellenebilmesi için malzeme özellikleri, yükleme durumları ve sınır koşullarının belirlenebileceği kendine ait bir ara yüzü bulunmaktadır. Programda, düzlem birim deformasyon ve eksenel simetri koşullarına göre analiz yapılabilmektedir. Düzlem birim deformasyon yönteminde Şekil 3.6 (a)'da gösterildiği gibi diğer doğrultularına göre bir doğrultuda sonsuz uzun kabul edilen şerit temel, istinat duvarı, tünel ve benzeri yapılar örnek gösterilebilir. Eksenel simetri yönteminde ise Şekil 3.6 (b)'de gösterildiği gibi silindirik koordinatlar göz önünde bulundurularak dairesel temel modellenebilmektedir.



Şekil 3.6. (a) Düzlem birim deformasyon (b) Eksenel simetri yöntemi

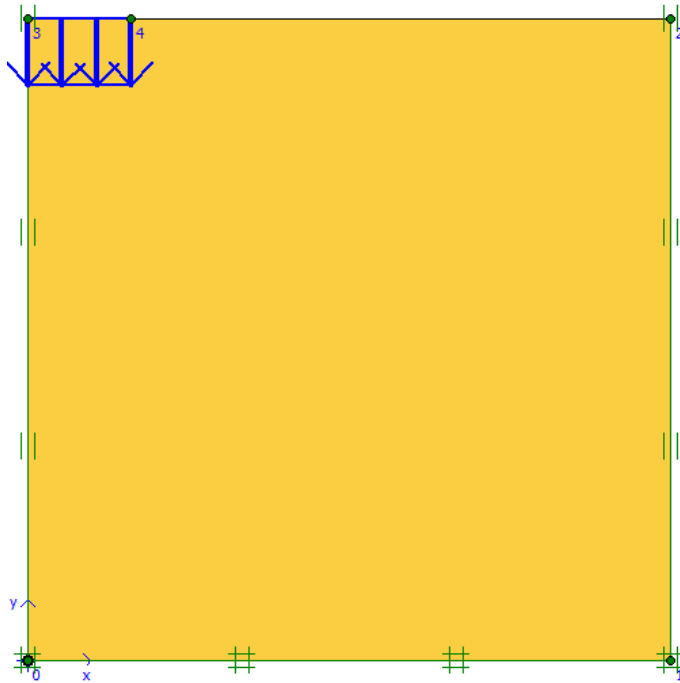
Sonlu elemanlar ağı Şekil 3.7'de gösterildiği gibi iki farklı yöntem ile oluşturulabilmektedir. Bunlardan birincisi 6 düğüm noktalı, ikincisi ise 15 düğüm noktalı üçgen elemanlardır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar ağının, 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar ile modellenerek daha hassas sonuç vermesi sağlanmıştır.



Şekil 3.7. (a) 15 düğüm noktalı üçgen eleman (b) 6 düğümlü üçgen eleman

Sonlu elemanlar yardımı ile çözüme gidilen geoteknik problemlerin doğru sonuç verebilmesi için model sınır koşullarının doğru seçilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde, çok yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Eksenel simetri yöntemi ile modellenen temel taşıma gücü analizi için kenar ve taban sınırlarının, temel boyutunun 5 katı kadar uzakta olması yeterlidir. Kullanılan sonlu elemanlar modeli örneği Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Bu çalışmada eksenel simetri yöntemi kullanılarak 2 boyutlu analiz yapılacağından, oluşturulan veri tabanında bulunan ve Çizelge 3.6’da özetlenen kare ve dikdörtgen temeller için eşdeğer çap yöntemine göre aynı temel alanını veren çap bulunarak dairesel temele çevrilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek plaxis modeli

Çizelge 3.6. Oluşturulan veri tabanında bulunan temellere ait eşdeğer yarıçap

Test Adı	B(m)	L(m)	Temel Tipi	Eşdeğer Yarıçap (m)
1-1	0,30	0,30	Kare	0,17
1-2	0,46	0,46	Kare	0,26
1-3	0,30	0,30	Kare	0,17
1-4	0,46	0,46	Kare	0,26
1-5	0,61	0,61	Kare	0,34
1-6	0,46	0,46	Kare	0,26
1-7	0,61	0,61	Kare	0,34
1-8	0,91	0,91	Kare	0,51
1-9	0,61	0,61	Kare	0,34
1-10	0,30	0,30	Kare	0,17
1-11	0,46	0,46	Kare	0,26
2-1	1,00	1,00	Kare	0,56
2-2	1,00	1,00	Kare	0,56
2-3	1,00	1,00	Kare	0,56
2-4	1,00	1,00	Kare	0,56
2-5	1,00	1,00	Kare	0,56
2-6	1,00	1,00	Kare	0,56
2-7	1,00	1,00	Kare	0,56
2-8	0,71	0,71	Kare	0,40
2-9	0,71	1,40	Dikdörtgen	0,56
2-10	0,71	2,10	Dikdörtgen	0,69
2-11	1,00	1,00	Kare	0,56
3-1	1,00	1,00	Kare	0,56
3-2	1,00	1,00	Kare	0,56
3-3	1,00	1,00	Kare	0,56
3-4	1,00	1,00	Kare	0,56
4-1	0,61	0,61	Kare	0,34
5-1	0,75	-	Daire	0,38
5-2	0,45	-	Daire	0,23
6-1	0,30	0,30	Kare	0,17
7-1	0,61	0,61	Kare	0,34
7-2	0,91	0,91	Kare	0,51
7-3	0,61	0,61	Kare	0,34
7-4	0,46	0,46	Kare	0,26
8-1	0,90	0,90	Kare	0,51
8-2	0,60	0,60	Kare	0,34
9-1	0,60	-	Daire	0,30
9-2	0,45	-	Daire	0,23
10-1	1,20	-	Daire	0,60
11-1	0,61	0,61	Kare	0,34
11-2	0,31	0,31	Kare	0,17
11-3	0,61	0,61	Kare	0,34
11-4	0,31	0,31	Kare	0,17
12-1	0,80	0,80	Kare	0,45
13-1	0,63	0,63	Kare	0,36
14-1	0,31	0,31	Kare	0,17
15-1	1,20	1,20	Kare	0,68
15-2	0,30	0,30	Kare	0,17
15-3	1,20	1,20	Kare	0,68
15-4	0,30	0,30	Kare	0,17
15-5	0,30	0,30	Kare	0,17
15-6	1,20	1,20	Kare	0,68
15-7	0,30	0,30	Kare	0,17
16-1	0,31	0,31	Kare	0,17
17-1	0,76	0,76	Kare	0,43
18-1	0,31	0,31	Kare	0,17
19-1	0,76	0,76	Kare	0,43
20-1	0,25	0,25	Kare	0,14
20-2	0,30	0,30	Kare	0,17
20-3	0,40	0,40	Kare	0,23
21-1	0,63	0,63	Kare	0,36
21-2	0,80	0,80	Kare	0,45
22-1	0,70	0,70	Kare	0,39
22-2	0,70	0,70	Kare	0,39
22-3	1,00	1,00	Kare	0,56
22-4	1,00	1,00	Kare	0,56
22-5	1,00	1,00	Kare	0,56
23-1	6,09	6,09	Kare	3,44
24-1	3,60	3,60	Kare	2,03

Çizelge 3.6.(devam) Oluşturulan veri tabanında bulunan temellere ait eşdeğer yarıçap

Test Adı	B(m)	L(m)	Temel Tipi	Eşdeğer Yarıçap (m)
25-1	1,00	1,00	Kare	0,56
25-2	1,00	1,00	Kare	0,56
25-3	1,00	1,00	Kare	0,56
25-4	1,00	1,00	Kare	0,56
25-5	1,00	1,00	Kare	0,56
25-6	1,00	1,00	Kare	0,56
25-7	1,00	1,00	Kare	0,56
25-8	1,00	1,00	Kare	0,56
25-9	0,70	0,70	Kare	0,39
25-10	0,70	0,70	Kare	0,39
26-1	1,00	1,00	Kare	0,56
26-2	1,00	1,00	Kare	0,56
26-3	1,00	1,00	Kare	0,56
26-4	1,00	1,00	Kare	0,56
26-5	1,00	1,00	Kare	0,56
26-6	1,00	1,00	Kare	0,56
26-7	1,00	1,00	Kare	0,56
26-8	0,70	0,70	Kare	0,39
26-9	0,70	0,70	Kare	0,39
26-10	0,70	0,70	Kare	0,39
27-1	1,00	1,00	Kare	0,56
27-2	0,50	0,50	Kare	0,28
28-1	0,31	0,31	Kare	0,17
28-2	1,00	1,00	Kare	0,56
28-3	0,50	0,50	Kare	0,28
29-1	1,00	1,00	Karesel	0,56
29-2	0,50	0,50	Karesel	0,28
30-1	1,00	1,00	Karesel	0,56
30-2	0,50	0,50	Karesel	0,28
31-1	3,02	3,02	Karesel	1,70
31-2	3,00	3,00	Karesel	1,69
32-1	2,35	-	Dairesel	1,18
32-2	2,35	-	Dairesel	1,18
33-1	0,61	0,61	Karesel	0,34
33-2	0,61	0,61	Karesel	0,34

3.3.2. Zemin modeli

İdeal bir çözüme gidilebilmesi için sonlu elemanlar yönteminde kullanılacak olan zemin malzeme modeli çok dikkatli seçilerek, yük etkisi altında malzemede meydana gelecek olan deformasyonlar ve gerilmeler doğru şekilde tanımlanmalıdır. Plaxis 2D sonlu elemanlar yönteminde 6 adet malzeme modeli bulunmaktadır. Bunlar, lineer elastik, Mohr – Coulomb, yumuşak zemin, pekleşen zemin, yumuşak zemin süne ve eklemlili kaya malzeme modelidir.

Bu çalışmada; temel taşıma gücü analizi, Mohr - Coulomb yenilme kriteri kullanılarak modellenmiştir. Bu modelde, 5 ana malzeme mukavemet parametresi girilmektedir. Bunlar; elastisite modülü, Poisson oranı, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve dilatasyon açısıdır.

Zeminin elastisite modülü, yapılan geri analizler sonucu hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak ortalama ve $\pm$ bir standart sapmaya bağlı elastisite modülü kullanılmıştır. Oluşturulan veri tabanı kohezyonsuz zemin olduğundan kohezyon değeri sıfır alınmıştır. Zemin içsel sürtünme açısı 28° ile 43° arasında değişken olarak kullanılmış, dilatasyon açısı ise sıfır kabul edilmiştir. Zemin Poisson oranı olarak 0,3 kabul edilmiştir.

3.4. Analiz Sonuçları

Plaka ve temel yükleme deneylerini modellemek için zemine kademeli olarak artan deformasyon verilip, temel genişliği boyunca her yerde eşit deformasyon yapacak şekilde zeminin yenilmesi sağlanmıştır. Bu yöntem, temelin rijit olarak modellenenebilmesini sağlamakla birlikte sonlu elemanlar yönteminde daha hızlı olarak yakınsamasını mümkün kılmaktadır.

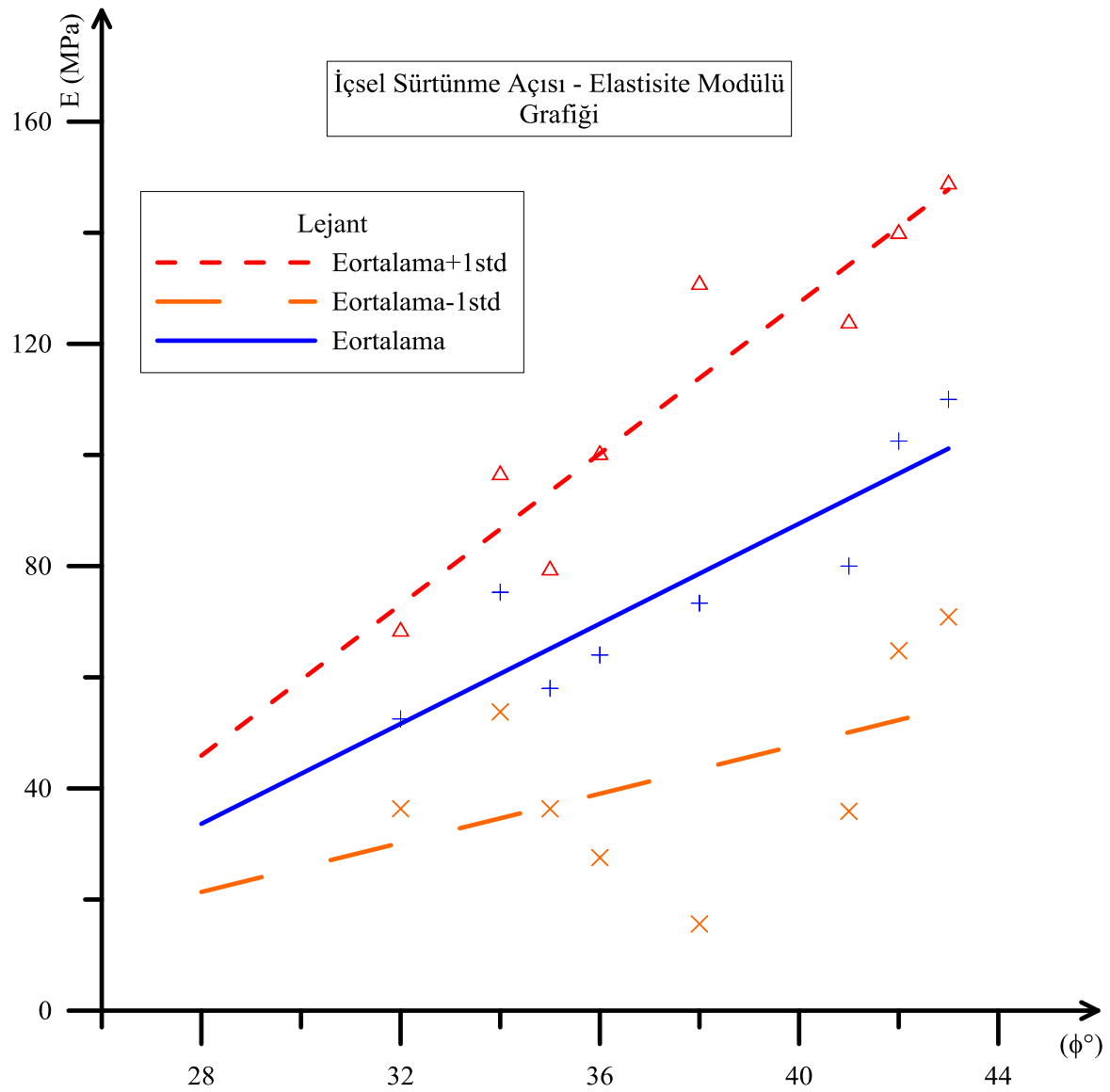
Bu kapsamda, çalışmada kullanılan veri tabanında bulunan farklı temel boyutları ve içsel sürtünme açısına sahip yükleme deneyleri ile sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları ölçüm değerleri ile birlikte Ek'de sunulmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile gerçekleştirilen mevcut plaka yükleme ve temel yükleme deney sonuçlarına göre en iyi yük – deplasman eğrisini veren elastisite modülü geri analiz yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Yapılan geri analizler sonucunda, aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin birbirinden farklı zemin elastisite modülüne sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu yüzden kullanılan veri tabanının genel karakterini ortaya çıkarmak için geri analiz yöntemi ile bulunan zemin elastisite modüllerinin ortalama ve $\pm$ bir standart sapmaya bağlı değerleri zemin içsel sürtünme açısına bağlı olarak Çizelge 3.7'de ve Şekil 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.7. ϕ° ve elastisite modülü tablosu

ϕ°	$E_{(ortalama)} (MPa)$	$E_{(ortalama+1std)} (MPa)$	$E_{(ortalama-1std)} (MPa)$
28	28	35	22
30	38	49	26
32	47	63	31
34	56	77	35
35	61	84	38
36	66	91	40
38	75	106	44
39	80	113	47
40	84	120	49
41	89	127	51
42	94	134	53
43	98	141	56

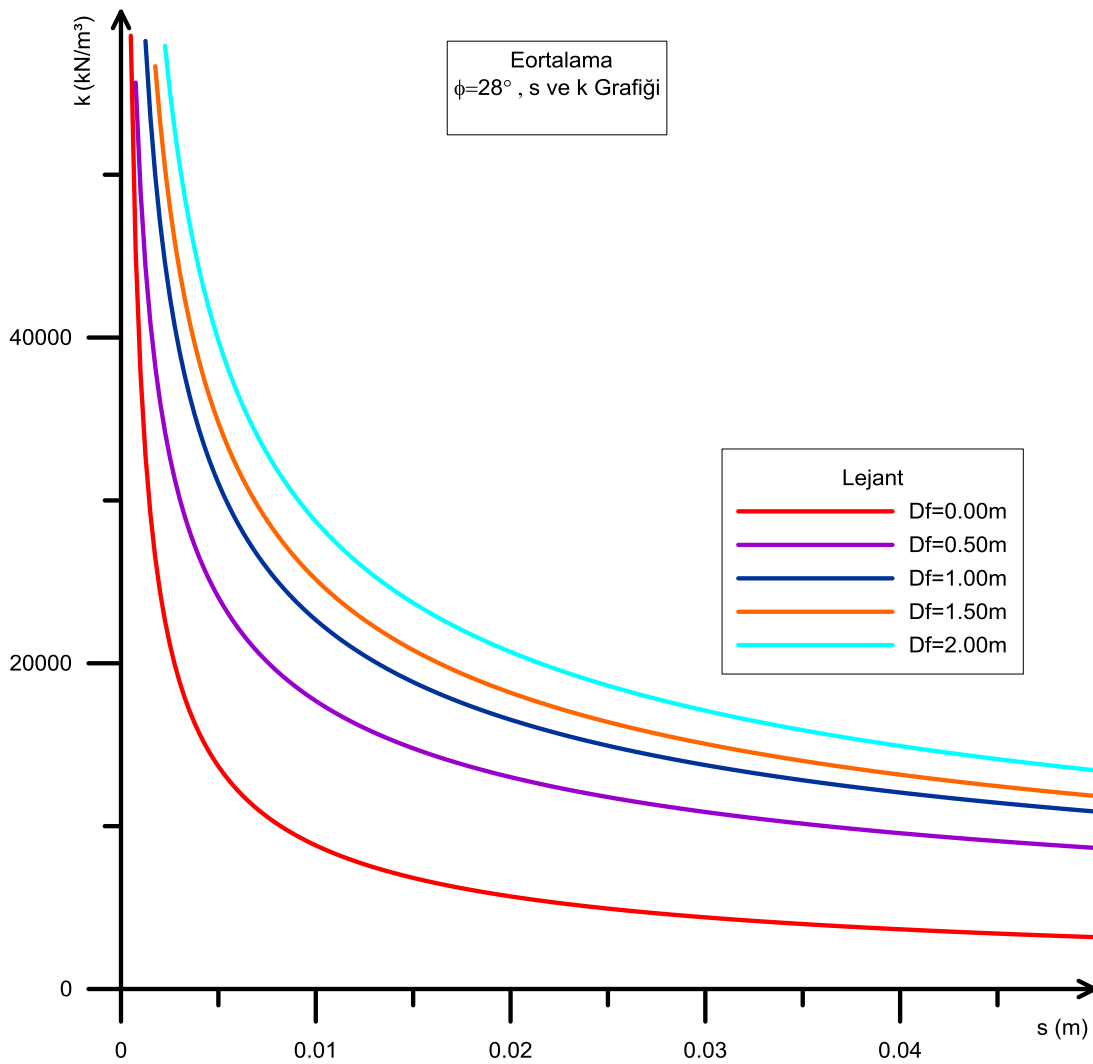
Şekil 3.9. ϕ° ve elastisite modülü grafiği

4. YATAK KATSAYI DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Bölüm 2’de açıklandığı üzere 1 m’den büyük temeller için zemin yatak katsayısı üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği görülmüştü. 1 m × 1 m kare temel; eşdeğer çap yöntemi kullanılarak 0,56 m yarıçapında dairesel temele çevrilerek, farklı temel derinliği, zemin içsel sürtünme açısı, ortalama ve ortalama ± bir standart sapmaya bağlı elastisite modülü için analizler yapılarak deplasman – yatak katsayısı grafikleri oluşturulmuştur.

4.1. $\phi=28^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=28^\circ$)

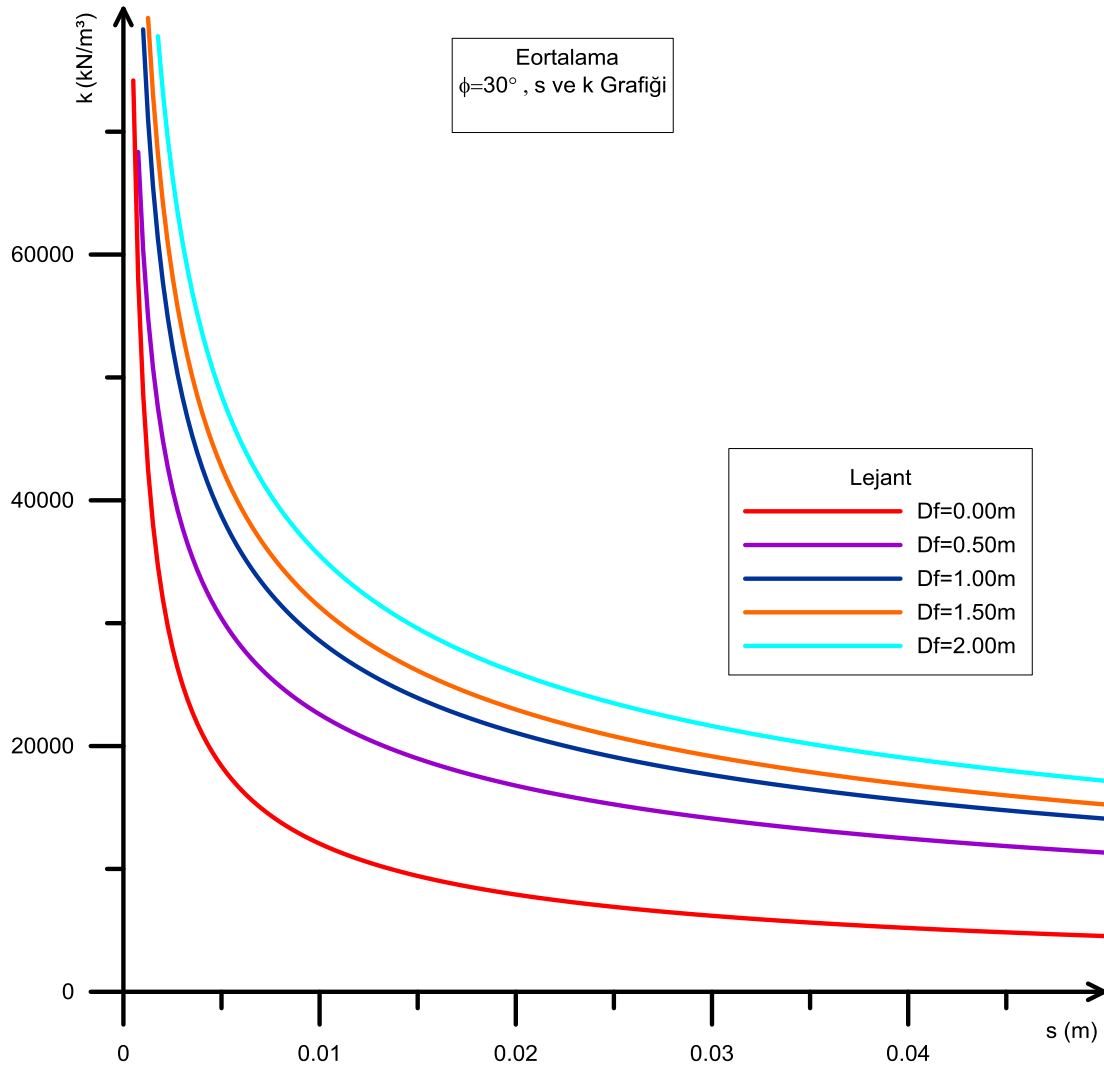
Deplasmana bağılı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak değişimi Şekil 4.1’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.1’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. ± 1 standart sapmaya bağılı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağılı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.2. $\phi=30^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak elde edilen düşey deplasmana bağılı yatak katsayısı değerleri, Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=30^\circ$)

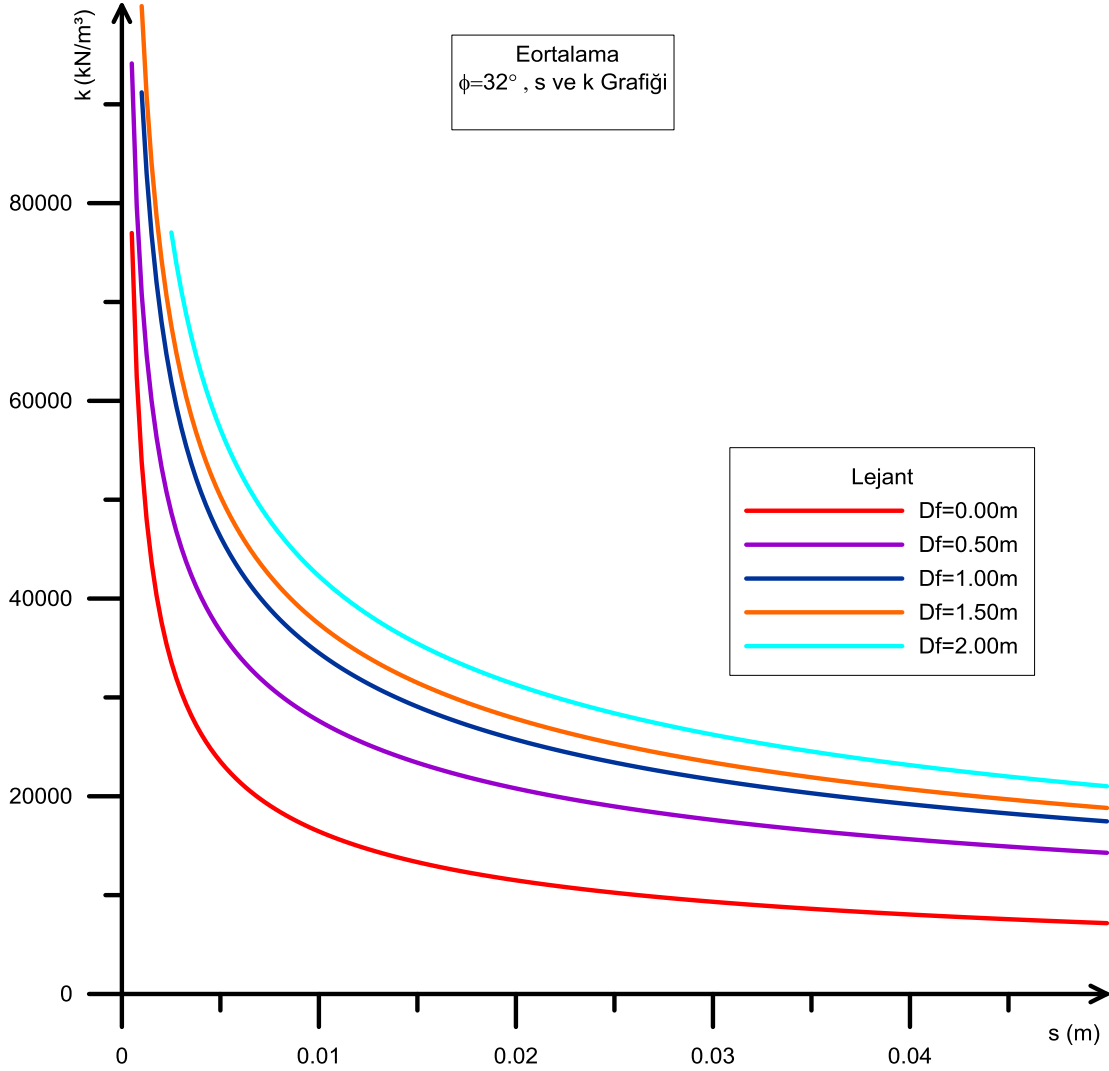
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.2’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.2’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.3. $\phi=32^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=32^\circ$)

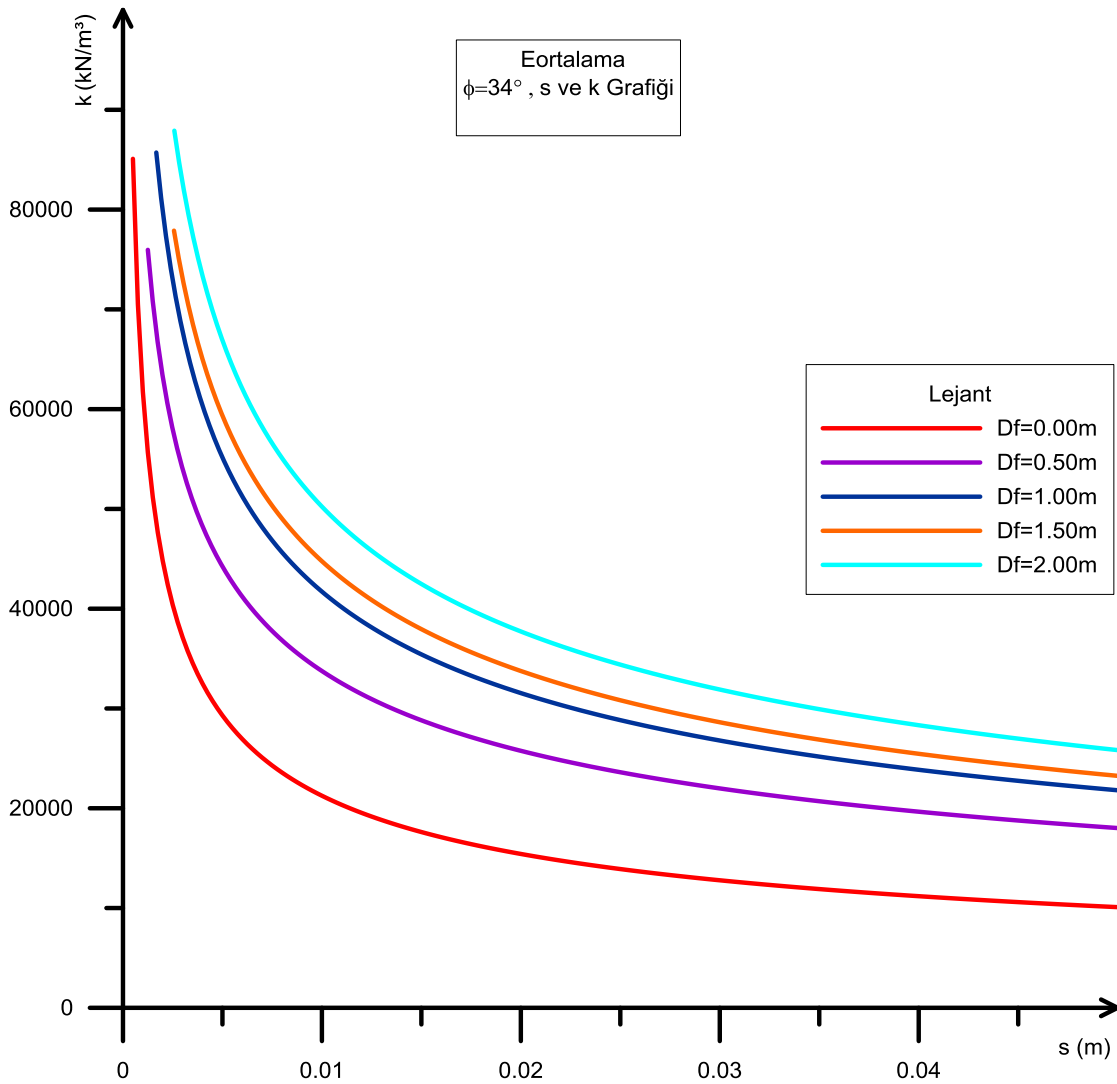
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.3’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.3’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.4. $\phi=34^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=34^\circ$)

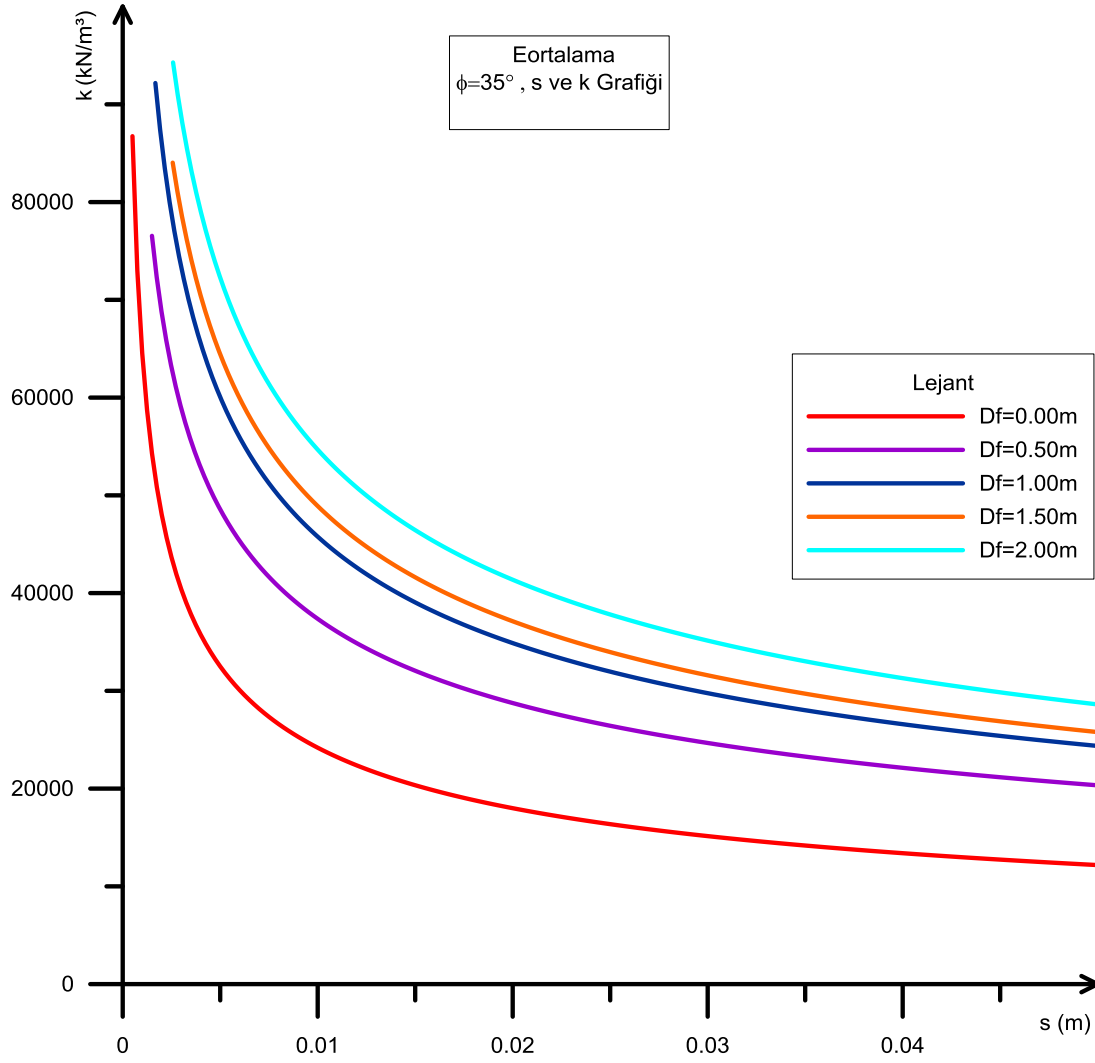
Deplasmana bağı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağı olarak değişimi Şekil 4.4’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.4’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. ± 1 standart sapmaya bağı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.5. $\phi=35^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağı olarak elde edilen düşey deplasmana bağı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=35^\circ$)

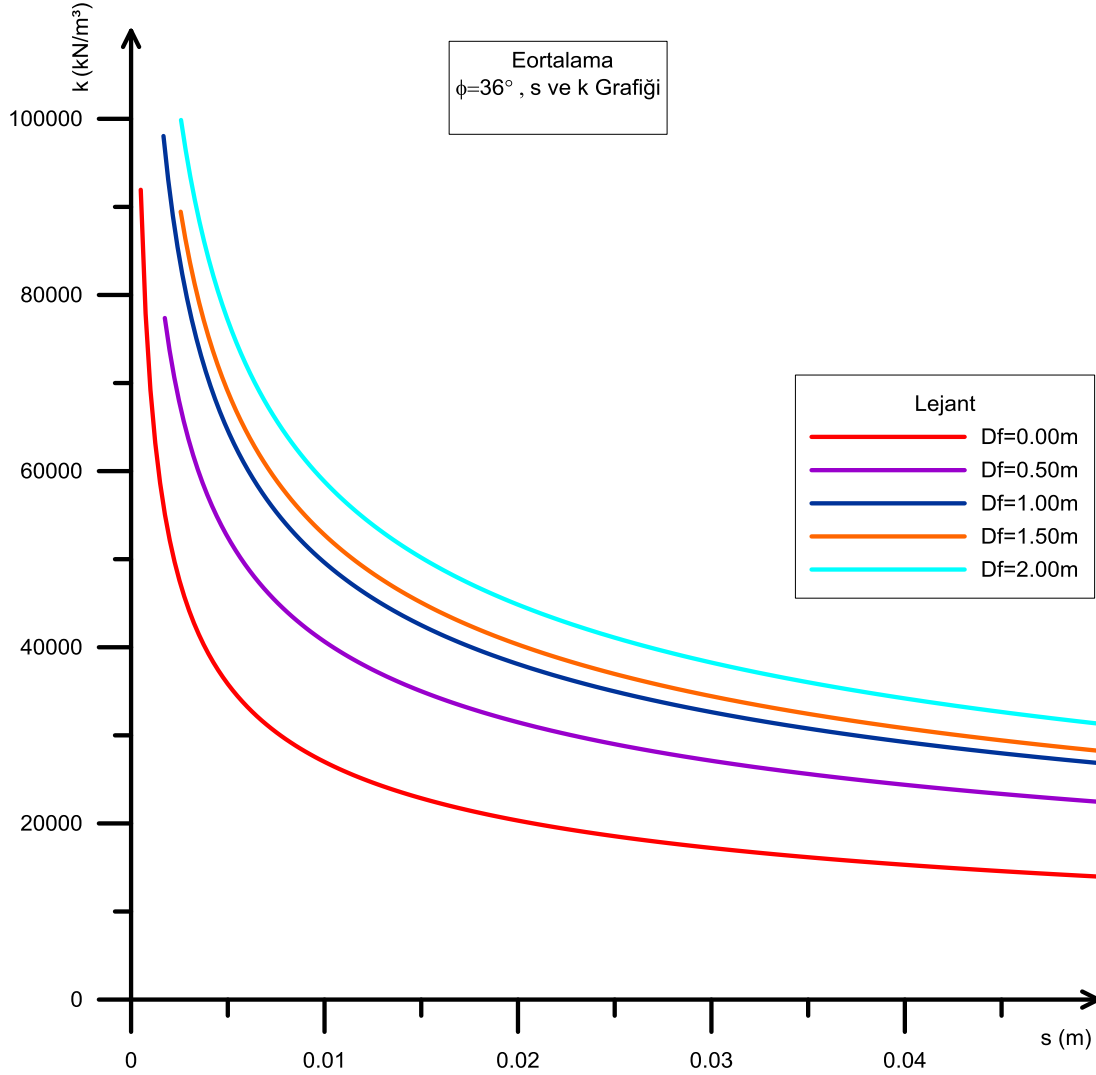
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.5’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.5’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.6. $\phi=36^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=36^\circ$)

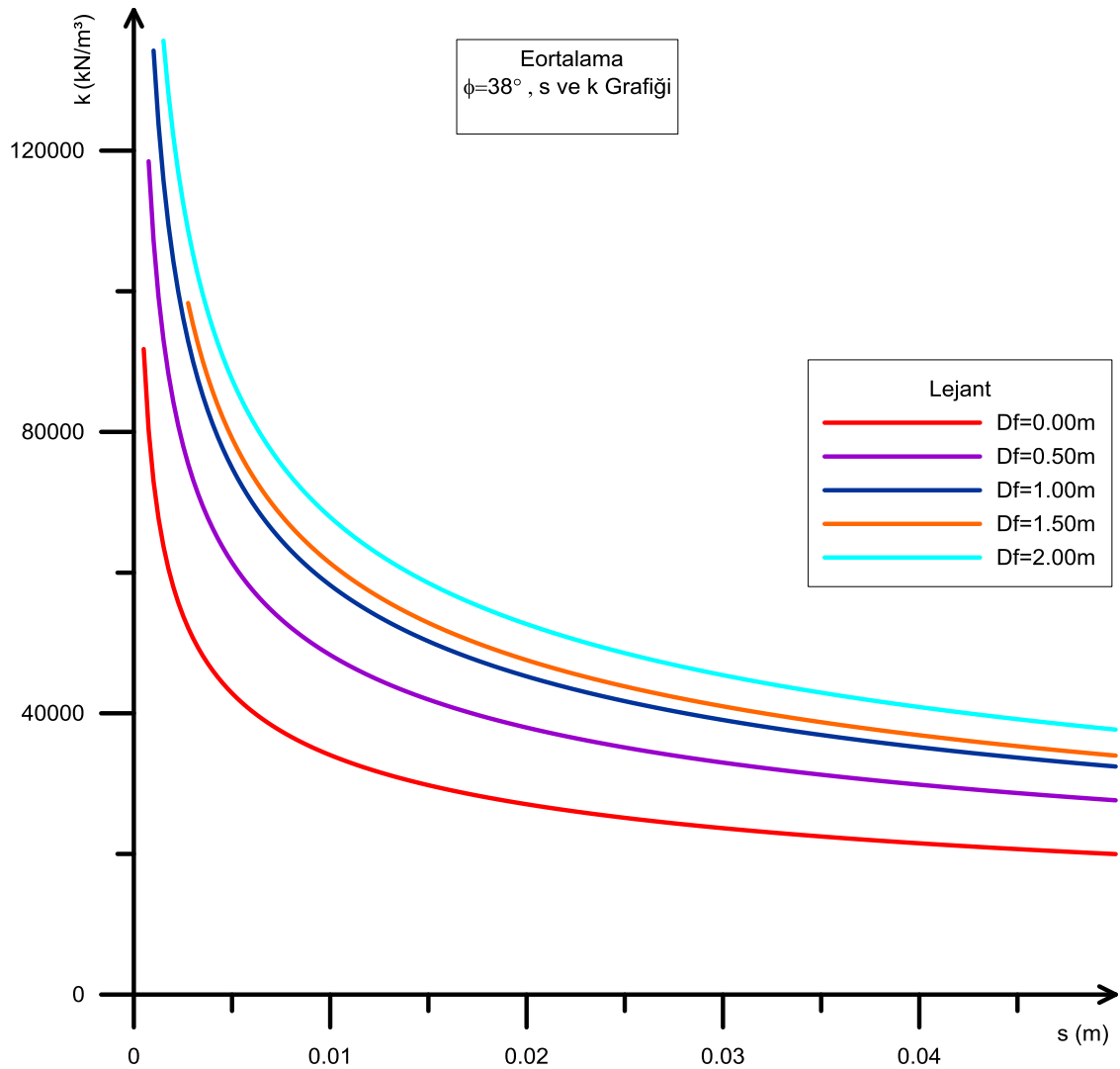
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.6’da sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.6’da farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.7. $\phi=38^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=38^\circ$)

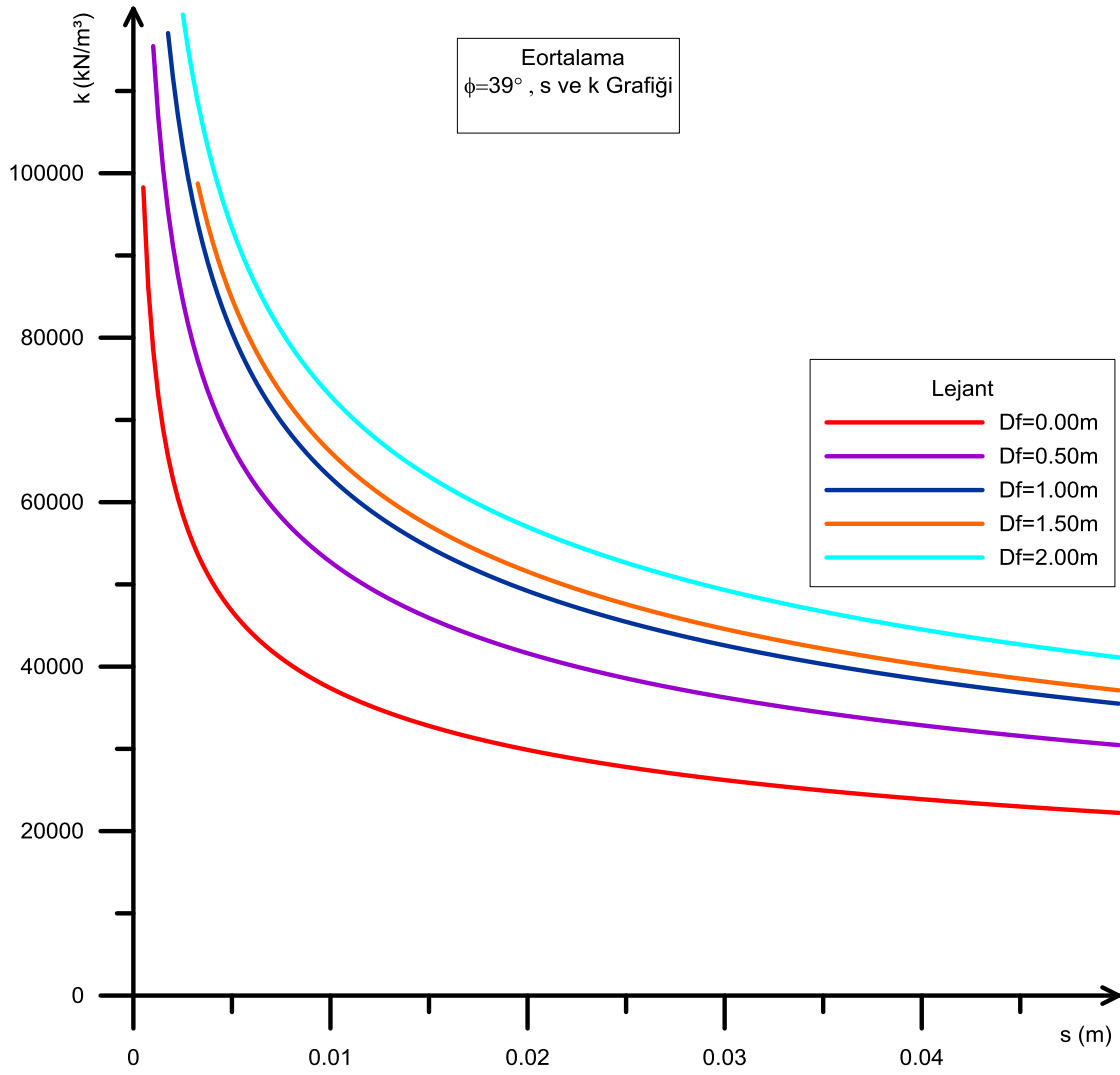
Deplasmana bağılı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak değişimi Şekil 4.7’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.7’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. ± 1 standart sapmaya bağılı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağılı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.8. $\phi=39^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak elde edilen düşey deplasmana bağılı yatak katsayısı değerleri, Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=39^\circ$)

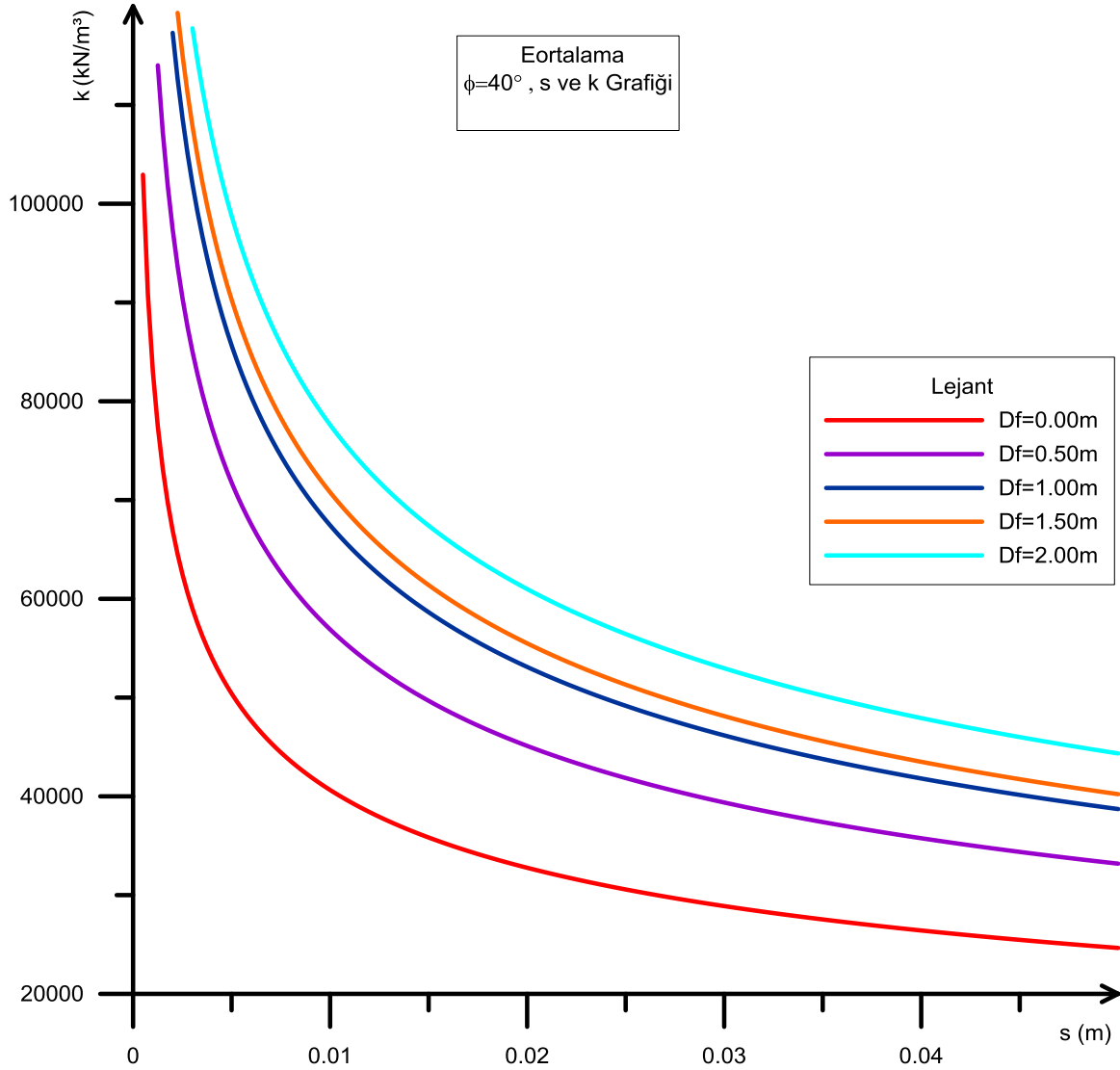
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.8’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.8’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.9. $\phi=40^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=40^\circ$)

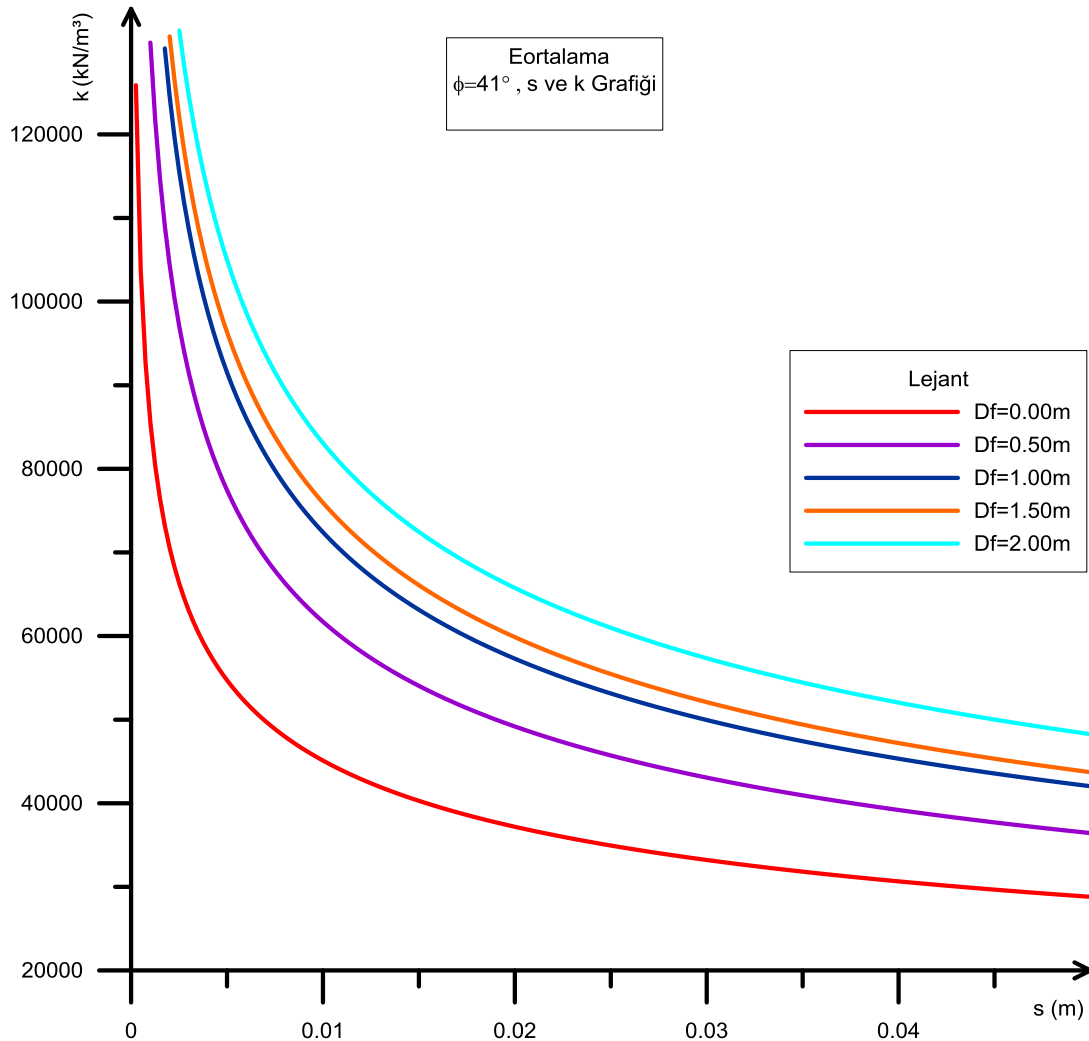
Düşey deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.9.'da sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.9.'da farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.10. $\phi=41^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=41^\circ$)

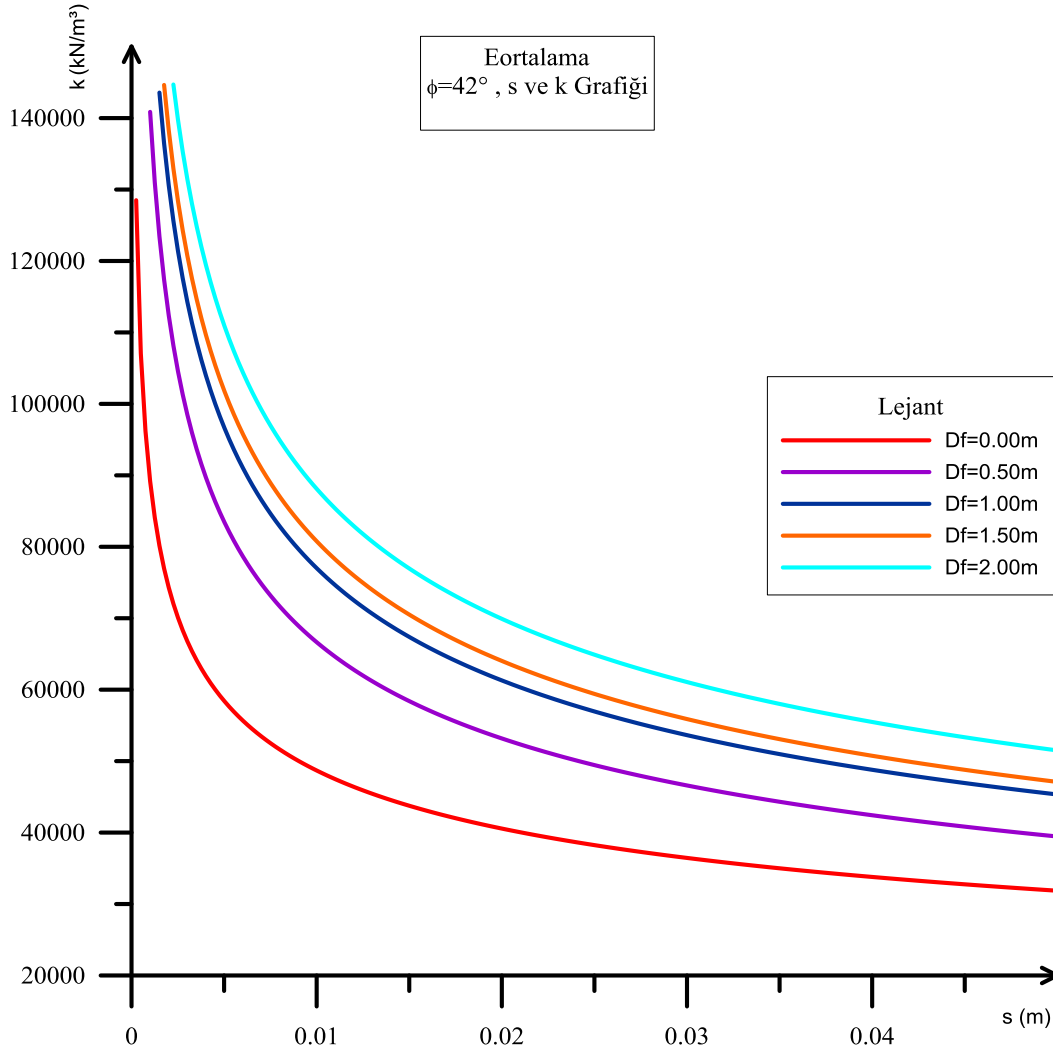
Deplasmana bağılı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak değişimi Şekil 4.10'da sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.10'da farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. ± 1 standart sapmaya bağılı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağılı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.11. $\phi=42^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağılı olarak elde edilen düşey deplasmana bağılı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=42^\circ$)

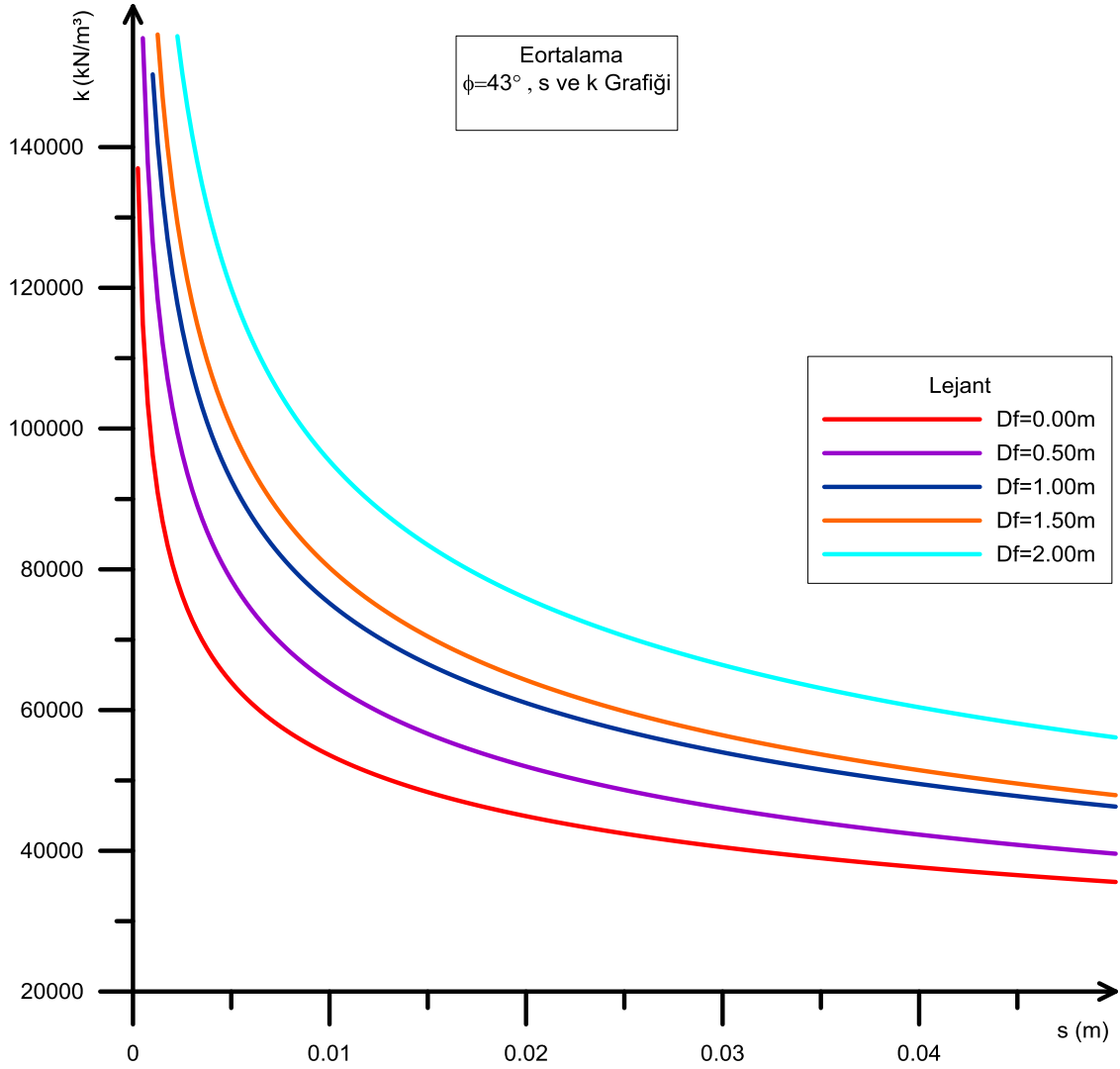
Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.11’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.11’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayısı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.12. $\phi=43^\circ$ İçin Yatak Katsayısı

Zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak elde edilen düşey deplasmana bağlı yatak katsayı değerleri, Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=43^\circ$)

Deplasmana bağlı olarak azalma eğilim gösteren yatak katsayısının; zemin içsel sürtünme açısı, temel derinliği ve ortalama elastisite modülü değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.12’de sunulmuştur. Standart sapma değerine göre değişkenlik gösteren zemin elastisite modülü değeri için Çizelge 4.12’de farklı düşey deplasman aralığında elde edilen yatak katsayısı değişim oranları gösterilmiştir.

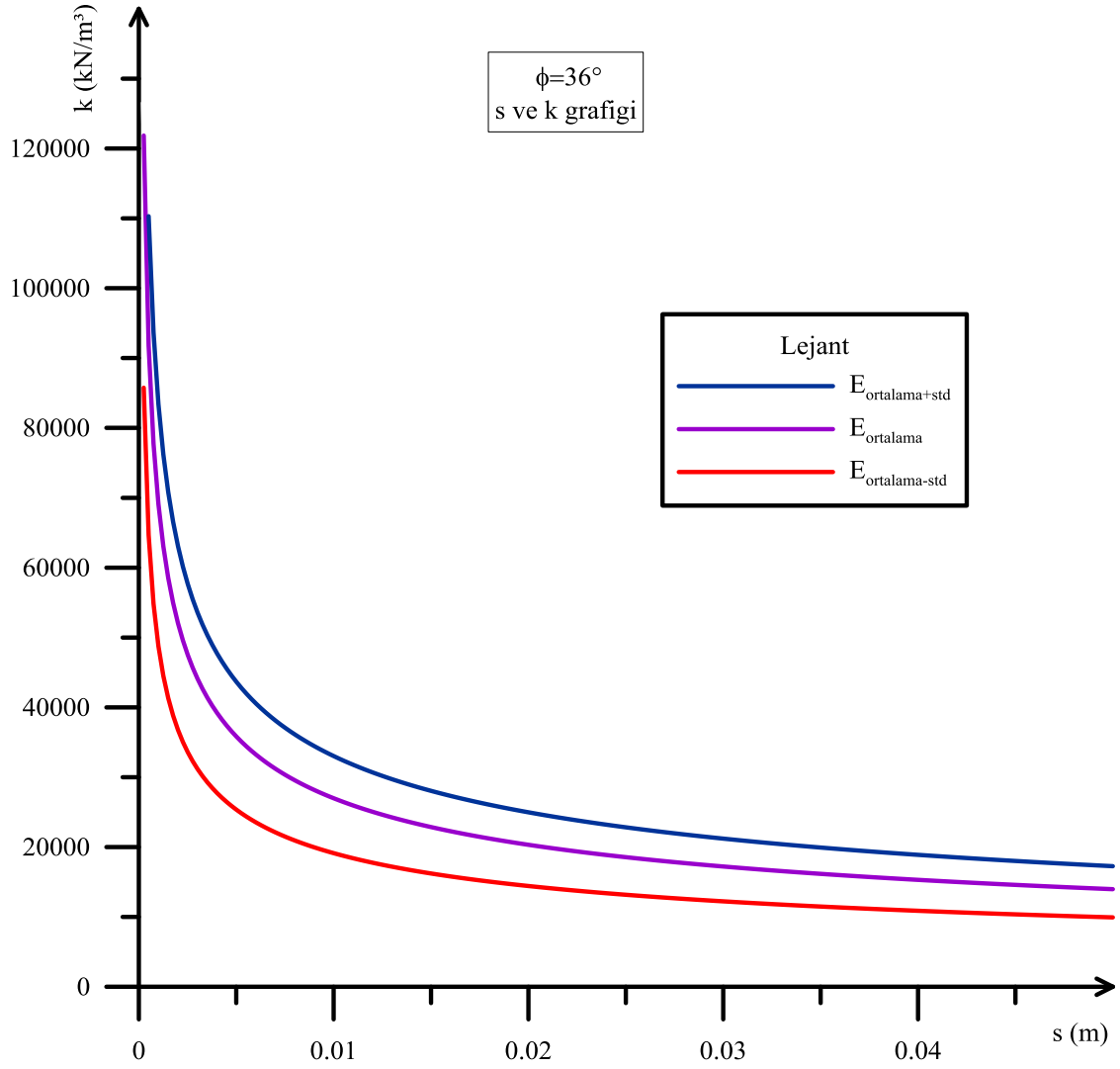
Çizelge 4.12. ± 1 standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modülüne ve farklı düşey deplasman aralığına bağlı olarak elde edilen yatak katsayı oranı

Temel derinliği (m)	s (m) 0,00-0,05	s (m) 0,05-0,01	s (m) 0,01-0,015	s (m) 0,015-0,03	s (m) 0,03-0,04	s (m) 0,04-0,05
0,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
0,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
1,50	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$
2,00	$\pm \%35$	$\pm \%30$	$\pm \%30$	$\pm \%25$	$\pm \%20$	$\pm \%20$

4.13. Elastisite Modülünün Yatak Katsayısı Üzerindeki Etkisi

Oluşturulan veri tabanında; aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin, çok geniş aralıklı elastisite modül değeri alabildiği ortaya konmuştur. Bu yüzden, ortalama ve $\pm$ bir standart sapmaya bağlı zemin elastisite modül değerlerinin yatak katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; aynı temel derinliğine sahip, zemin içsel sürtünme açısı 36° olan temeller üzerinde ortalama ve $\pm$ bir standart sapmaya bağlı olarak değişen elastisite modül değerleri kullanılarak deplasman – yatak katsayısı eğrisi çıkarılmıştır.

Elastisite modül değeri ile değişen deplasmana bağlı yatak katsayısı değerleri Şekil 4.13’de verilmiştir.

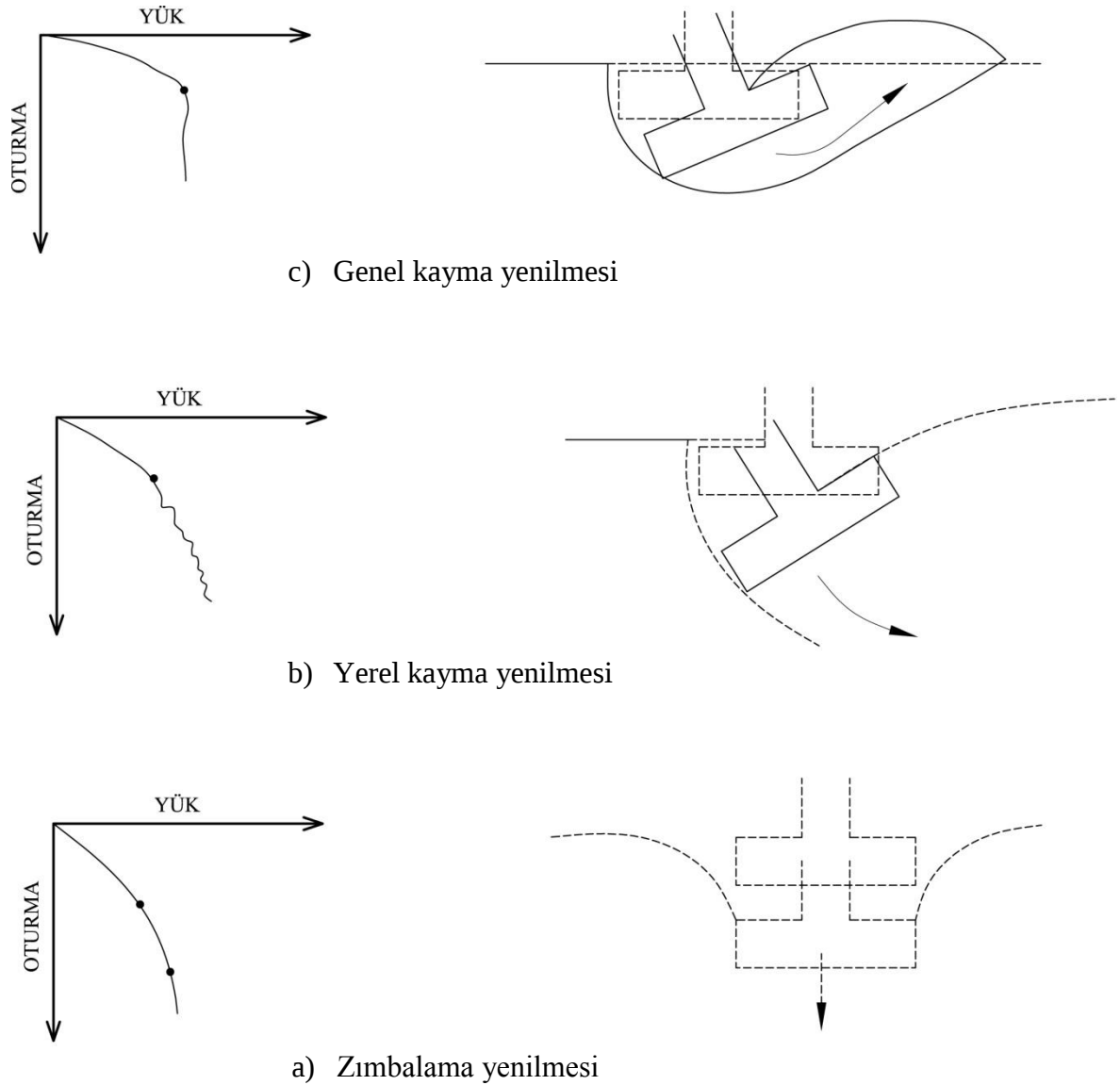


Şekil 4.13. $\phi=36^\circ$, Deplasman ve yatak katsayısı grafiği

Şekil 4.13’de elde edilen deplasman – yatak katsayısı eğrisinden de görülebileceği üzere; elastisite modül değeri arttıkça, yatak katsayısı değerinin arttığı ortaya konmuştur.

5. TAŞIMA GÜCÜ

Yüzeysel temeller, üzerine gelen yükleri yüzeye yakın zemine aktarır ve bu esnada zeminde hem bası hem kayma gerilmesi oluştururlar. Bu gerilmeler, temelin karşılayacağı gerilmeden büyük ise temel taşıma gücü yenilmesi oluşur. Temel taşıma gücü yenilmesi Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi üç farklı şekilde oluşabilir. Bunlar (a) genel kayma yenilmesi, (b) yerel kayma yenilmesi ve (c) zımbalama kayma yenilmesidir.



Şekil 5.1. Taşıma gücü yenilme tipleri a) genel kayma yenilmesi b) yerel kayma yenilmesi c) zımbalama kayma yenilmesi.

Genel kayma yenilmesi en sık karşılaşılan yenilme şeklidir. Sıkı kohezyonsuz zeminlerde, orta sert kayalarda ve yeteri kadar hızlı yüklenen doygun normal konsolide killerde

meydana gelmektedir. Yenilme yüzeyi iyi tanımlanmış olup, aniden oluşur ve temele bitişik zemin yüzeyinde açık bir şekilde meydana gelmiş kabarma görülür. Genel kayma yenilmesi rölatif sıklılığın 0,67'den büyük olduğu sıkı kumlarda, yerel kayma yenilmesi rölatif sıklılığın 0,30 ile 0,67 arasında olduğu gevşek – orta sıkı kumlarda ve zımbalama kayma yenilmesi ise rölatif sıklılığın 0,30'dan küçük olduğu çok gevşek kumlarda gerçekleşir[69].

5.1. Taşıma Gücü Yöntemleri

Bu bölümde literatürde sıklıkla karşımıza çıkan Terzaghi (1943), Meyerhof (1965), Hansen (1970) ve Vesic'in (1973) taşıma gücü yöntemlerinden bahsedilecektir. Temel taşıma gücü hesaplarında kullanılan en kapsamlı eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$q_{nihai} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_s + q' N_q s_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma' B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (4.1)$$

Oluşturduğumuz veri tabanında bulunan plaka yükleme deneyleri için yapılan temel taşıma gücü hesaplarında bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar; temelin zemin yüzeyinde, eğimli olmayan bir arazide, yükün dik olarak merkezine ektirildiği ve zeminin kohezyonsuz olduğu kabulleridir. Bu yüzden “Eş. 4.1” ’de verilen taşıma gücü faktörlerinden N_γ ve s_γ hakkında değişik araştırmacılara göre bilgi verilecektir.

Terzaghi (1943), taşıma gücü faktörünü “Eş. 4.2”de gösterildiği gibi tanımlamıştır.

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \times \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos \phi^2} - 1 \right) \quad (4.2)$$

Çizelge 5.1. Zemin içsel sürtünme açısına bağlı bulunan $K_{p\gamma}$ değerleri [4]

ϕ°	$K_{p\gamma}$
0	10,8
10	14,7
20	25
30	52
40	141
50	800

Terzaghi (1943), taşıma gücü analizinde ise şekil faktörünü (s_γ) sırasıyla şerit, kare ve dairesel temel için 1, 0,8, 0,6 olarak tanımlamıştır.

Meyerhof (1965), taşıma gücü faktörlerini “Eş. 4.2” ve “Eş. 4.3” ‘de gösterildiği gibi tanımlamıştır.

$$N_{\gamma} = \left[\left(e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) - 1 \right] \cdot \tan 1,4\phi \quad (4.3)$$

Zemin içsel sürtünme açısı, 10° den büyük ise “Eş. 4.4” kullanılabilir aksi takdirde (s_{γ}) 1 kabul edilir.

$$s_{\gamma} = 1 + 0,1 \left[\tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \cdot \frac{B}{L} \quad (4.4)$$

Hansen (1970), taşıma gücü faktörlerini “Eş. 4.5” ve “Eş. 4.6” ‘da gösterildiği gibi tanımlamıştır.

$$N_{\gamma} = 1,5 \cdot \left[\left(e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) - 1 \right] \cdot \tan \phi \quad (4.5)$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,4 \cdot \left(\frac{B}{L} \right) \geq 0,6 \quad (4.6)$$

Vesic (1973), taşıma gücü faktörlerini “Eş. 4.5” ve “Eş. 4.6” ‘da gösterildiği gibi tanımlamıştır.

$$N_{\gamma} = 2 \cdot \left[\left(e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) + 1 \right] \cdot \tan \phi \quad (4.7)$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,4 \cdot \left(\frac{B}{L} \right) \geq 0,6 \quad (4.8)$$

Burada; N_{γ} : Taşıma gücü faktörü, ϕ : Zemin içsel sürtünme açısı, $K_{p\gamma}$: Zemin içsel sürtünme açısına bağlı geri analiz ile bulunan taşıma gücü faktör katsayısı ve s_{γ} : şekil faktörüdür.

5.2. Oluşturulan Veri Tabanında Bulunan Plaka Yükleme Deneylerinin Taşıma Gücü Hesabı

Bölüm 5.1’de açıklanan Terzaghi (1943), Meyerhof (1965), Hansen (1970) ve Vesic (1973) yöntemleri kullanılarak temel taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Ortaya çıkan bu sonuçlar, plaka yükleme deneyleri sonucu elde edilen yük – deplasman eğrisinden hesaplanan taşıma gücü değerleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen taşıma gücü değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ölçümlemiş ve hesaplanan taşıma gücü değerleri

Test Adı	Q_u (ölçümlemiş) (kN/m ²)	Q_u (Terzaghi) (kN/m ²)	Q_u (Meyerhof) (kN/m ²)	Q_u (Hansen) (kN/m ²)	Q_u (Vesic) (kN/m ²)	Q_u (Plaxis) (kN/m ²)
1-1	244	77	136	56	80	133
1-2	331	117	208	85	122	175
1-3	256	77	136	56	80	133
1-4	232	117	208	85	122	180
1-5	161	156	276	113	162	167
1-6	331	117	208	85	122	184
1-7	306	156	276	113	162	242
1-8	302	232	413	169	241	254
1-9	263	156	276	113	162	175
1-10	344	77	136	56	80	133
1-11	298	117	208	85	122	175
2-1	290	184	319	136	198	270
2-2	269	184	319	136	198	270
2-3	236	184	319	136	198	270
2-4	208	184	319	136	198	270
2-5	300	184	319	136	198	270
2-6	233	184	319	136	198	270
2-7	300	184	319	136	198	270
2-8	311	130	225	96	140	208
2-9	291	184	319	136	198	272
2-10	247	226	393	168	244	335
2-11	276	184	319	136	198	270
3-1	336	267	479	191	271	360
3-2	415	267	479	191	271	350
3-3	135	267	479	191	271	370
3-4	324	267	479	191	271	380
4-1	672	827	1601	503	685	752
5-1	154	267	479	191	271	263
5-2	245	256	476	171	237	252
6-1	400	315	597	202	276	278
7-1	153	142	254	102	144	175
7-2	285	257	465	181	255	174
7-3	282	176	319	127	175	269
7-4	246	131	237	92	130	165
8-1	235	1523	2949	927	1261	1358
8-2	556	1016	1966	618	841	972
9-1	573	402	755	263	362	591
9-2	566	113	205	80	113	132
10-1	467	545	1005	372	517	354
11-1	430	398	740	266	368	296
11-2	291	199	370	133	184	229
11-3	204	398	740	266	368	296
11-4	406	199	370	133	184	229
12-1	225	698	1322	447	612	477
13-1	270	827	1601	503	685	378
14-1	541	327	620	209	287	187
15-1	556	1875	3630	1141	1553	1111
15-2	889	380	727	237	324	278
15-3	927	1518	2908	948	1295	833
15-4	667	380	727	237	324	278
15-5	444	171	316	117	162	122
15-6	694	1011	1897	662	911	708
15-7	189	171	316	117	162	122

Çizelge 5.2. (devam) Ölçümlemiş ve hesaplanan taşıma gücü değerleri

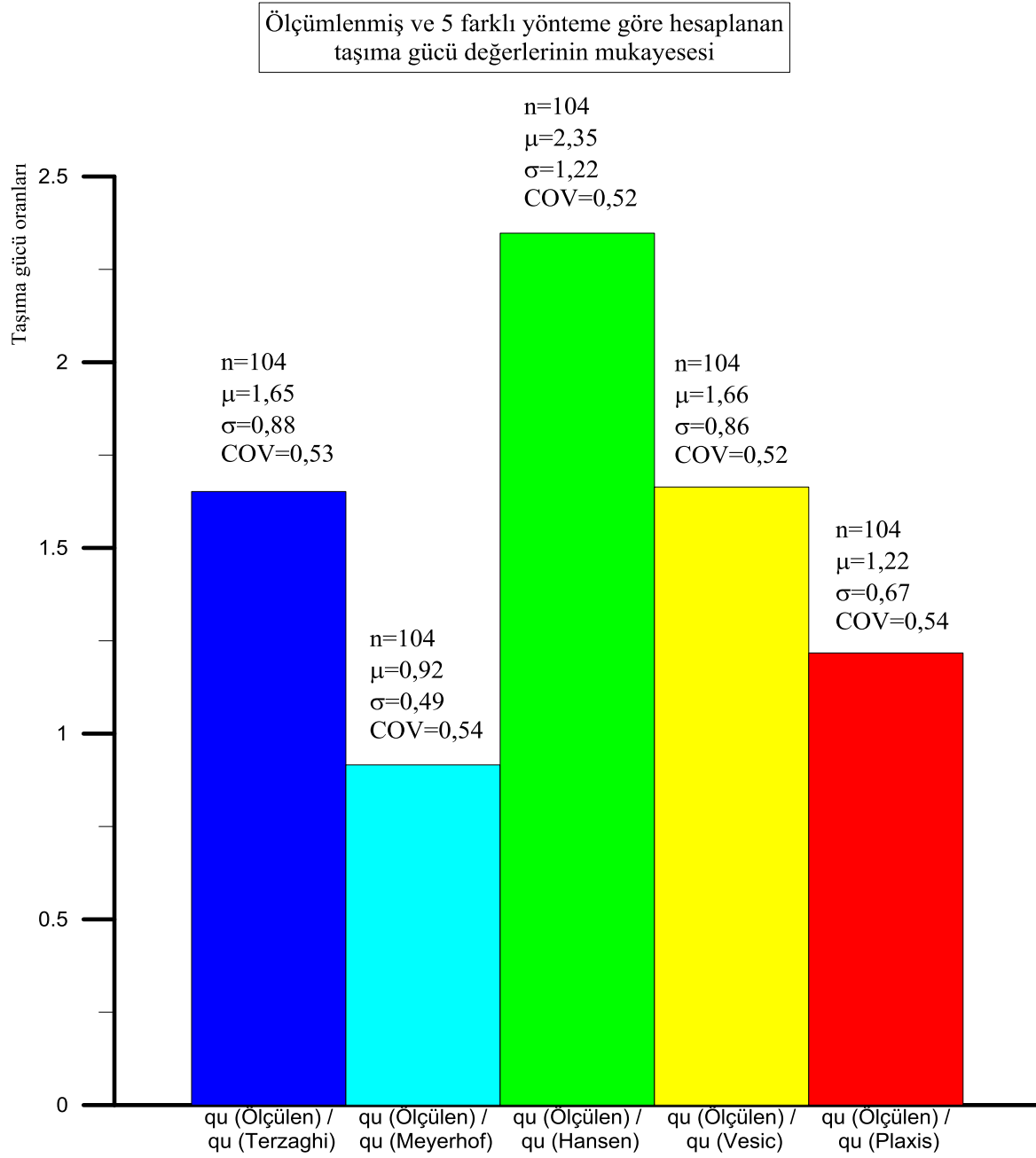
Test Adı	Q _u (ölçümlemiş) (kN/m ²)	Q _u (Terzaghi) (kN/m ²)	Q _u (Meyerhof) (kN/m ²)	Q _u (Hansen) (kN/m ²)	Q _u (Vesic) (kN/m ²)	Q _u (Plaxis) (kN/m ²)
16-1	260	260	492	166	228	219
17-1	519	621	1176	397	544	658
18-1	468	260	492	166	228	219
19-1	502	621	1176	397	544	658
20-1	200	161	299	108	149	112
20-2	522	195	363	131	181	311
20-3	250	264	492	177	244	625
21-1	277	160	284	116	166	252
21-2	313	148	256	109	159	320
22-1	449	178	316	130	185	306
22-2	592	178	316	130	185	306
22-3	450	253	449	184	262	370
22-4	550	253	449	184	262	365
22-5	550	253	449	184	262	370
25-1	560	267	479	191	271	440
25-2	495	267	479	191	271	402
25-3	394	267	479	191	271	440
25-4	414	267	479	191	271	395
25-5	482	267	479	191	271	390
25-6	480	267	479	191	271	395
25-7	450	267	479	191	271	395
25-8	440	267	479	191	271	390
25-9	453	191	342	137	194	316
25-10	461	191	342	137	194	316
26-1	414	267	479	191	271	390
26-2	522	267	479	191	271	360
26-3	537	267	479	191	271	360
26-4	504	267	479	191	271	360
26-5	429	267	479	191	271	360
26-6	441	267	479	191	271	360
26-7	570	267	479	191	271	390
26-8	573	191	342	137	194	1122
26-9	578	191	342	137	194	1122
26-10	590	191	342	137	194	1122
27-1	400	511	943	349	485	900
27-2	580	256	471	175	242	600
28-1	427	176	325	120	167	416
28-2	450	511	943	349	485	1200
28-3	460	256	471	175	242	1200
29-1	450	511	943	349	485	1650
29-2	600	256	471	175	242	1200
30-1	650	511	943	349	485	2410
30-2	680	256	471	175	242	1040
31-1	778	2062	3871	1351	1858	1645
31-2	889	2733	4657	2397	3049	1667
32-1	461	1509	2832	988	1359	369
32-2	438	1509	2832	988	1359	369
33-1	599	429	805	281	386	752
33-2	503	429	805	281	386	752

Bu çalışmada ölçümlenen plaka yükleme deneyi sonucundan elde edilen taşıma gücü değerleri ile 5 farklı yöntemle göre hesaplanan taşıma gücü değerleri karşılaştırılmıştır.

Ölçümlenen plaka yükleme deneyinden elde edilen taşıma gücü değerleri, 5 farklı yöntemle göre ayrı ayrı kendi içerisinde oranlanmıştır. Buna göre ortaya çıkan grafik ise Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.2’de oluşturulan grafik yardımı ile gerçeğe en yakın sonuç 0,92 ortalama değeri (μ) ile Meyerhof (1965) yöntemine aittir. En konservatif tarafta kalan yöntem ise 2,35 ortalama değeri ile Hansen (1970) yöntemine aittir. Terzaghi (1943), Vesic(1973) ve Plaxis yöntemine göre elde edilen ortalama taşıma gücü değerleri sırasıyla 1,65, 1,66 ve 1,22’dir.

Yapılan yöntemlerin mukayesesinde önemli bir yer tutan standart sapma değeri (σ) 0,49 ile 1,22 arasında değişmektedir. En düşük standart sapma değeri 0,49 ile Meyerhof (1965) yöntemine ait olup en yüksek standart sapma değeri 1,22 ile Hansen (1970) taşıma gücü yöntemine aittir. Terzaghi (1943), Vesic (1973) ve Plaxis yöntemine göre elde edilen taşıma gücü değerinin standart sapma değeri sırasıyla 0,88, 0,86 ve 0,67’dir.

Yapılan yöntemlerin mukayesesinde önemli olan bir diğer faktör ise varyasyon katsayısıdır (COV) 5 farklı yöntemle göre hesaplanan varyasyon katsayıları 0,52 ile 0,54 arasında birbirine yakın olarak gerçekleşmiştir.



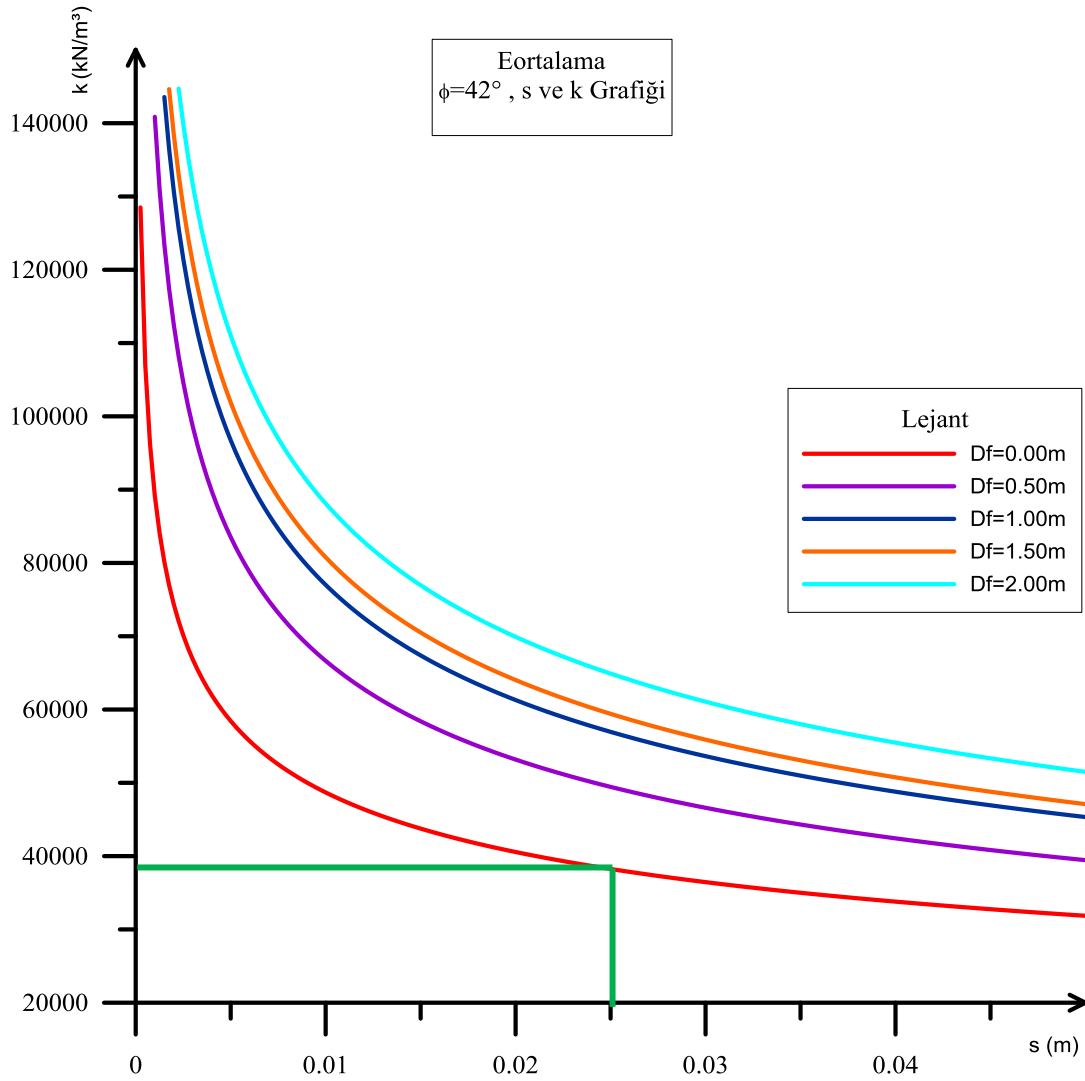
Şekil 5.2. Taşıma gücü karşılaştırma grafiği

Burada; n: veri sayısı, μ : ölçümlenmiş taşıma gücü değerinin 5 farklı yöntemle göre hesaplanan taşıma gücü değerine oranı, σ : standart sapma ve COV: varyasyon kat sayısıdır.

6. TEMELLERİN YATAK KATSAYISI İLE TASARIMI

Ülkemizde ve dünyada kullanılan yapı analiz programlarında, yapı – temel tasarımı sabit yatak katsayısı kullanılarak yapılmaktadır. Ancak yapı – temel tasarımı yapılırken; yapı tasarımında temel sisteminin bağımsız olarak tasarlanması ve sabit yatak katsayısı kullanılması durumunda üst yapı taşıyıcı sisteminde meydana gelecek olan etkilerin göz ardı edileceği araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Üst yapı tasarımı yaparken mutlaka yapı – zemin etkileşimini dikkate almak gerekmektedir.

Mühendislik yapıları izin verilebilir deplasman sınırları içerisinde tasarlanmalıdır. Bu yüzden temel altında 42 derece içsel sürtünme açısına sahip homojen bir tabaka bulunduğu kabulü ile; Şekil 6.1’de 25 mm deplasmana karşılık gelen yatak katabilimsel katsayısı 40000 kN/m³ ve Çizelge 6.1’de temel deplasmanına bağlı olmayan sıkı kum için sabit yatak katsayısı ise 120000 kN/m³ kabul edilerek 2 farklı çerçeve modeli analizi yapılmıştır.

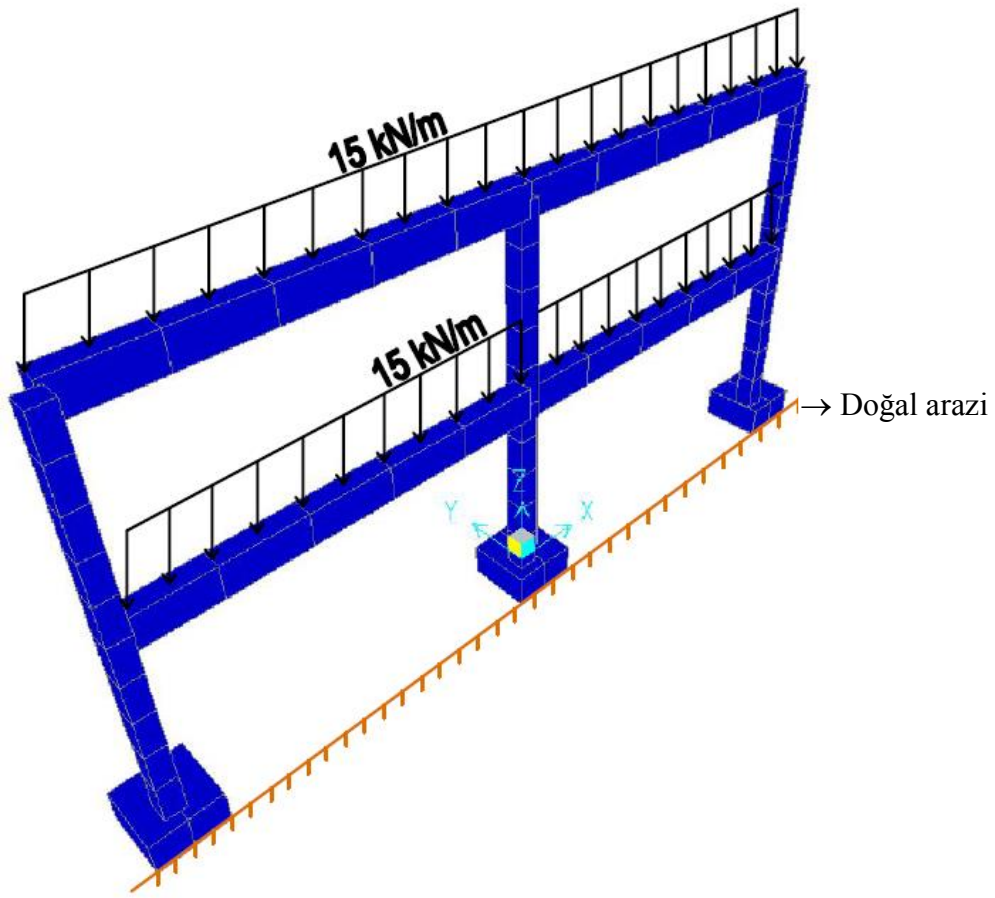


Şekil 6.1. Deplasman ve yatak katsayısı grafiği ($\phi=42^\circ$)

Çizelge 6.1. Yatak katsayısı değerleri [33]

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Orta Katı Kil	20 000 – 30 000
Katı Kil	40 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	60 000 – 80 000
Sert Kil	100 000
Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Orta sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	120 000 – 150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 250 000

Şekil 6.2’de gösterilen basit bir çerçeve modelinde, 25 mm deplasmana karşılık gelen yatak katsayısı ve literatürden elde edilen deplasmana bağlı olmayan sabit yatak katsayısı kullanılarak tasarımı yapılan 2 farklı model üzerinde yapı içsel kuvvetleri araştırılmıştır.

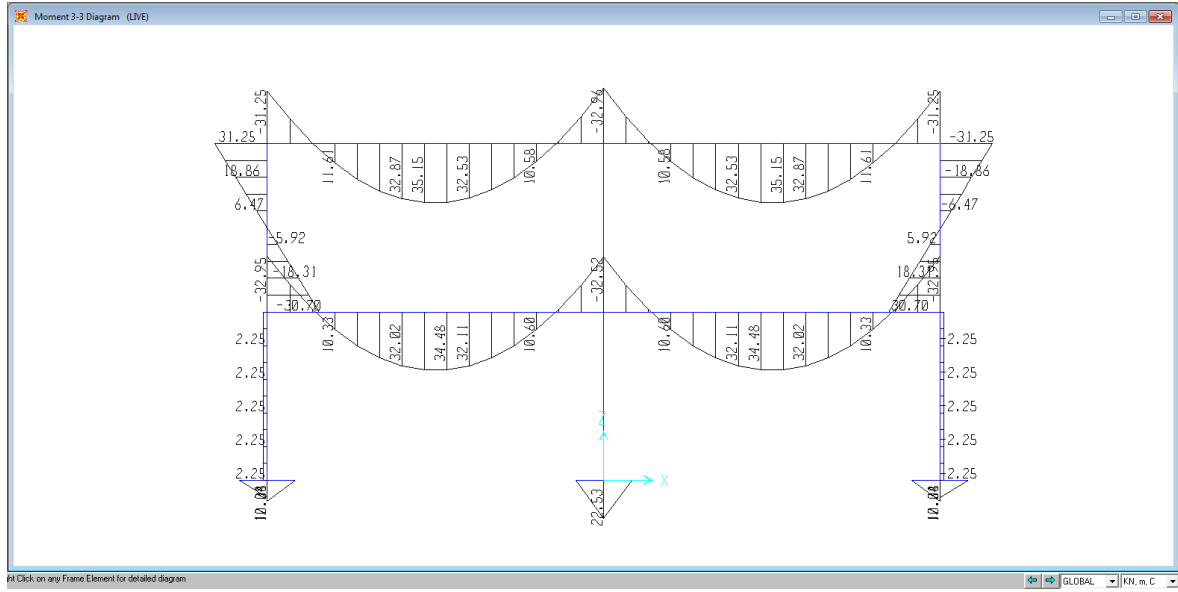


Şekil 6.2. Oluşturulan SAP2000 modeli

Oluşturulan çerçeve yapı sistemi, SAP 2000 sonlu elemanlar programı ve çubuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli ve yükleme durumu Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

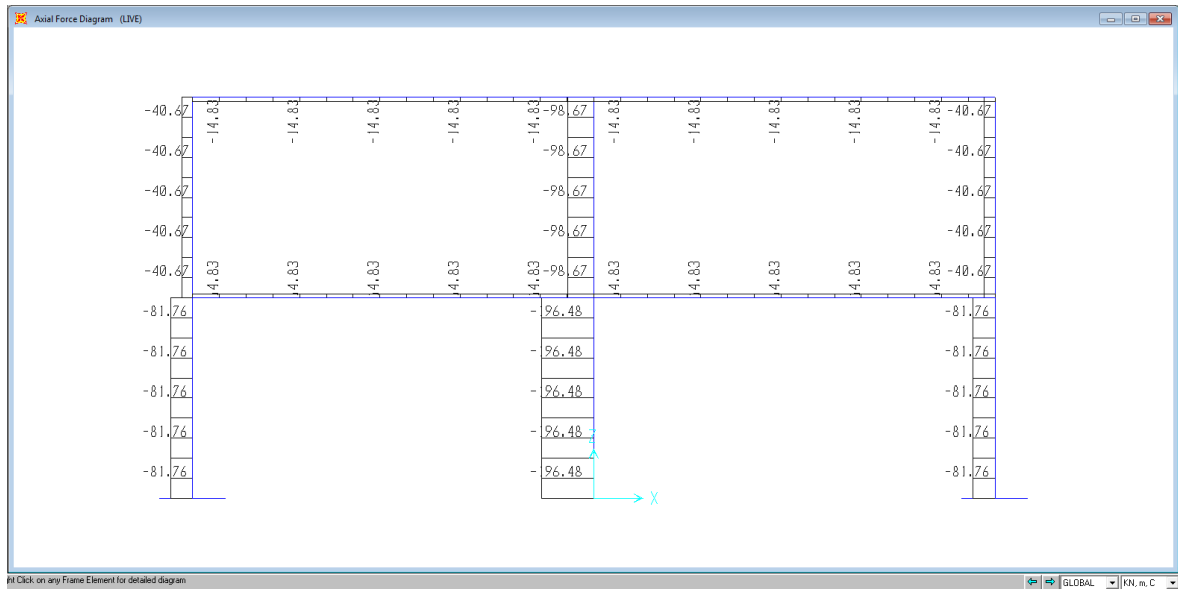
25 mm deplasmana karşılık gelen yatak katsayısı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilen çerçeve modelinde oluşacak olan eksenel, kesme ve moment kuvvetleri Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’de gösterilmiştir.

Şekil 6.4. Kesme kuvveti (25 mm deplasmana karşılık gelen yatak katsayısı kullanılarak)



Şekil 6.5. Moment (25 mm deplasmana karşılık gelen yatak katsayısı kullanılarak)

Literatürden elde edilen sabit yatak katsayısı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilen çerçeve modelinde oluşacak olan aksenal, kesme ve moment kuvvetleri Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Aksenal kuvvet (literatürden elde edilen yatak katsayısı kullanılarak)

Çizelge 4.8. Deplasmana bağlı ve sabit yatak katsayısı kullanılması durumunda yapıda oluşacak olan minimum ve maksimum içsel kuvvetler

Yapı içsel kuvvetleri	Deplasmana bağlı yatak katsayısı (40000 kN/m ³)				Sabit yatak katsayısı (120000 kN/m ³)			
	Kolon		Kiriş		Kolon		Kiriş	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Eksenel (kN)	-180	-44	-20	-20	-96	-40	-15	-5
Kesme (kN)	-45	-20	-45	45	-48	-17	-49	49
Moment (kN.m)	-31	31	-32	34	-22	22	-50	25

Temel deplasman değerlerinin 2 mm mertebelerinde olması durumunda; literatürde sunulan ve bu çalışma ortaya konan yatak katsayıları birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Fakat literatürde sunulan yatak katsayıları ile bu çalışmada önerilen yatak katsayıları arasındaki farklar deplasman değerinin 2 mm'den büyük olması durumunda oldukça farklı sonuçlar vermektedir.

Bu nedenle, deplasmana bağlı yatak katsayılarının kullanılması yapı iç kuvvetlerinin bulunmasında büyük önem arz etmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genellikle ülkemizde ve dünyada yapı-zemin etkileşimi sabit yatak katsayıları kullanılarak yapılmaktadır. Hâlbuki yatak katsayısı deplasmanın bir fonksiyonu olarak sabit bir değere sahip değildir. Ayrıca, zemin türü, temel derinliği ve temel boyutu yatak katsayısını etkileyen başlıca parametrelerdir. Ülkemizde, yatak katsayısı belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan zemin cinsine göre tablo haline getirilmiş yatak katsayısı değerleri son derece yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir.

Bu yüzden, mühendislik yapıları izin verilebilir tasarım kıstasları çerçevesinde analiz yapılmalıdır. Bu yüzden temel tasarımı yapılırken ilgili teknik şartnamede verilen, izin verilebilir deplasman kriterlerine göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Bu kapsamda, literatürde yapılan toplam 104 adet plaka – temel yükleme deney sonuçları toplanmış ve birleştirilmiş zemin sınıfına göre kategorize edilmiştir. Kullanılacak olan veri tabanında, farklı saha deneyleri yapılmış olup aralarında meydana gelecek olan uyumsuzlukların önüne geçmek için, birbiri içerisinde yüksek korelasyonlara sahip grafikler kullanılarak, zeminlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Yatak katsayısı üzerinde temel boyut etkisinin araştırılması için aynı içsel sürtünme açısı değerine ve farklı plaka – temel boyutuna sahip saha koşullarında yapılan deneyler arasında, literatürde verilen korelasyonlar kullanılarak boyut etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, Terzaghi (1955) kullanılarak yapılan korelasyonların yüksek uyum içerisinde olduğu ve 1 metre çap ya da genişliğe sahip olan temeller için boyut etkisinin ortadan kalktığı tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri tabanında bulunan farklı temel boyutları ve içsel sürtünme açısına sahip yükleme deneyleri için, sonlu elemanlar yöntemi ile geri analiz yapılmış, aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin birbirinden farklı zemin elastisite modül değerine sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu yüzden; veri tabanının genel karakterini ortaya çıkarmak için geri analiz yöntemi ile bulunan zemin elastisite modüllerinin ortalama ve $\pm$ standart sapmaya bağlı değerleri, içsel sürtünme açısına bağlı olarak sınıflandırılmıştır

Birçok araştırmacının yaptığı çalışmalar sonucunda; temelde oluşacak olan deplasman miktarına göre yapı içsel kuvvetlerinin ciddi oranda yapıyı güvensiz bırakacak şekilde değiştiği ortaya konmuştur.

Bu sebepten dolayı, bu çalışmada deplasmana bağlı olarak azalama eğilimi gösteren yatak katsayılarının temel derinliğine, temel ölçüsüne, içsel sürtünme açısına ve zemin elastisite modülüne bağlı olarak değişimi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır.

1. Zemin içsel sürtünme açısı arttıkça, yatak katsayısı artmaktadır.
2. Temel derinliği arttıkça, yatak katsayısı artmaktadır.
3. Yatak katsayısı düşey yöndeki deplasmanın bir fonksiyonu olmaktadır.
4. Deplasmandaki artışa bağlı olarak yatak katsayısı azalmaktadır.
5. Aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin; ortalama ve $\pm$ standart sapmaya bağlı olarak elastisite modül değeri arttıkça, yatak katsayısı artmaktadır.
6. Deplasmana bağlı yatak katsayısı kullanılması yapı iç kuvvetlerinin bulunmasından büyük önem arz etmektedir.

Deplasmana bağlı olarak azalama eğilimi gösteren yatak katsayılarının temel derinliğine, temel boyutlarına, içsel sürtünme açısına ve zemin elastisite modülüne bağlı olarak belirlenmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

104 adet deneysel çalışmadan yararlanılarak ölçümlenmiş taşıma gücü değerleri ile Terzaghi (1943), Meyerhof (1965), Hansen (1970), Vesic (1973) ve bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan taşıma gücü değerleri karşılaştırılmış ve güvenilirliği konusunda bir sonuca varılmıştır.

Ölçümlenmiş taşıma gücü değerinin, el hesabı ve bilgisayar yardımı ile yapılan taşıma gücü değerine olan oranı 0,92 ile 2,35 değeri arasında değişmektedir. Ölçümlenmiş taşıma gücü değerine en yakın sonuç veren 0,92 ortalama değeri ile Meyerhof (1965) olup güvenilirliği oldukça kanıtlanmıştır. En konservatif tarafta ise ölçümlenmiş taşıma gücüne en uzak sonuç veren 2,35 ortalama değeri ile Hansen (1970) yöntemi olmuştur.

Yapılan yöntemlerin mukayesesinde önemli bir yer tutan standart sapma değeri 0,49 ile 1,22 arasında değişmektedir. En düşük standart sapma değeri 0,49 ile Meyerhof (1965)

yöntemine ait olup en yüksek standart sapma değeri 1,22 ile Hansen (1970) taşıma gücü yöntemine aittir.

Yapılan yöntemlerin mukayesesinde önemli olan bir diğer faktör ise varyasyon katsayısıdır. 5 farklı yönteme göre hesaplanan varyasyon katsayıları 0,52 ile 0,54 arasında birbirine yakın olarak gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

1. Winkler, E. (1867). Die Lehre von Elastizität und Festigkeit (on Elasticity and Fixity), 182
2. Coduto, D.P. (2011). *Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar*. (Çev. M.Mollamahmutoğlu ve K.Kayabalı). Ankara: Gazi Kitapevi. (Eserin orijinali 2001’de yayımlandı), 124-128.
3. Terzaghi, K., (1955). Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. *Geotechnique*, 4, 297-32
4. Terzaghi, K., (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley, 50-250.
5. Meyerhof, G. G. (1965). Shallow Foundations. *American Society of Civil Engineers*, 91, 21-31.
6. Hansen, J. B. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. *Danish Geotechnical Institute*, 28, 21.
7. Vesic, A. S. (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Soil Mechanics and Foundations Division*, 99, 463-471.
8. Biot, M. A. (1937). Bending of Infinite Beams on an Elastic Foundation. *Journal of Applied Physics*, 155-164.
9. Vesic, A. S. (1961). Beams on Elastic Subgrade and Winkler’s Hypothesis. *Proceedings 5th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 845-850.
10. Meyerhof, G. G., and L. D. Baike. (1963). Strength of Steel Culverts Sheets Bearing against Compacted Sand Backfill. *Highway Research Board Proceedings*, 30.
11. Selvadurai, A. P. S. (1979). Elastic Analysis of Soil-Foundation Interaction. *Developments in Geotechnical Engineering*, 17, Elsevier Scientific Publishing Co., 58-87.
12. Bowles. J.E., (1996). *Foundation Analysis and Design* (Fifth edition). United States of America: McGraw-Hill, 219-270 ve 501-588.
13. Das, B. M., (2007). *Principles of Foundation Engineering* (Seventh edition). United States of America: Cengage, 170-312.
14. Skempton, A.W. and Macdonald, D. H. (1956). The Allowable Settlements of Buildings. *Proceedings of Institute of Civil Engineers*, 724-761.
15. Polshin, D.E., and Tokar, R.H. (1957). Maximum allowable non-uniform settlement of structures. *Proceeding. 4th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 402-405.
16. Union of Soviet Socialist Republic Building Code (1955).

17. European Committee for Standardization (1994). Basis of Design and Actions on Structures. *Eurocode 1*, 50-70.
18. Lin, P., Yang, L. and Juang, C. H. (1998). Subgrade reaction and load-settlement characteristic of gravelly cobble deposit by plate load test. *Canadian Geotechnical Journal*, 801-810.
19. Moayed, R. Z., and Janbaz, M. (2008). Foundation Size Effect on Modulus of Subgrade Reaction in Clayey Soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13.
20. Potts, A., (2009). Modulus of Subgrade Reaction and Deflection. *Undergraduate Journal of Mathematical Modelling: One + Two*, 2.
21. Moayed, R. Z., and Janbaz, M. (2011). Subgrade reaction modulus of Tehran alluvium. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 283-288.
22. Dincer, I. (2011). Models to predict the deformation modulus and the coefficient of subgrade reaction for earth filling structures. *Advances in Engineering Software*, 160-171.
23. Marto, A., Latifi, N., Janbaz, M., Kholghifard, M., Khari, M., Alimohammadi, P., and Banaki, A. D. (2012). Foundation Size Effect on Modulus of Subgrade Reaction on Sandy Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 2523-2530.
24. Moayed, R. Z., and Bolandi, M. A. (2012). Effect of Elastic Modulus Varieties in Depth on Subgrade Reaction Modulus of Granular Soils. *Second International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment*, 1-3.
25. Abd Elsamee, W. N. (2013). An Experimental Study on the Effect of Foundation Depth, Size and Shape on Subgrade Reaction of Cohesionless Soil. *Scientific Research*, 785-795.
26. Daloglu, A.T. and Vallabhan, C.V. (2000). Values of k for Slab on Winkler Foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126, 463-471.
27. Mısır, İ. S., Özden, G., ve Kahraman, S. (2005). Temel-Zemin Yaylarının Alansal Etkileşimi ve Yapı Davranışına Etkisi. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.
28. Kahraman, S., Mısır, İ.S., ve Özden G. (2007). Sabit ve Değişken Yatak Katsayısı Yaklaşımlarının Yapı Davranışa Etkisi. *6.Ulusal Deprem Konferansı*, İstanbul.
29. Girgin, C. S., Mısır, S., Özden, G., ve Kahraman, S. (2008). Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapısal Tasarımındaki Rolü. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10: 27-37.
30. Sadrekarimi, J., and Akbarzad, M. (2009). Comparative Study of Methods of Determination of Coefficient of Subgrade Reaction. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 14.

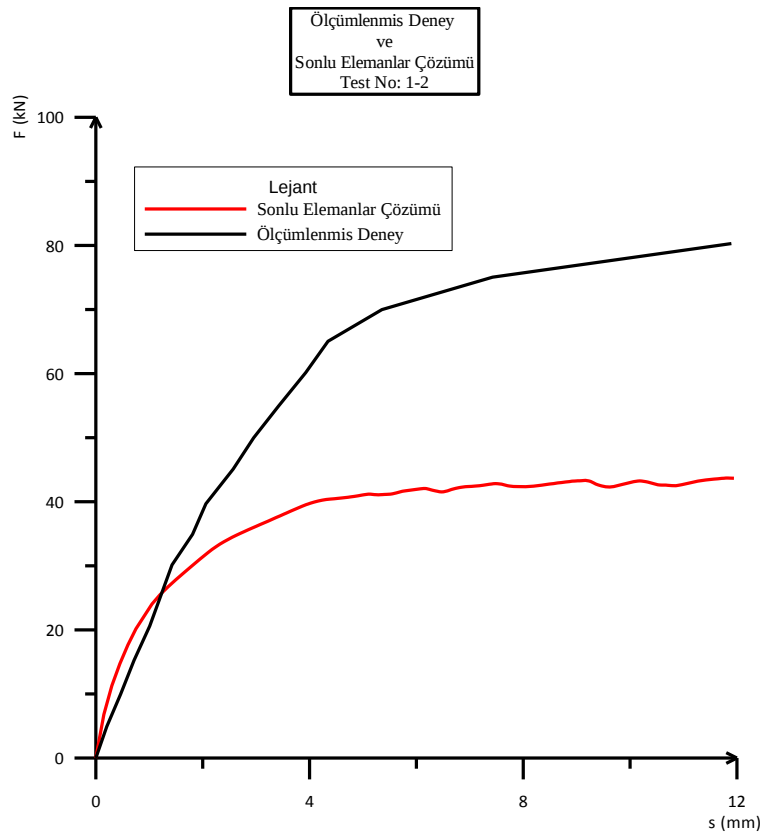
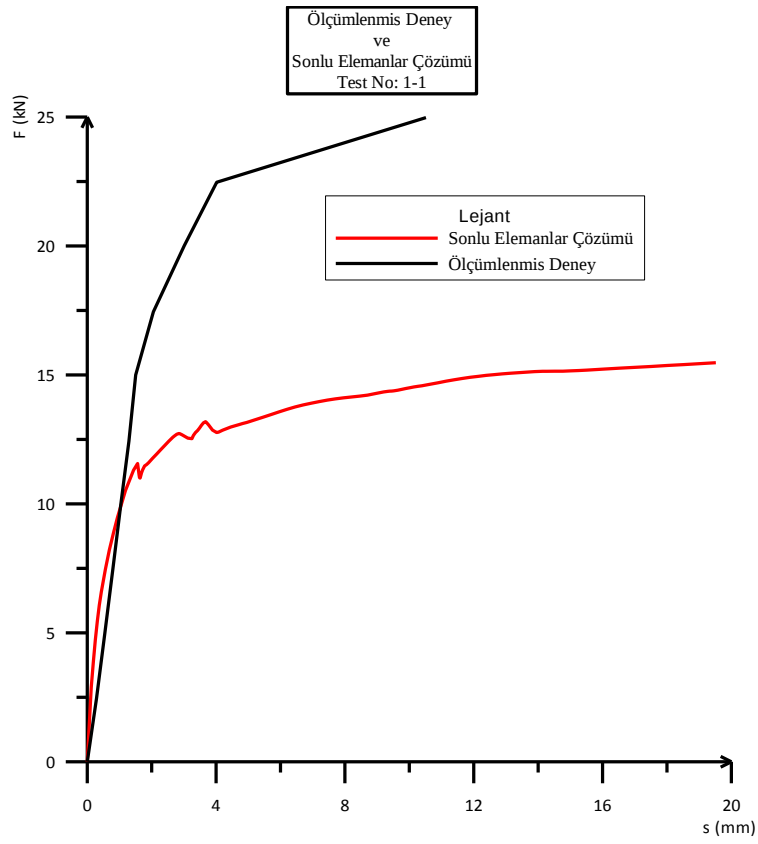
31. Abdul Hussein, H. M. (2011). Effects of Flexural Rigidity and Soil Modulus on the Linear Static Analysis of Raft Foundations. *Pure and Applied Sciences*, 19, 740-752.
32. Farouk, H., and Farouk M. (2014a). Effect of Elastic Soil Structure Interaction on Modulus of Subgrade Reaction. *Proceedings Recent Advances in Material, Analysis, Monitoring, and Evaluation in Foundation and Bridge Engineering*, 111-118.
33. Farouk, H., and Farouk M. (2014b). Calculation of Subgrade Reaction Modulus Considering the Footing-Soil System Rigidity. *Proceedings Vulnerability, Uncertainty, and Risk: Quantification, Mitigation and Management*, 2498-2507.
34. Farouk, H., and Farouk M. (2015a). Validation of Using Modulus of Subgrade Reaction to Consider the Soil Structure Interaction. *AEI 2015: Birth and Life of the Integrated Buildings*, 638-650.
35. Farouk, H., and Farouk M. (2015b). Soil Foundation, and Superstructure Interaction (I): Advanced Analyses of Shallow Foundations. *Proceedings of the International Foundations Congress and Equipment Expo*, 42-51.
36. Dörken, W. and Dehne, W. (1995). Grundbau in Beispielen Teil 2. *Werner Verlag*, 175-176.
37. Zeevaert, L., (1983). *Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions* (Second edition). United States of America: *Van Nostrand Reinhold Company*, 145-234.
38. Baldouf, T. (1988). Betonkonstruktionen im Tiefbau. *Ernst & Sohn*, Berlin, 102.
39. Ersoy, U., (1995). *Betonarme 2 Döşeme ve Temeller*. Ankara: Evrim Yayınevi, 175-178.
40. Bowles. J.E., (1996). *Foundation Analysis and Design* (Fifth edition). United States of America: *McGraw-Hill*, 501-588.
41. Uzuner, B.A., (2011). *Temel Mühendisliğine Giriş* (Dördüncü Baskı). Trabzon: Derya Kitabevi, 167-171.
42. Kökten, Ö. (2008). *Yüzeyel Temellerin TS 500'e Göre Hesap ve Tasarım Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-12.
43. Önalp, A. ve Sert, S. (2010). *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*, İstanbul: Birsan Yayınevi, 205 – 206.
44. TS 5744, (1988). *İnşaat Mühendisliğinde Temel Zemini Özelliklerinin Yerinde Ölçümü*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-6.
45. Eurocode 7, (2007). *Geotechnical Design Part 2: Ground Investigation and Testing*. European Standard Norm, 57-59.
46. Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, *Report-El-2870*, 4-19.

47. Chen, J.-R. (2004). *Axial Behavior of Drilled Shafts in Gravelly Soils*. Doctoral Thesis, Cornell University, Ithaca, 50-150.
48. DiMillio, A. (1994). *FHWA Spread Footing Load Test at Fairbanks 1985 and 1991*. Personal Communication as Reported in Briaud and Gibbens.
49. Canape, Y. (1990). Fondations superficielles. Essais de chargement de semelles établies sur une couche de sable en place, station expérimentale de Labenne. Influence des conditions d'exécution. Compte rendu d'essais. *FAER 1.17.02.09, LREP*.
50. Mestat, P. and Berthlon, J. (2001). Finite element modelling of shallow foundation tests at the Labenne site. *Bulletin Des Laboratoires Des Ponts et Chaussees*, Issue 234, 37-67.
51. Levy, J, F. and Morton, K. (1974). Loading Tests and Settlement Observations on Granular Soils. *Proceedings Conference on Settlement of Structures*, 43-52.
52. Lin, B.S., Chu, B.L and Chang, X.N. (1987). Study of Mechanical Characteristics of Red Gravel in Linko Terrace. *Proceedings Geotechnical Engineering Conference*, 341-349.
53. Rodin, S. (1961). Experiences with Penetrometers, with Particular Reference to the Standard Penetration Test. *Proceedings 5th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 517-521.
54. Adams, M. T. and Collin, J.G. (1997). Large Model Spread Footing Load Test and Geosynthetic Reinforced Soil Foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123, 66-72.
55. Mohan, D., Narahari, D.R., and Rao, B. G. (1971). Field and Laboratory Tests on Gravel and Boulder Soils. *Proceedings 4th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 49-54.
56. Viana da Fonseca, A., Ferreira, C., and Vieira de Saousa, J. (2003). Deriving Stiffness Parameters from "Simple" in Situ Tests and Relating them with Reference Values on Saprolitic Soils from Granite. *Proceedings 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 321-328.
57. Frost, R. J. (1970). Discussion to Session No.1. *Proceedings, Symposium on Foundations on Interbedded Sands*, 45-46.
58. Long, D. P. (1998). Which Soil Investigation Methods Can We Trust: Field Test or Laboratory Tests?. *Proceedings 1st International Conference on Site Characterization*, 1301-1308.
59. Bazaraa, A. R. S. S. (1967). *Use of Standard Penetration Test for Estimating Settlements of Shallow Foundations on Sand*. Doctoral Thesis, University of Illionis, Urbana, 40-250.

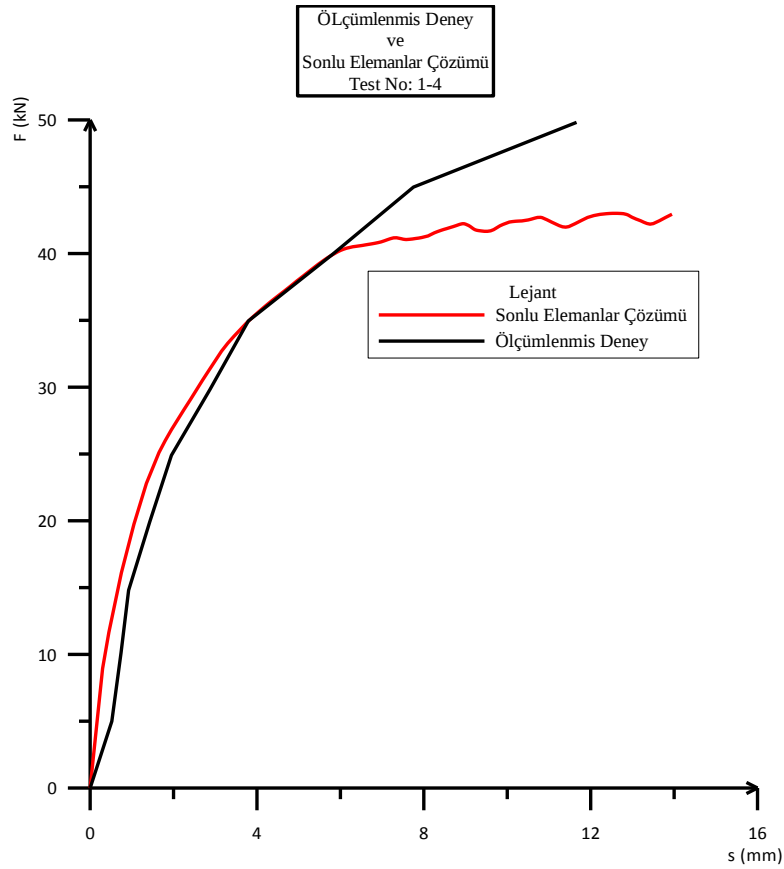
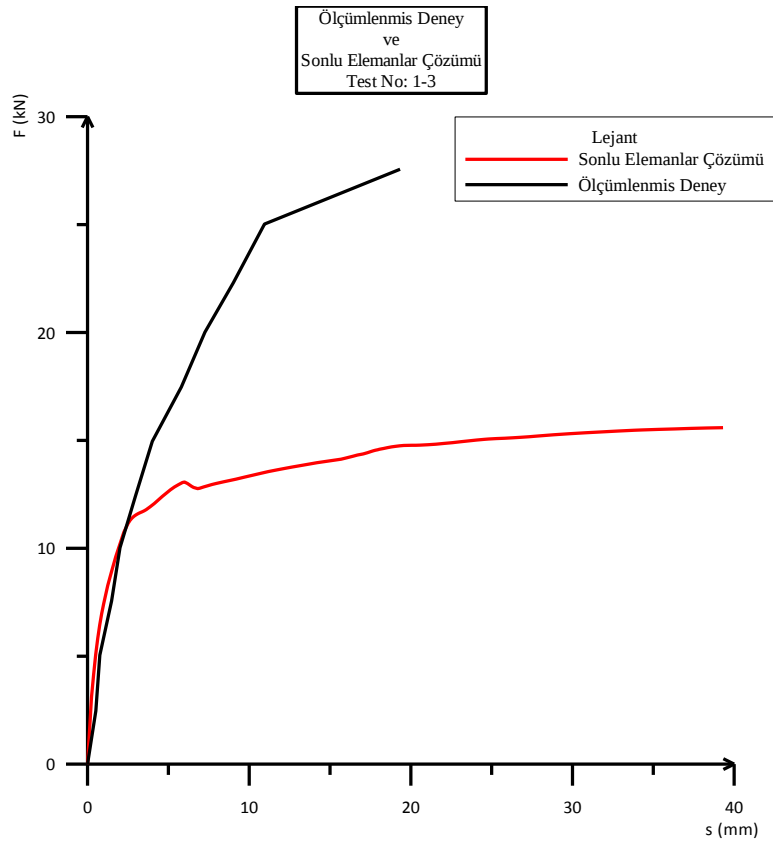
60. Meigh, A. C. and Nixon, A. C. (1961). Comparison of In-Situ Tests for Granular Soils. *Proceedings 5th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 499-508.
61. Verma, S. K., Jain. P. K., and Kumar, R. (2013). Prediction of Bearing Capacity of Granular Layered Soils by Plate Load Test. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 142-149.
62. Phung Duc Long, P. D. (1993). Footings with settlement-reducing piles in non-cohesive soil. *Report 43, Swedish Geotechnical Institute*, 45-93.
63. Amar, S., Baguelin, F., Canepa, Y. and Frank, R. (1998). New design rules for the bearing capacity of shallow foundations based on Menard PMT. *Geotechnical Site Characterization*, 2, 727-733.
64. Kantey, B. A. (1965), Session 5: Shallow Foundations and Pavements. *Proceedings 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3, 453- 455.
65. Clemente, J. L. and Davie, J. R. (2000). Stone Columns for Settlement Reduction. *Proceedings GeoEng2000*, 58-76.
66. Ismael, N. F. (1985). Allowable Pressure from Loading Tests on Kuwaiti Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 22(2), 151-157.
67. Briaud, J. L. and Gibbens, R. M. (1997). Large-Scale Load Tests and Data Base of Spread Footings on Sand. *Report FHWA-RD-97-068*, Federal Highway Administration, McLean, 50-200.
68. Tand, K., Funegard E., and Warden P.E., (1994). Footing load tests on sand. *Proceedings Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, Vol. 1* , American Society of Civil Engineers, 164-178.
69. Orhan, M. (2014). *Temel İnşaat*. Ankara: Gazi Kitapevi, 27-73.

EKLER

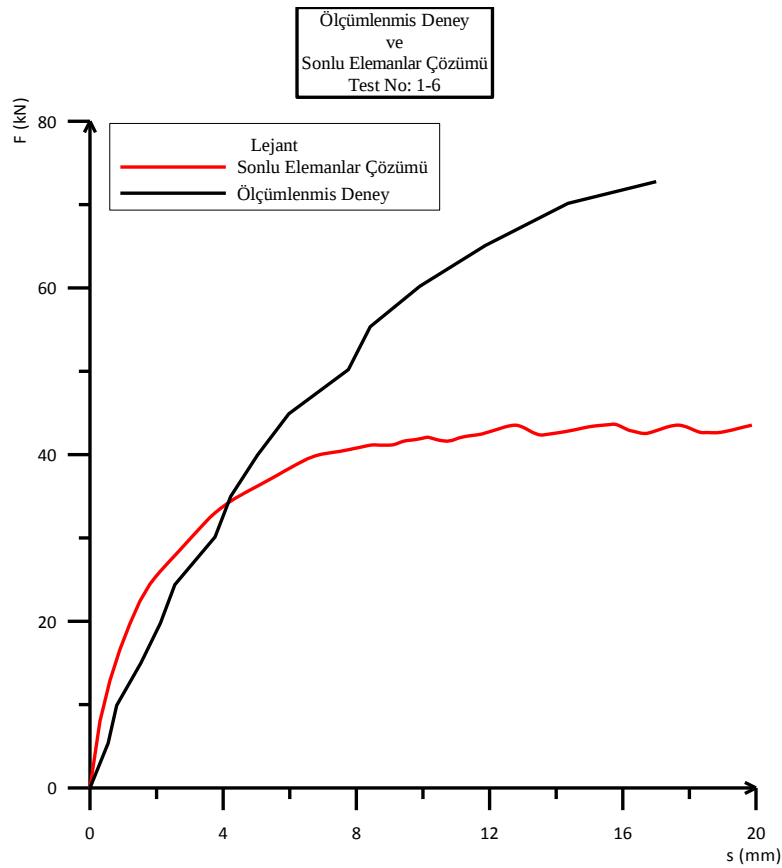
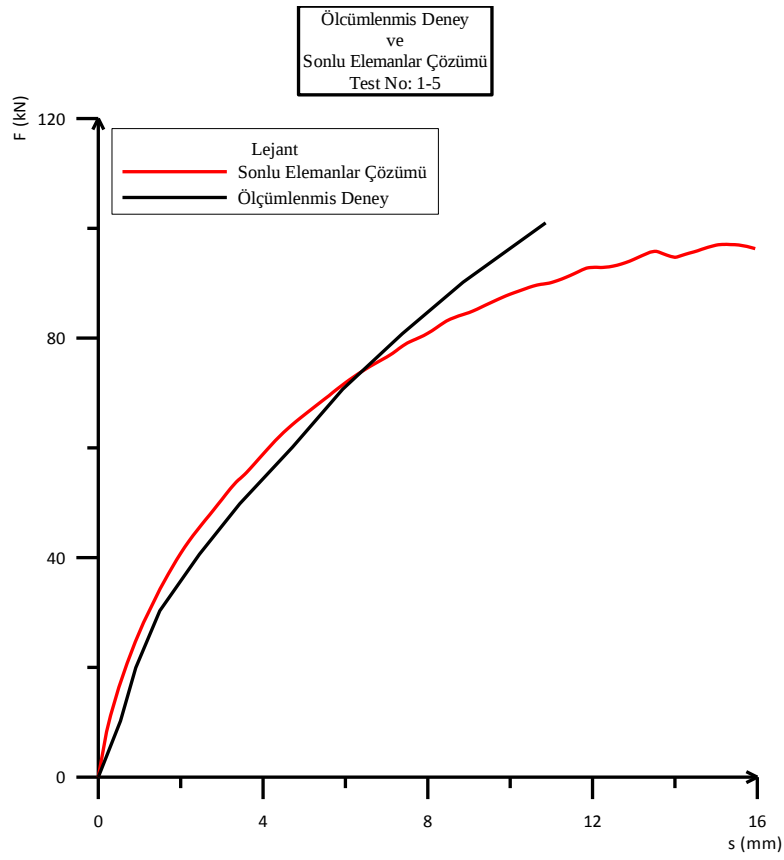
Ek-1. Sonlu elemanlar analiz sonuçları



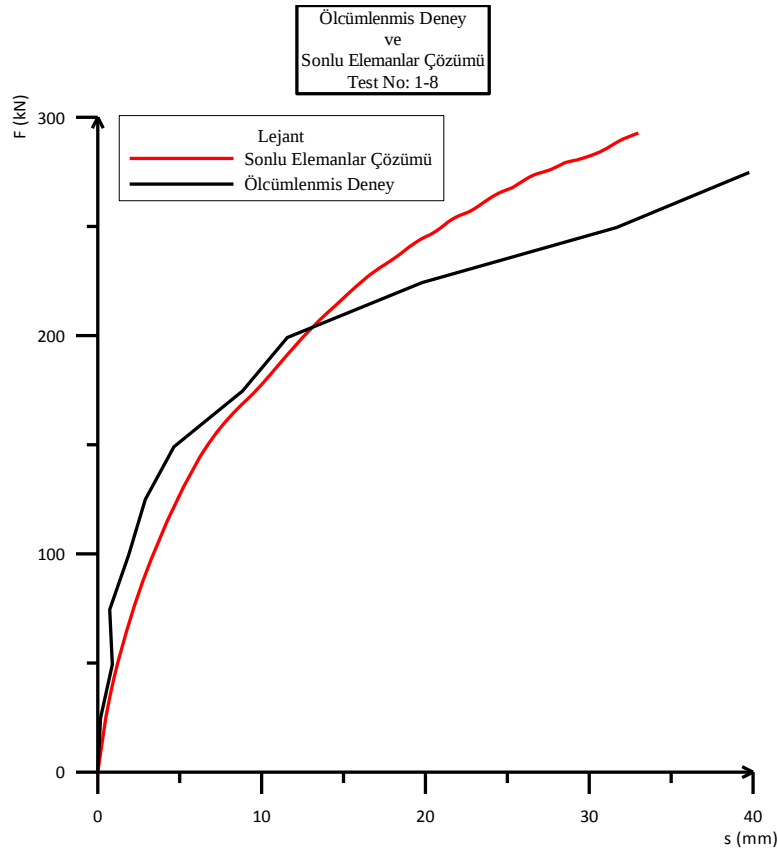
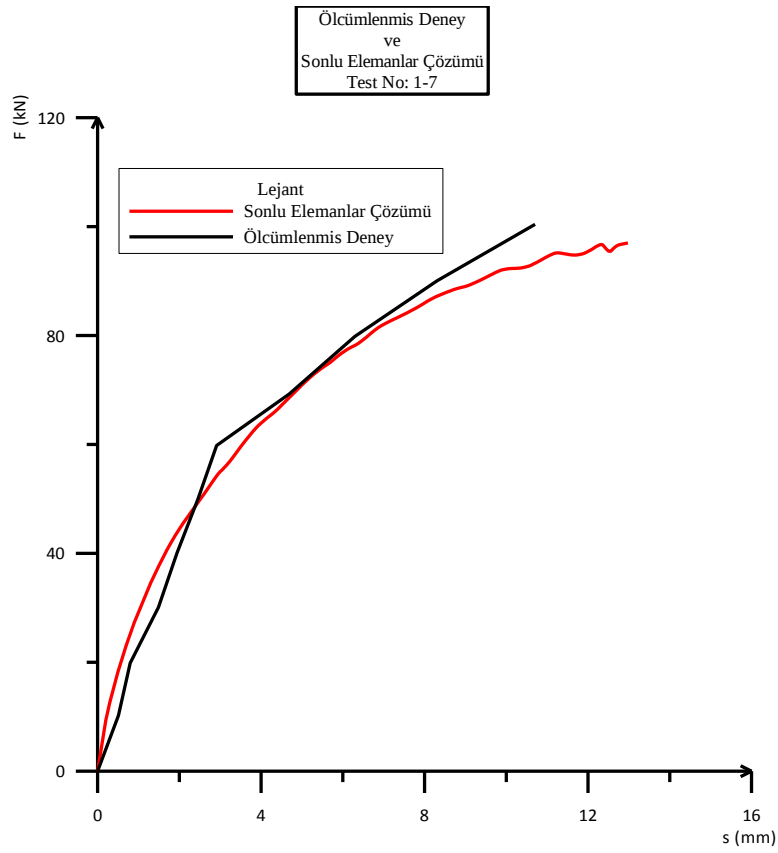
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



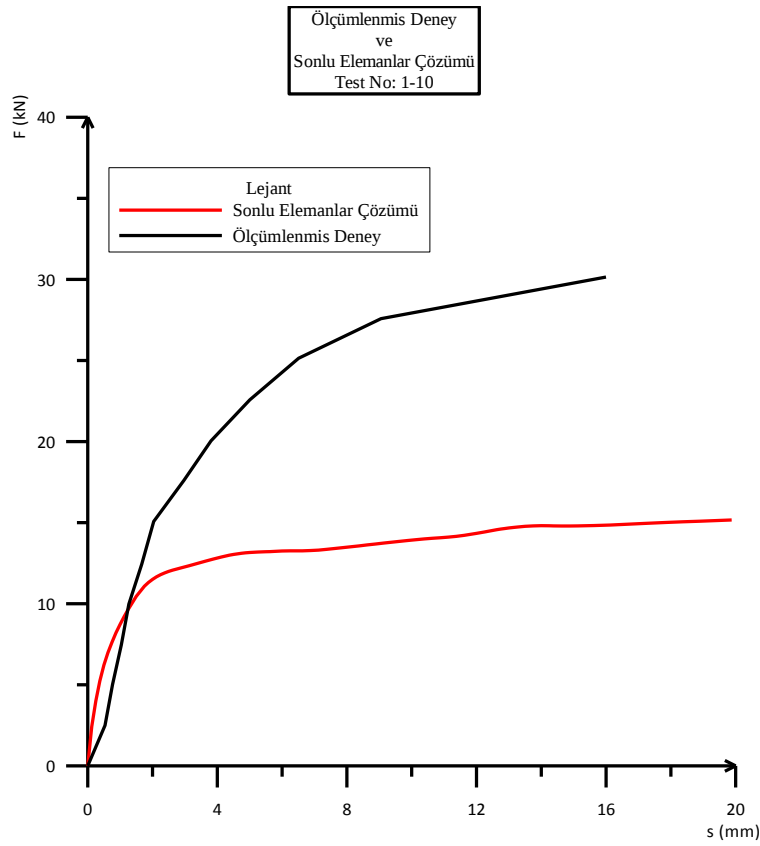
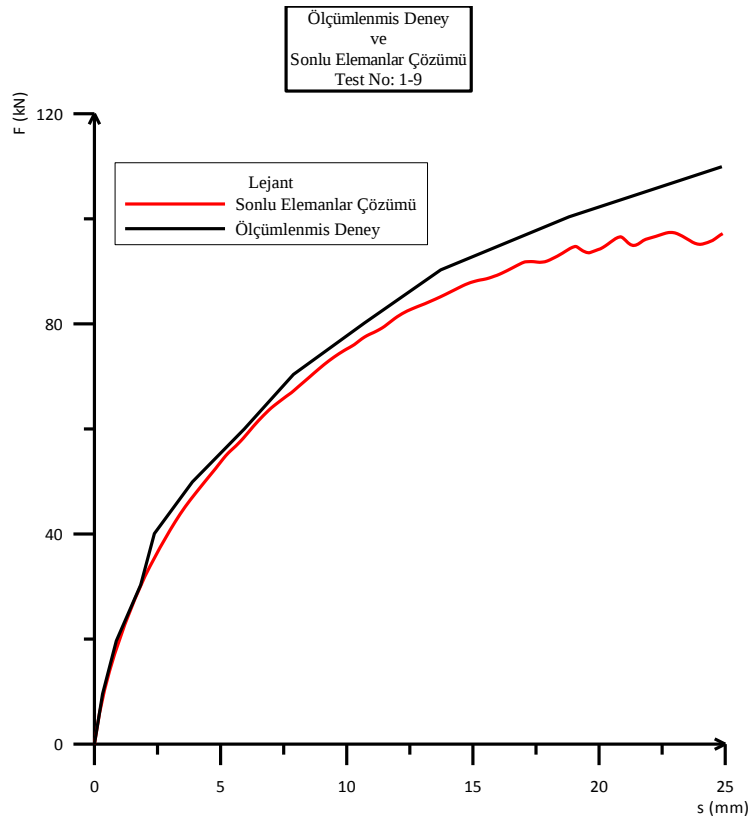
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



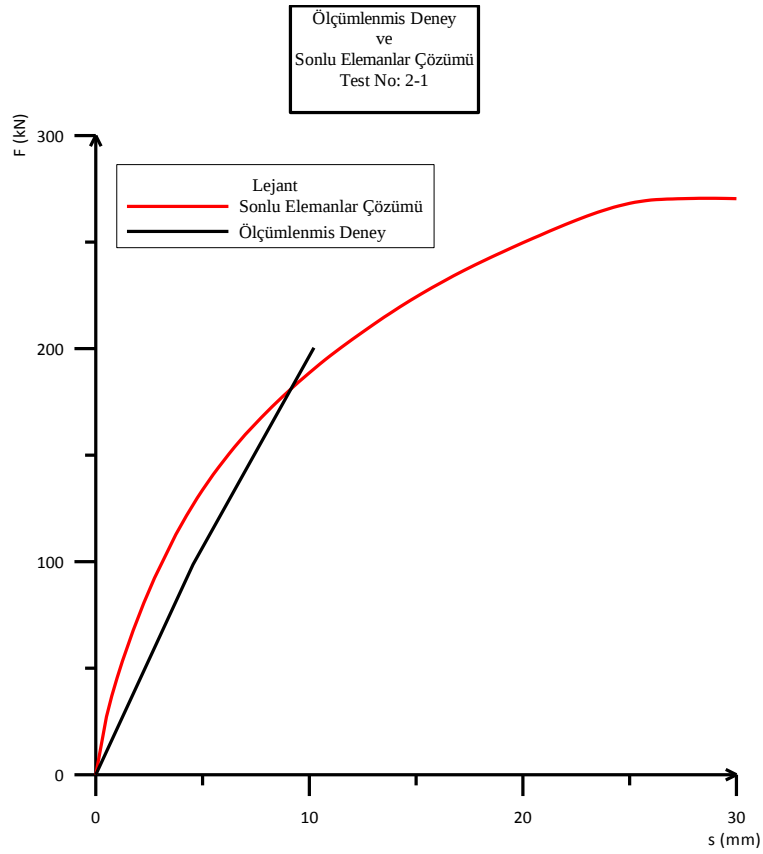
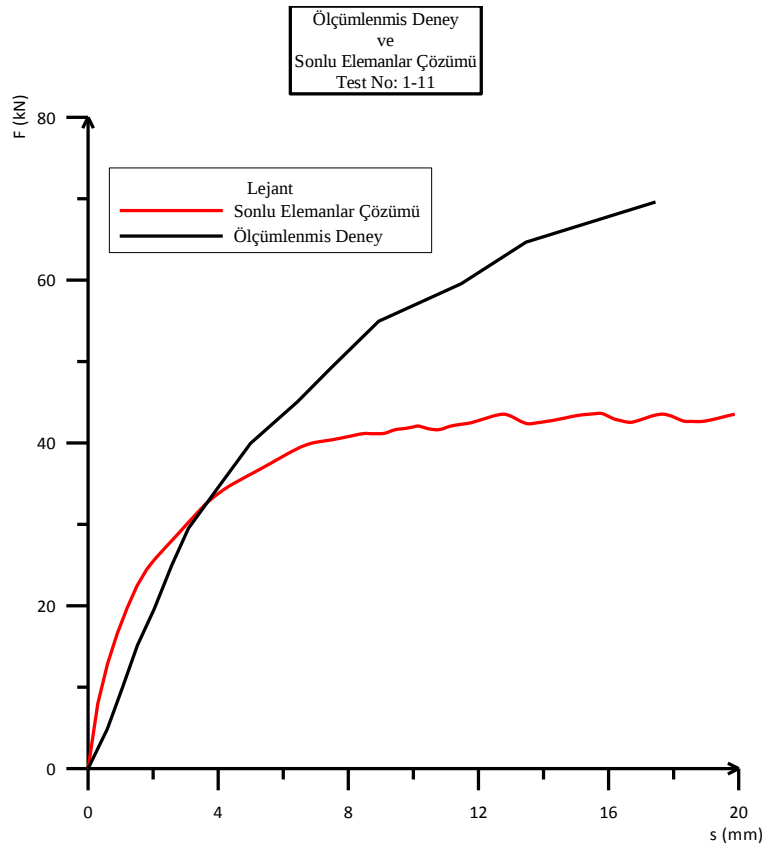
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



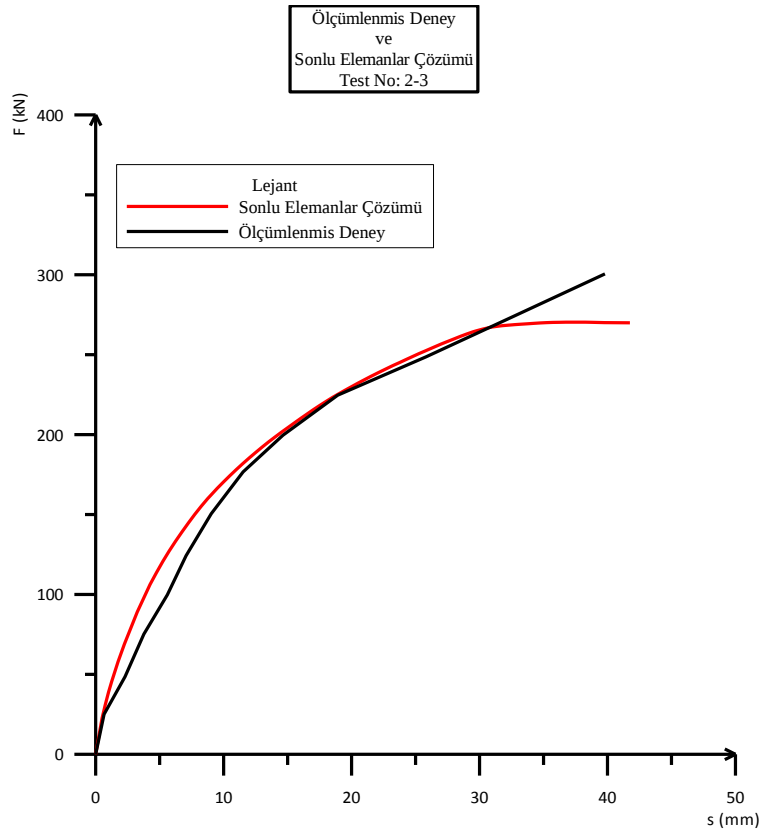
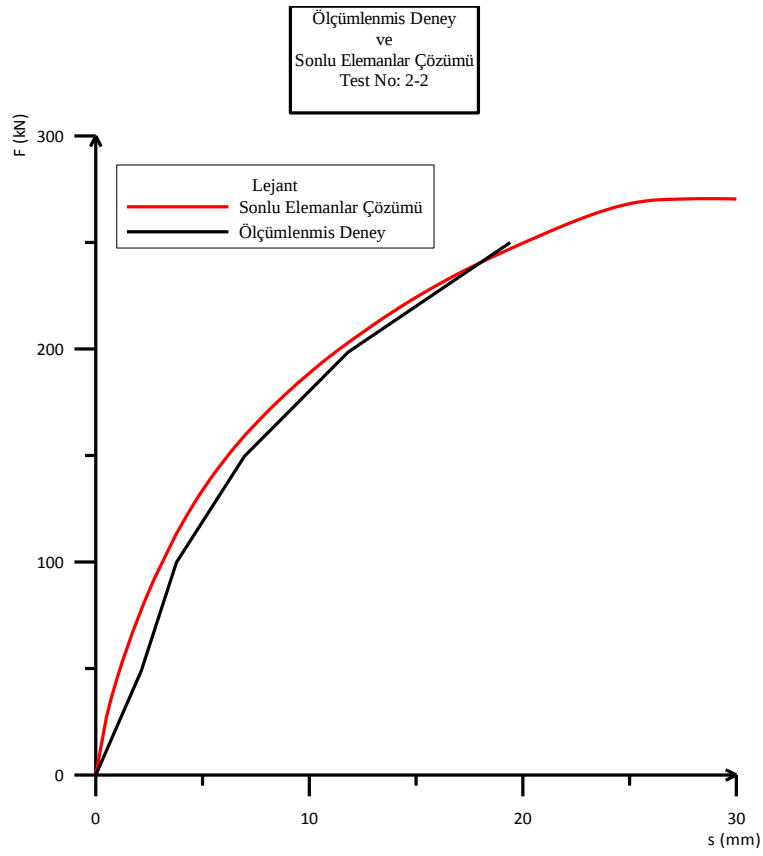
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



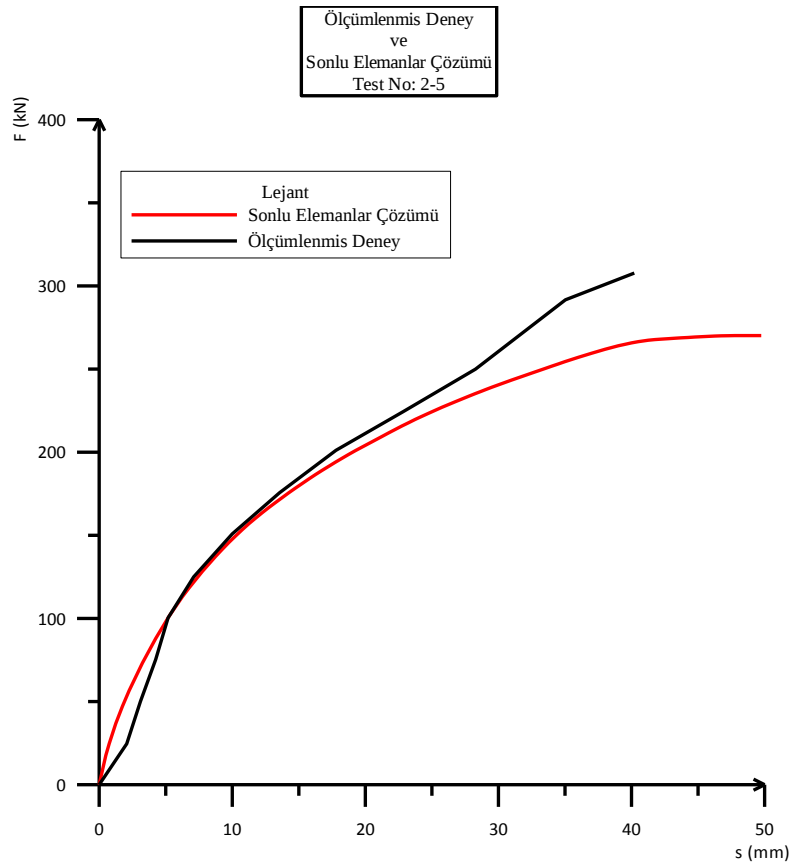
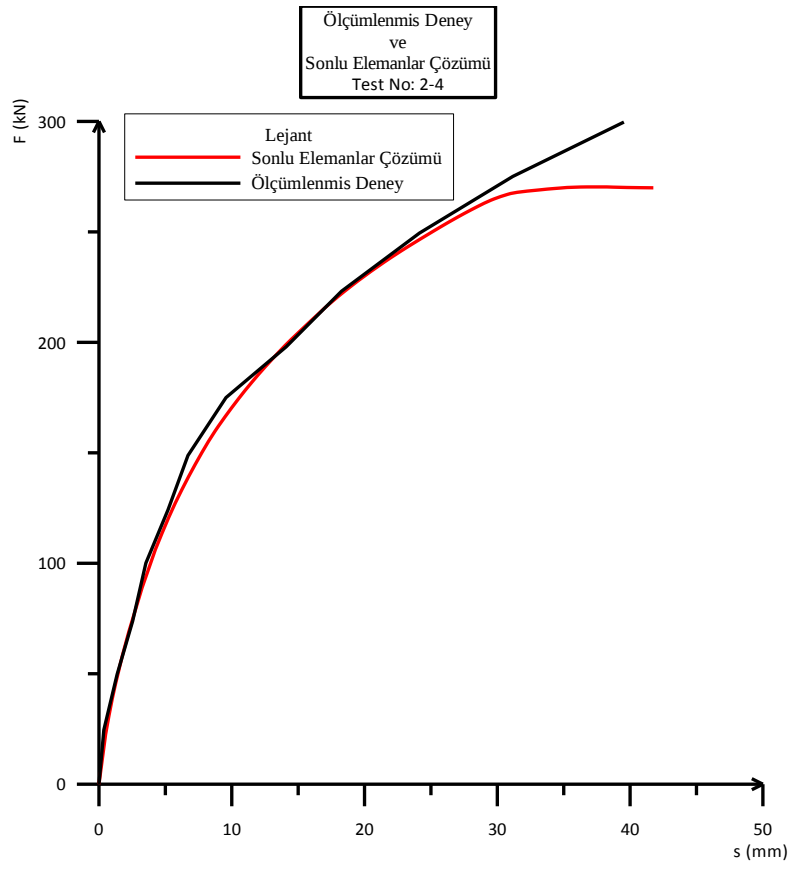
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



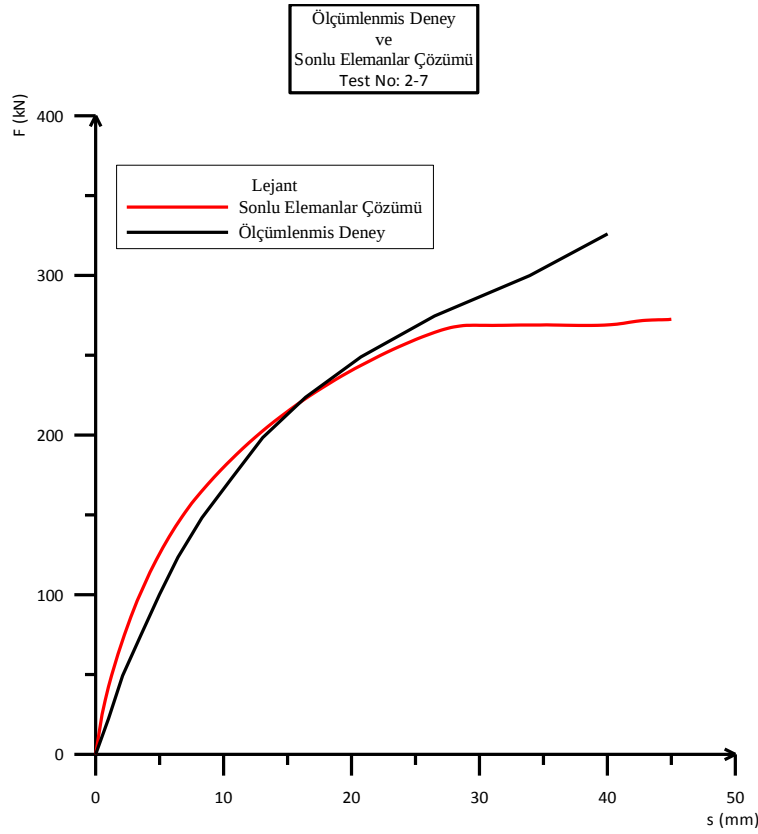
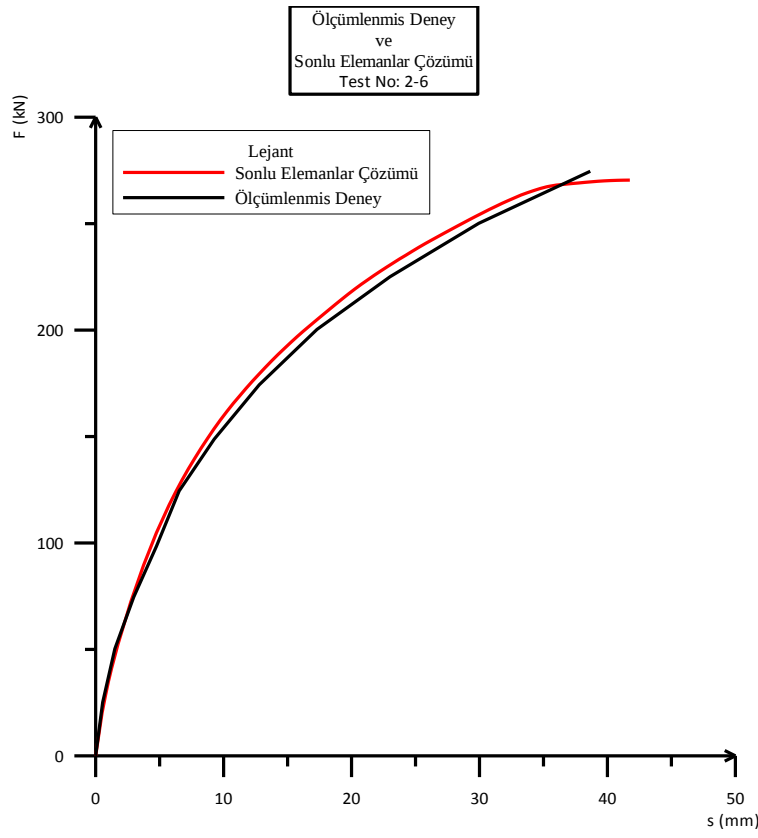
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



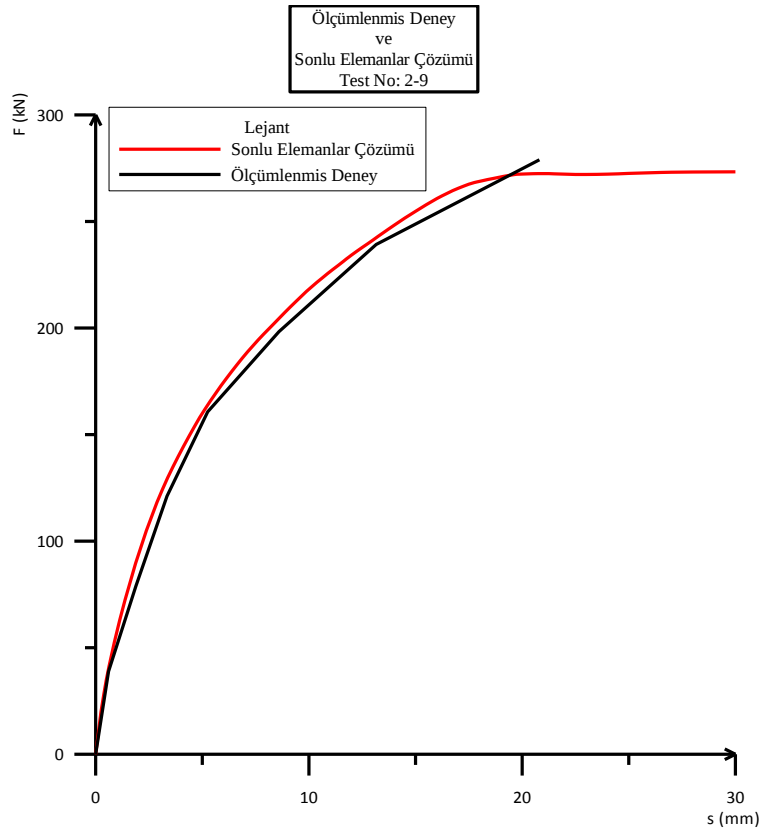
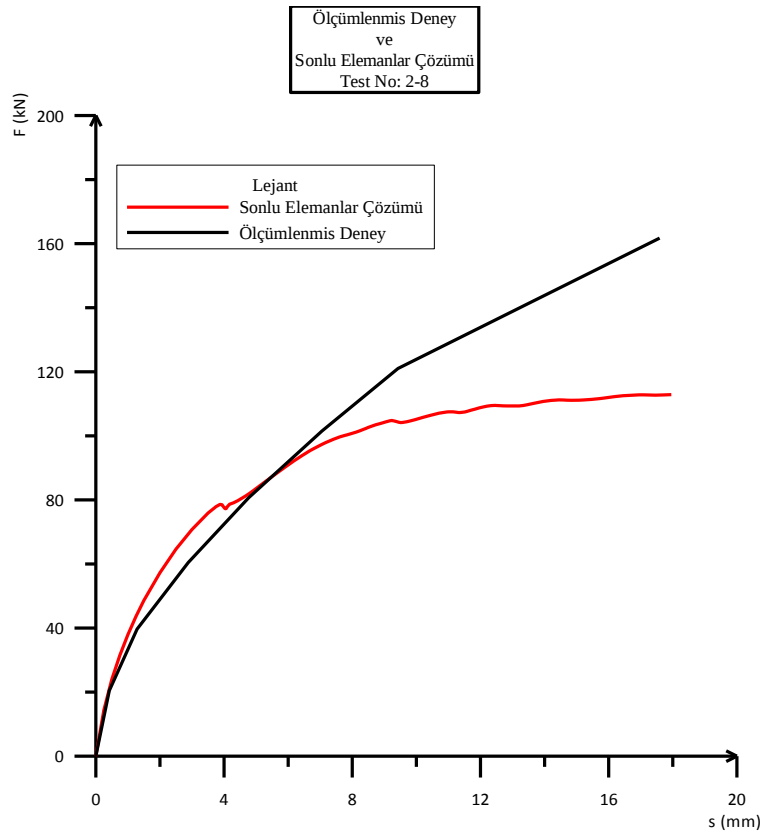
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



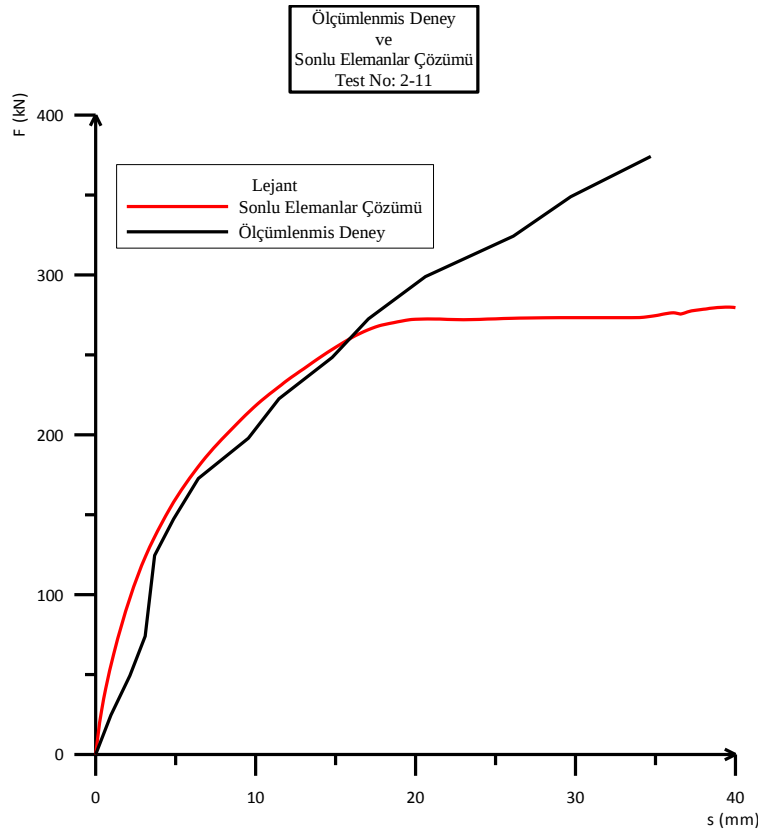
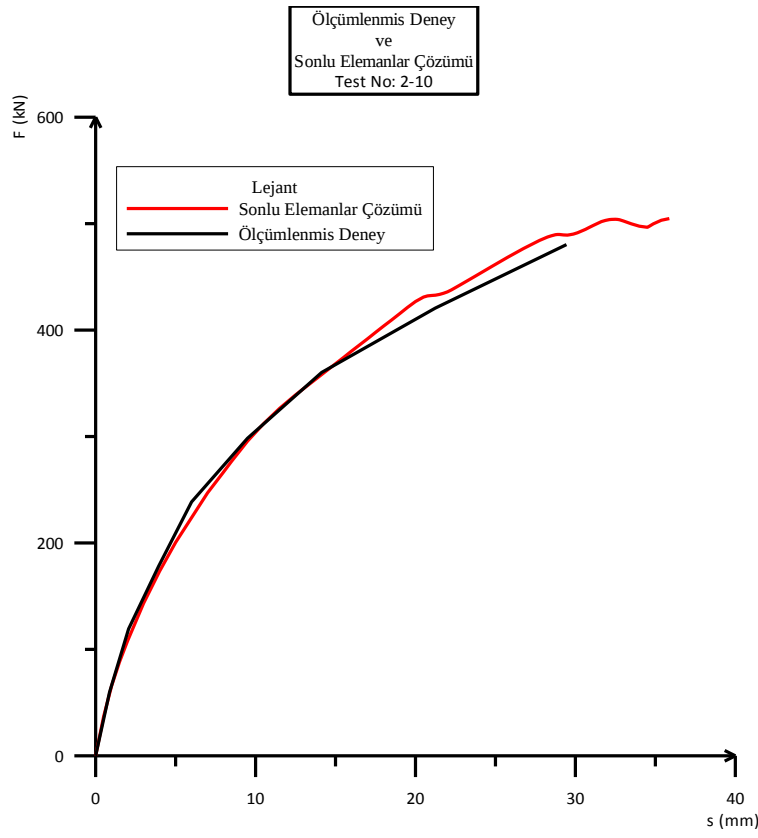
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



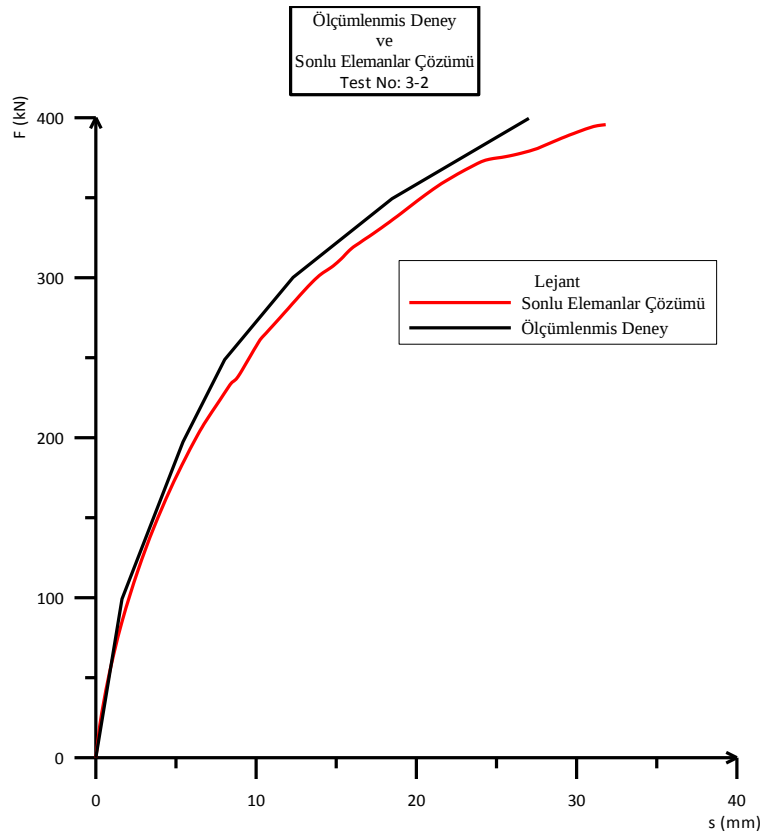
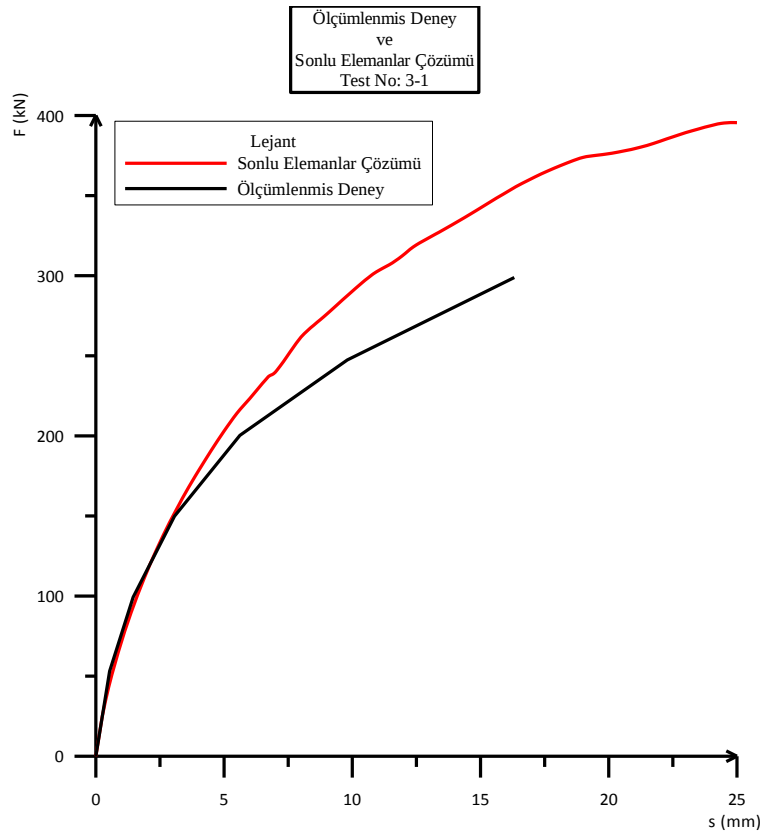
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



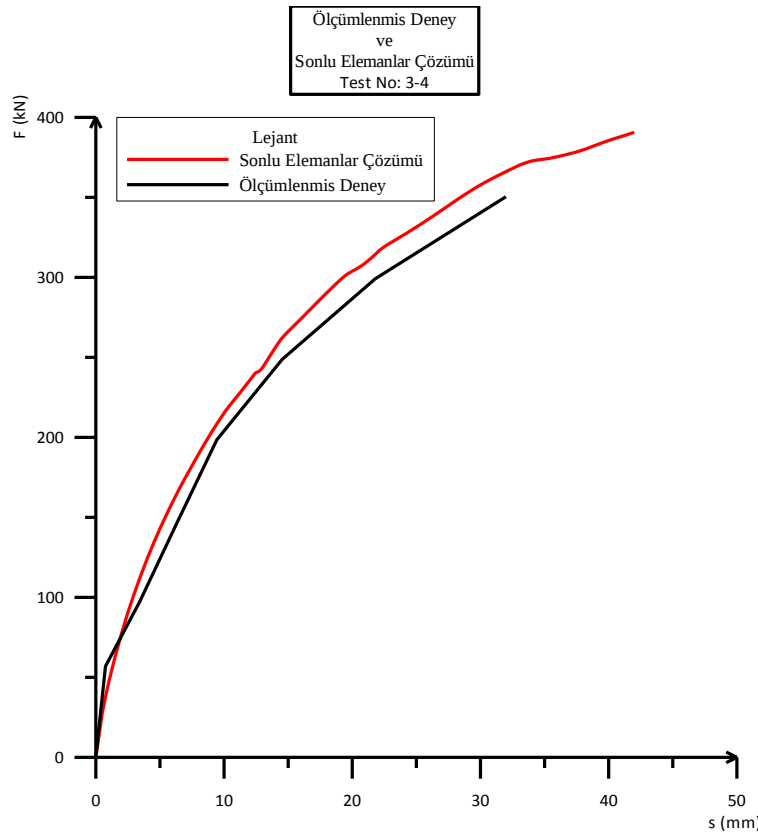
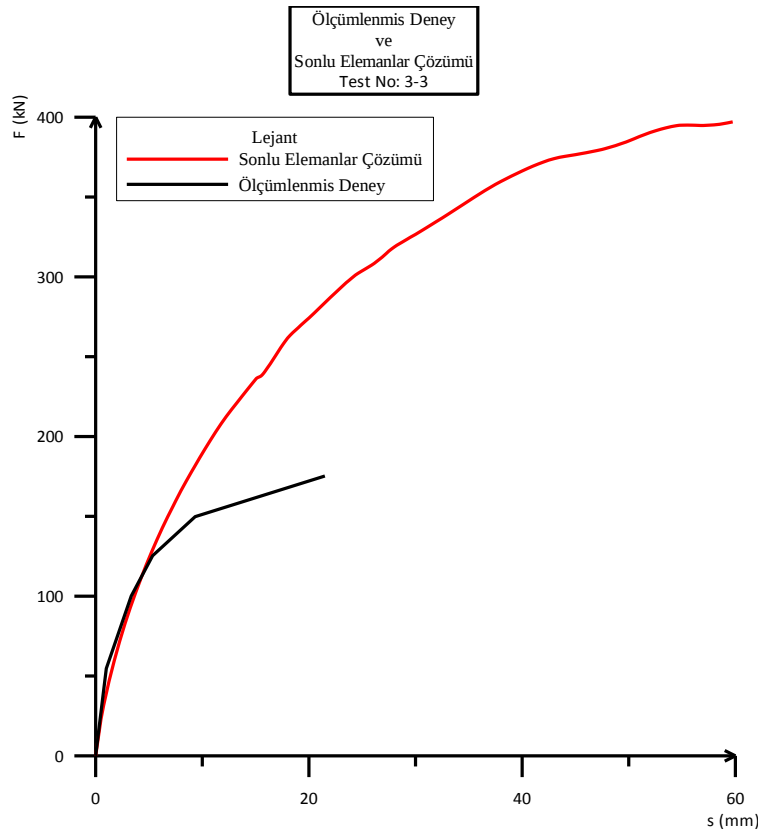
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



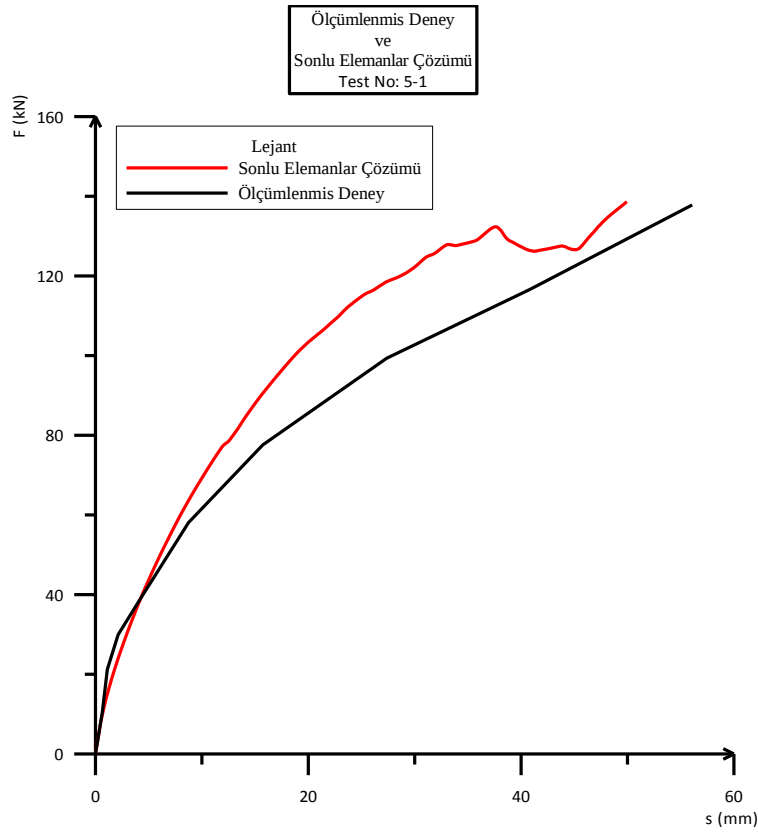
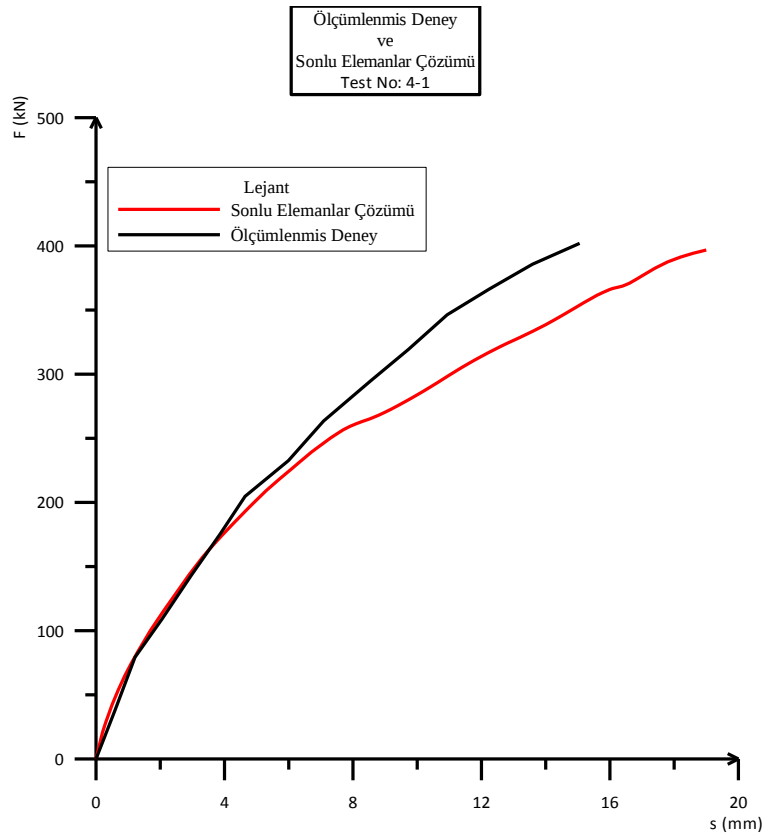
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



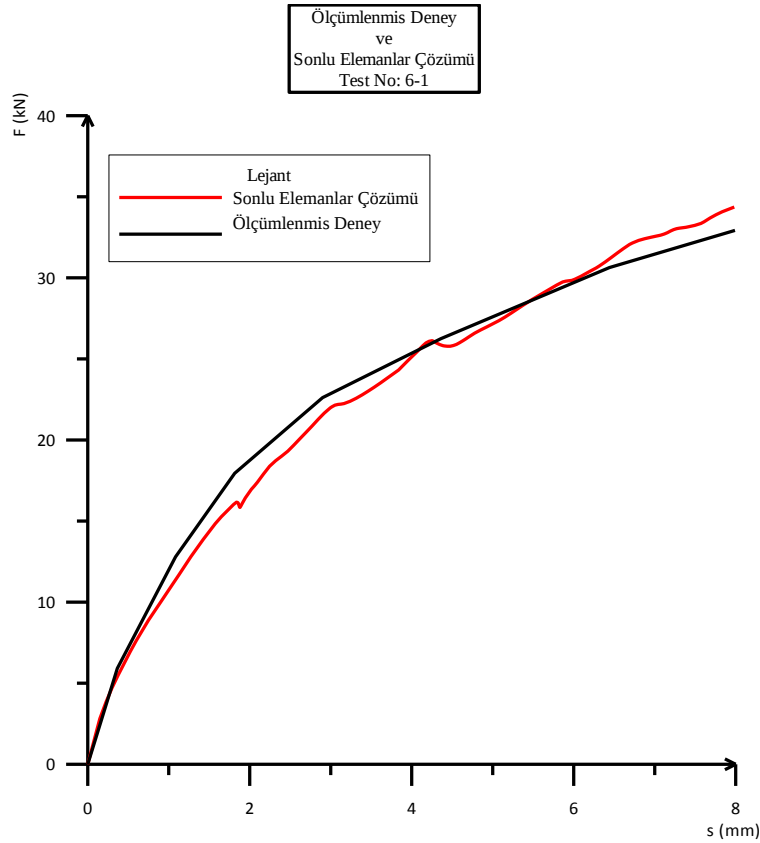
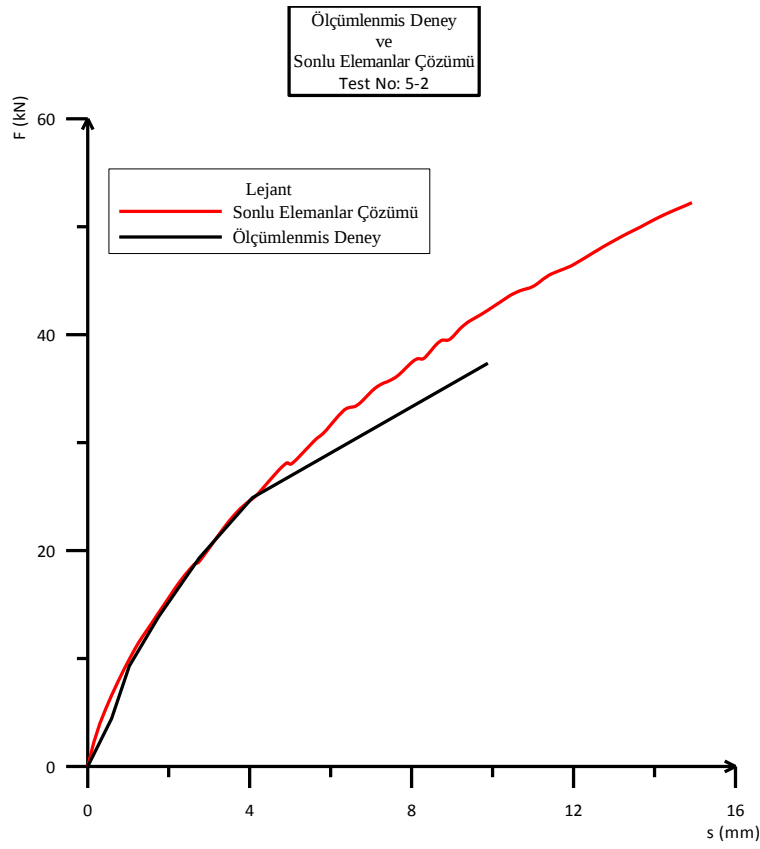
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



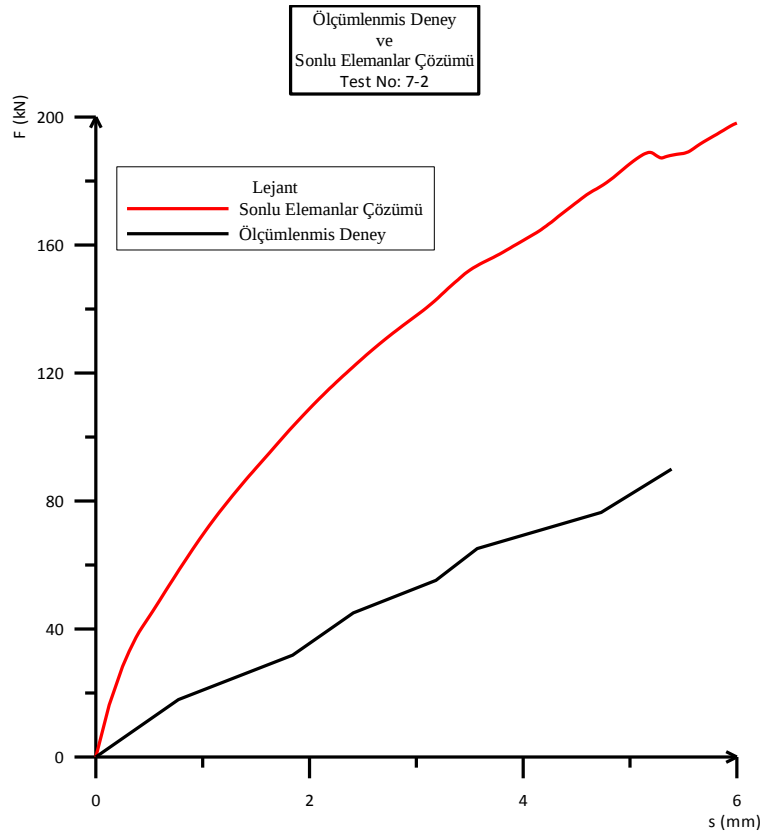
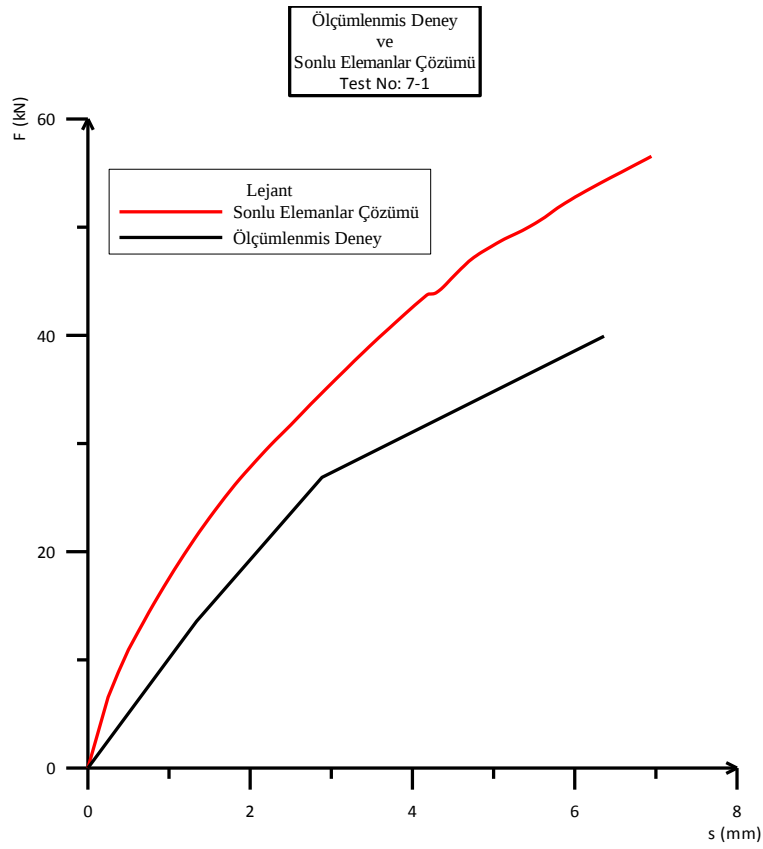
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



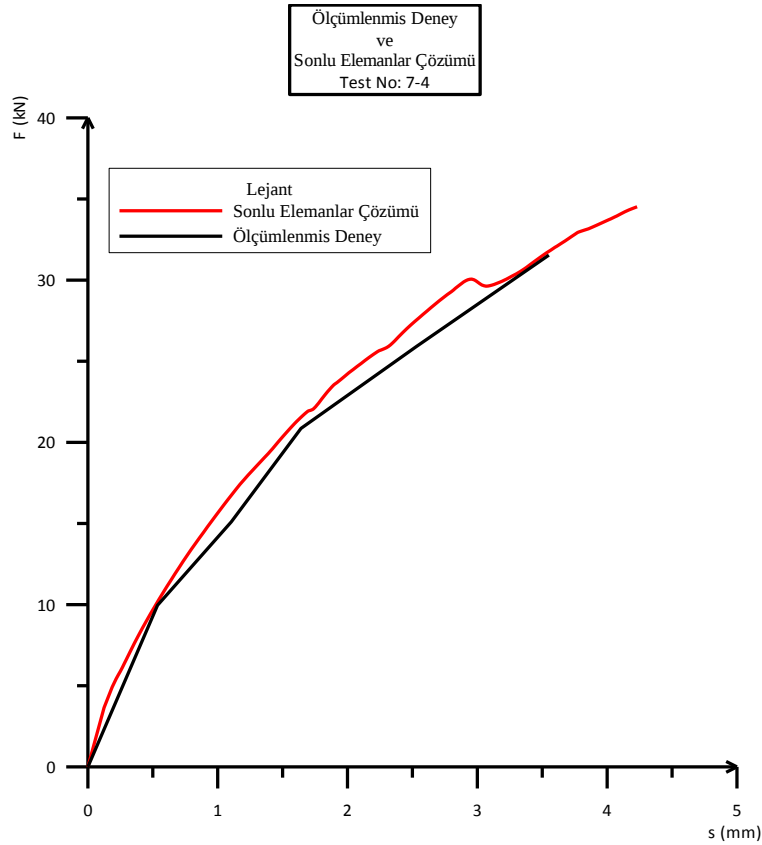
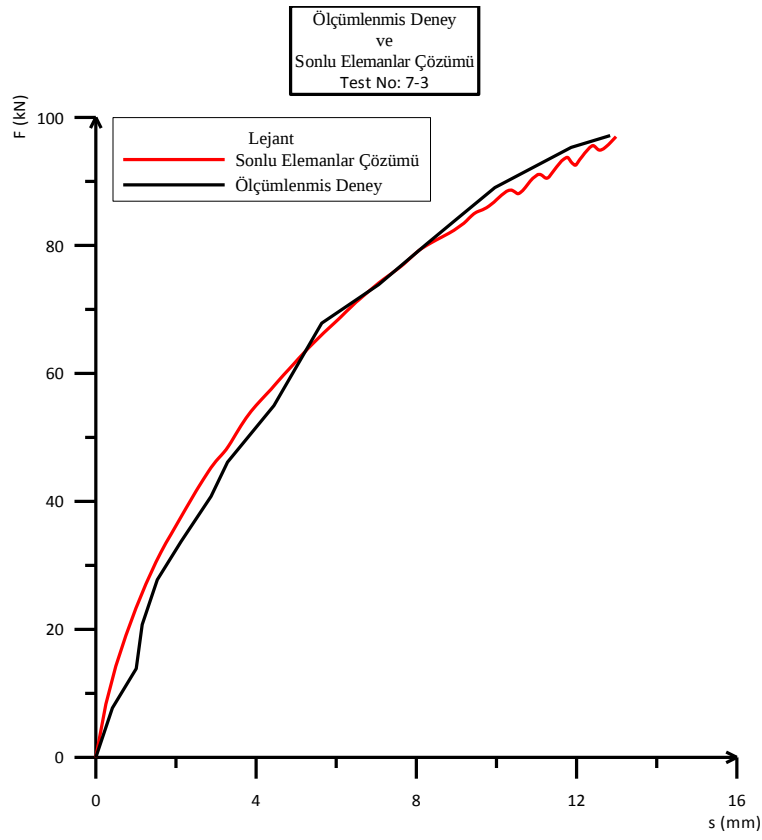
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



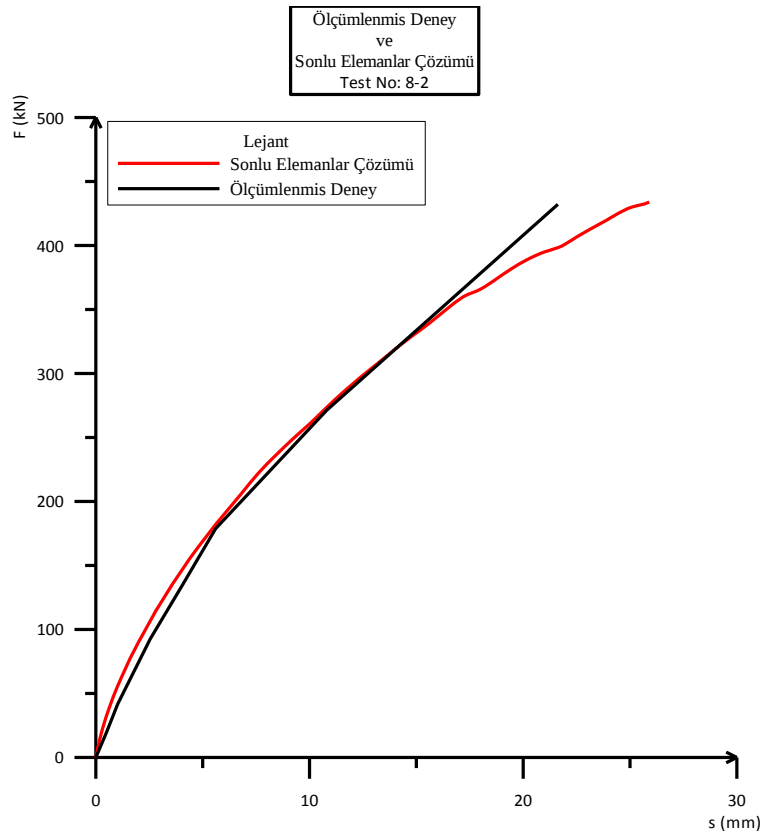
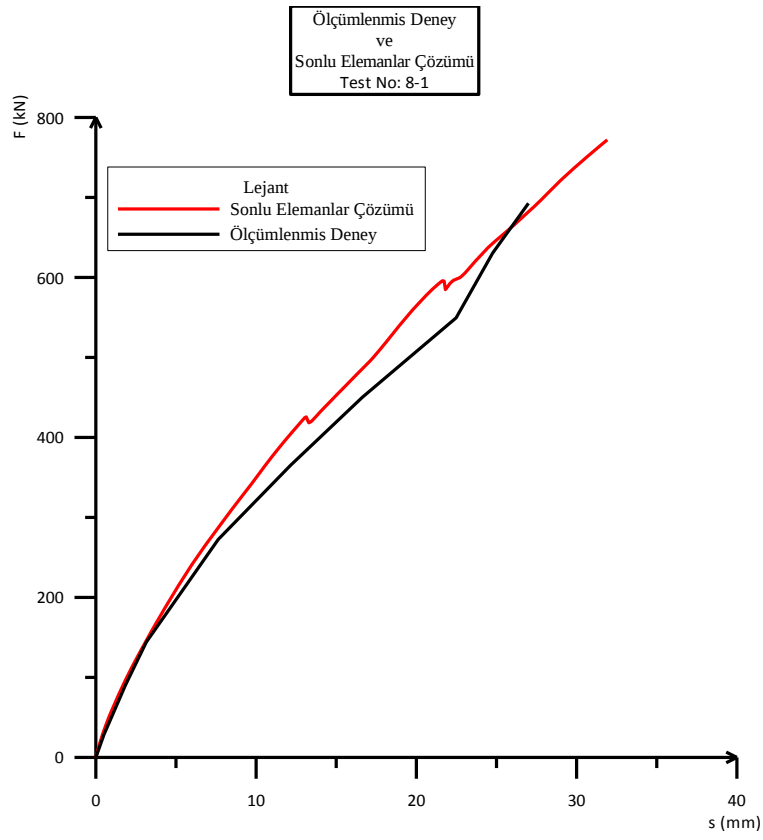
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



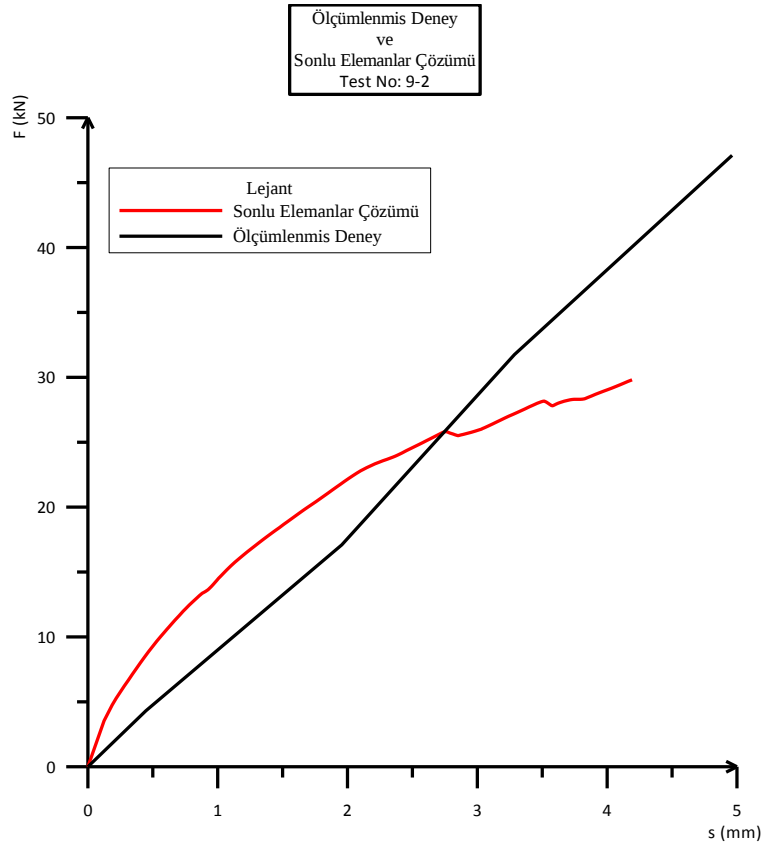
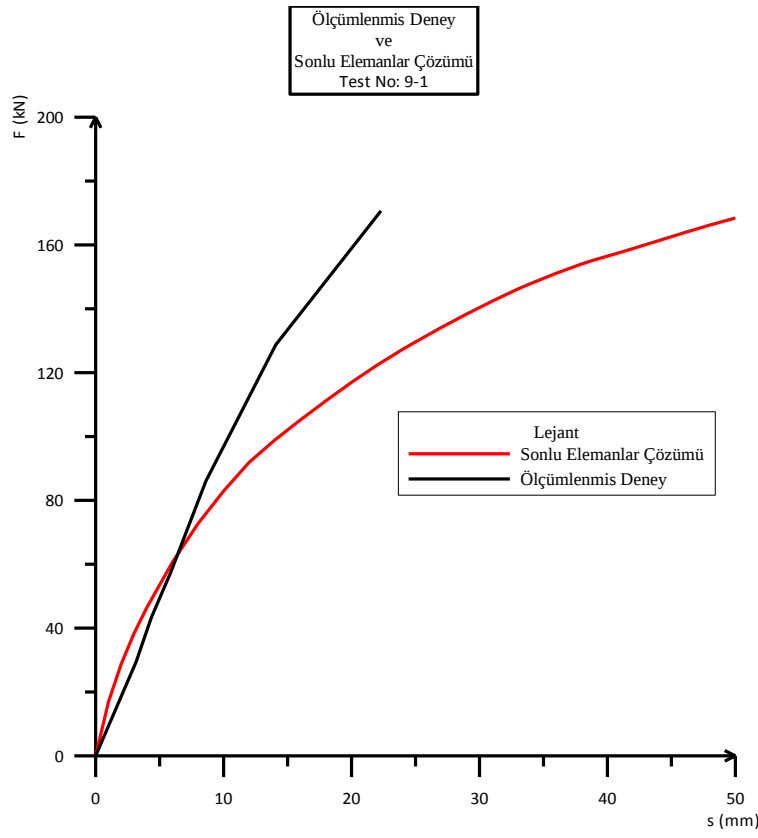
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



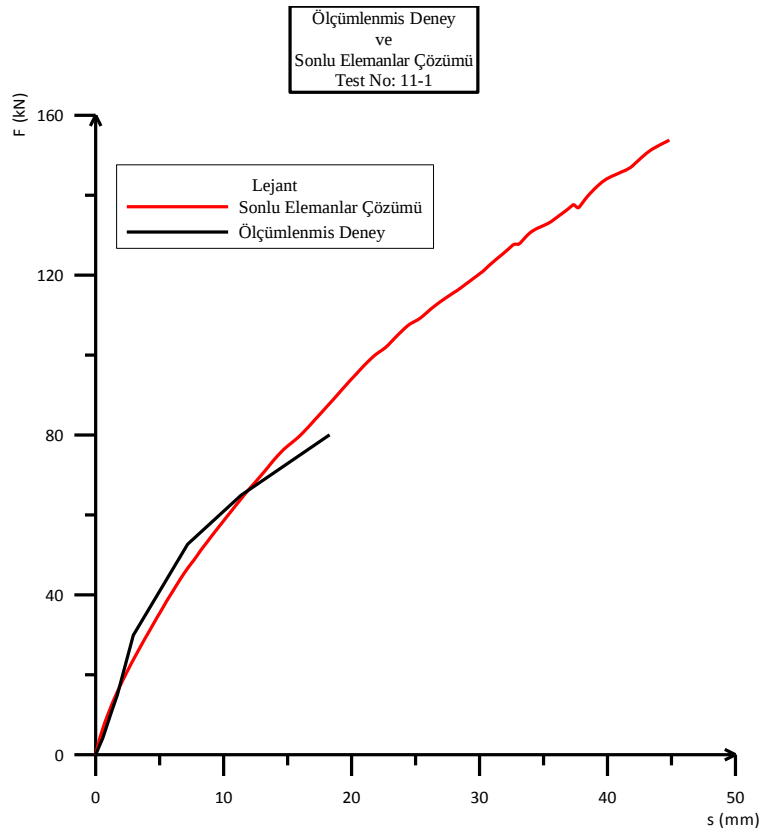
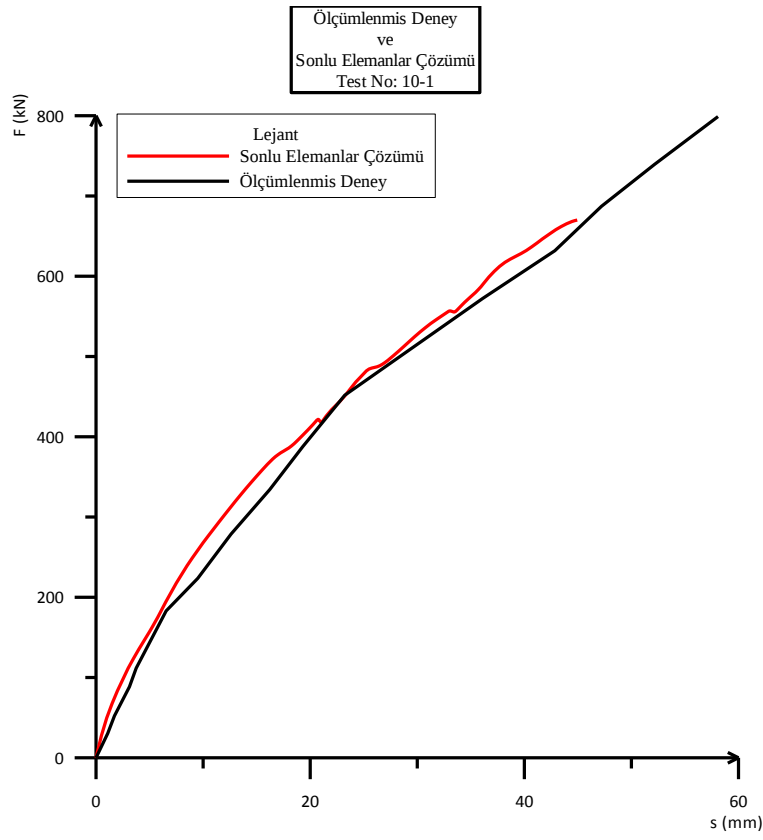
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



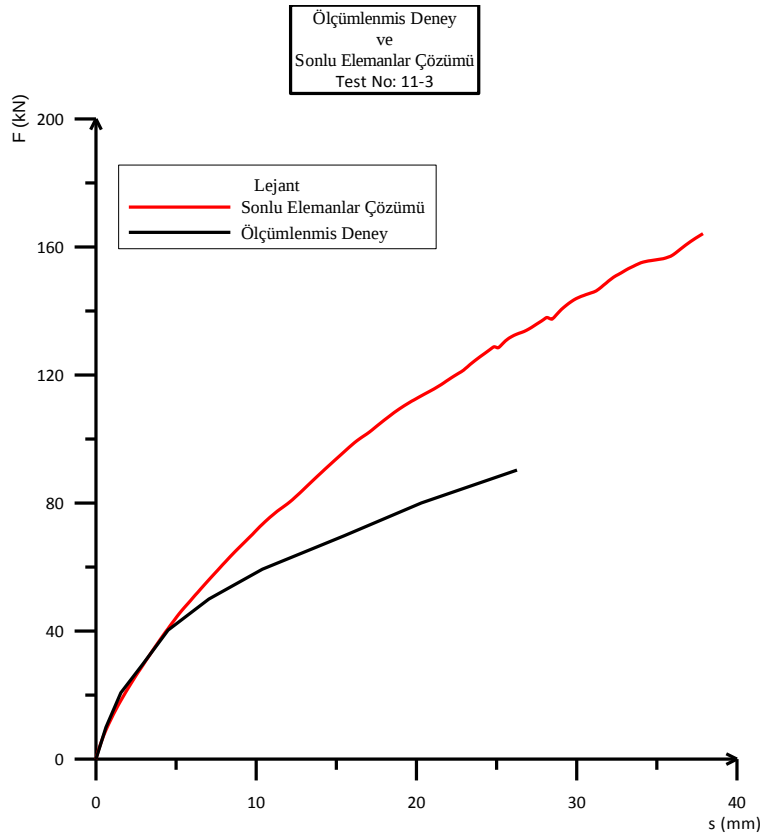
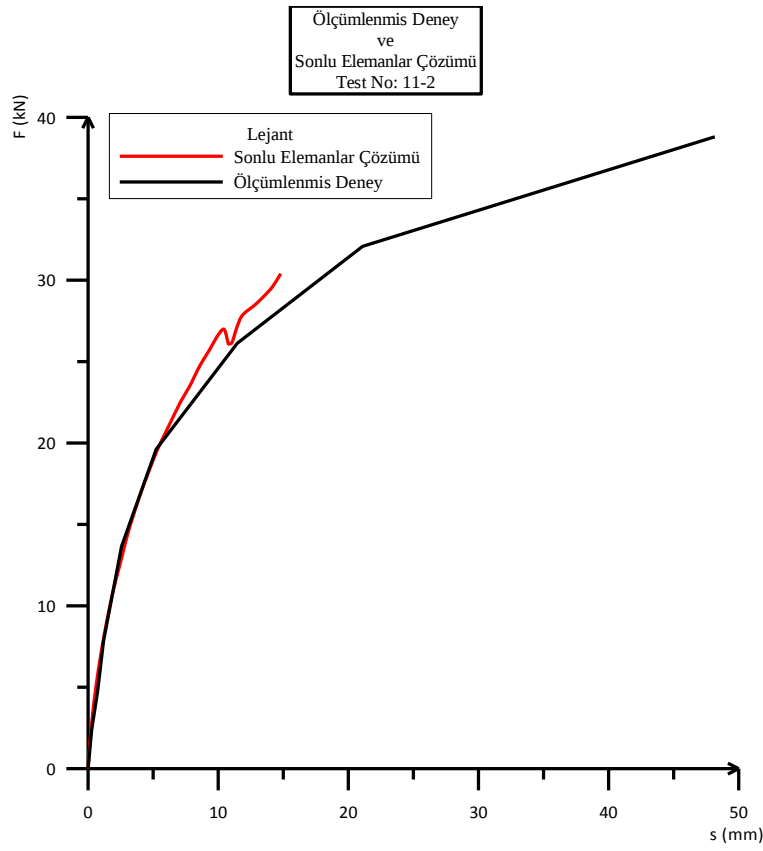
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



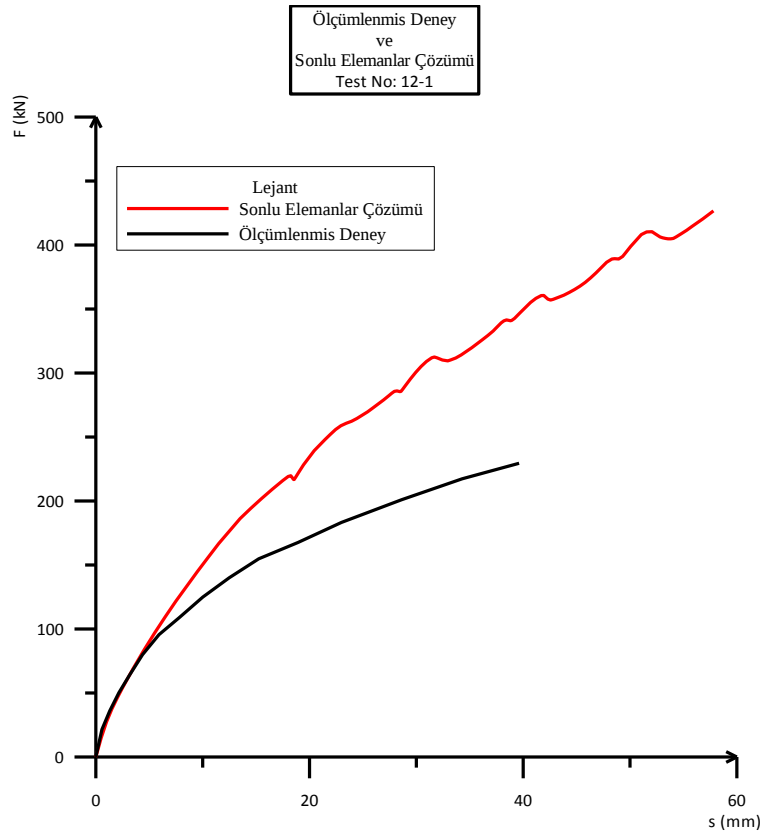
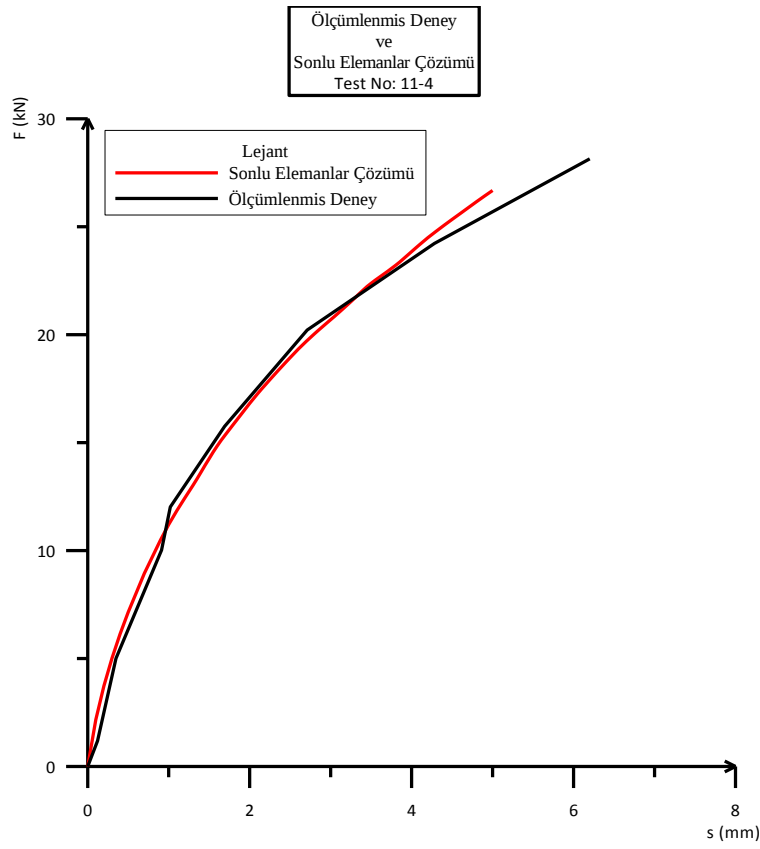
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



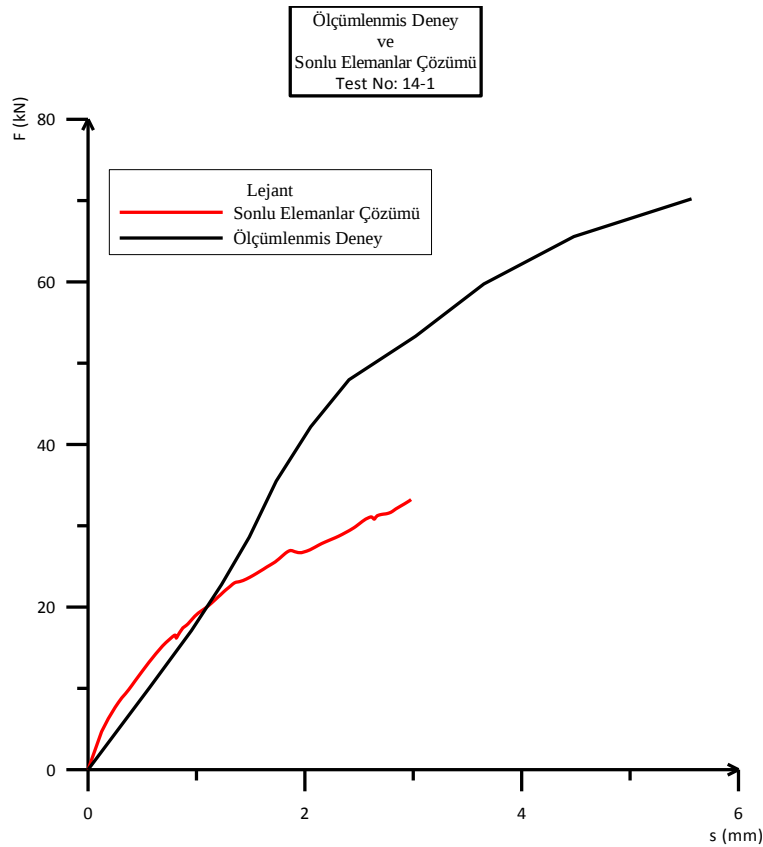
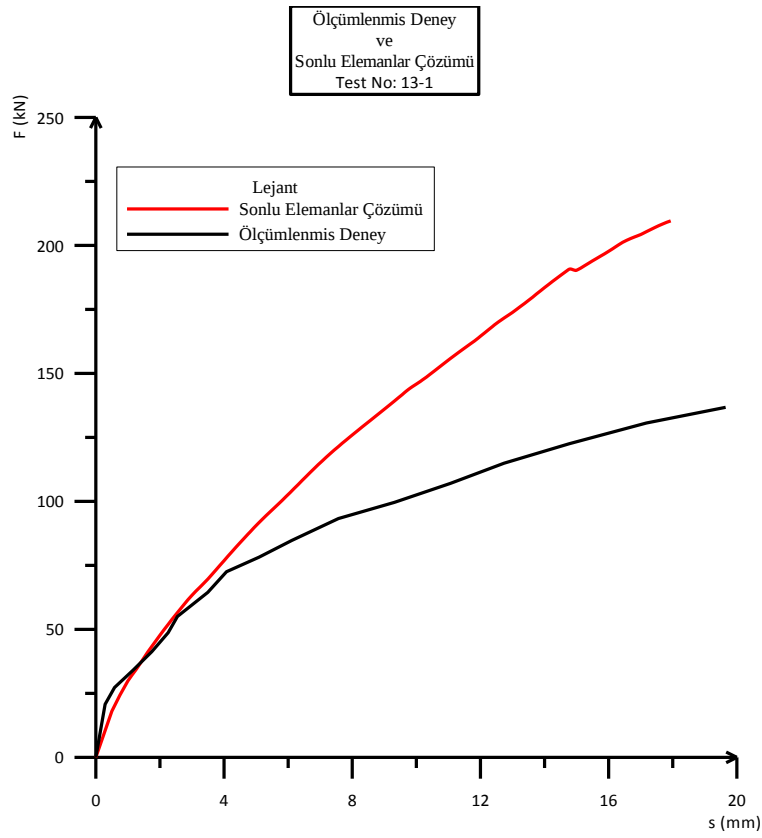
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



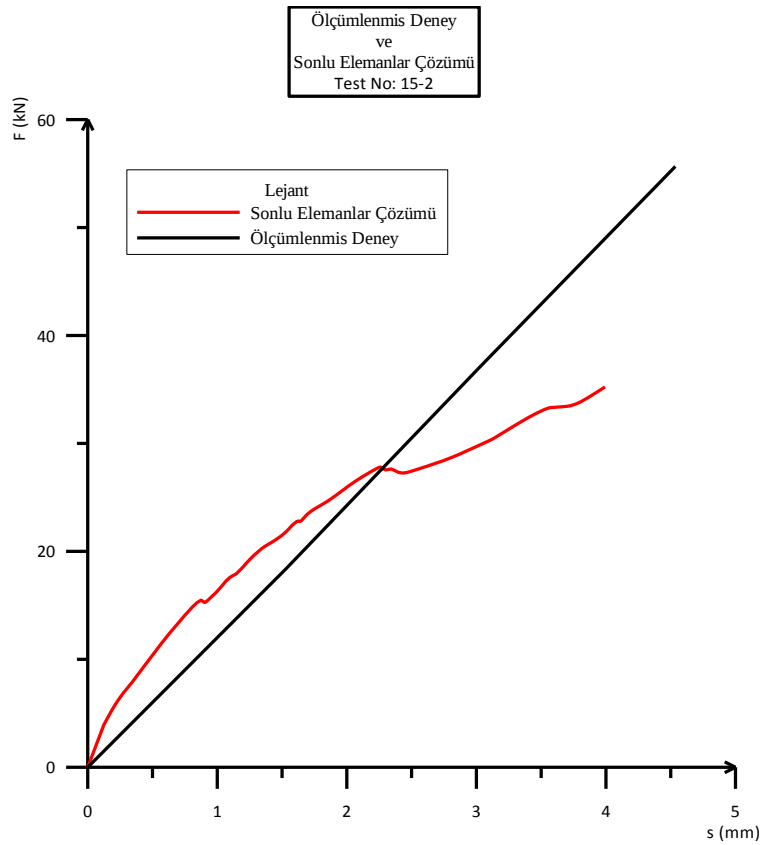
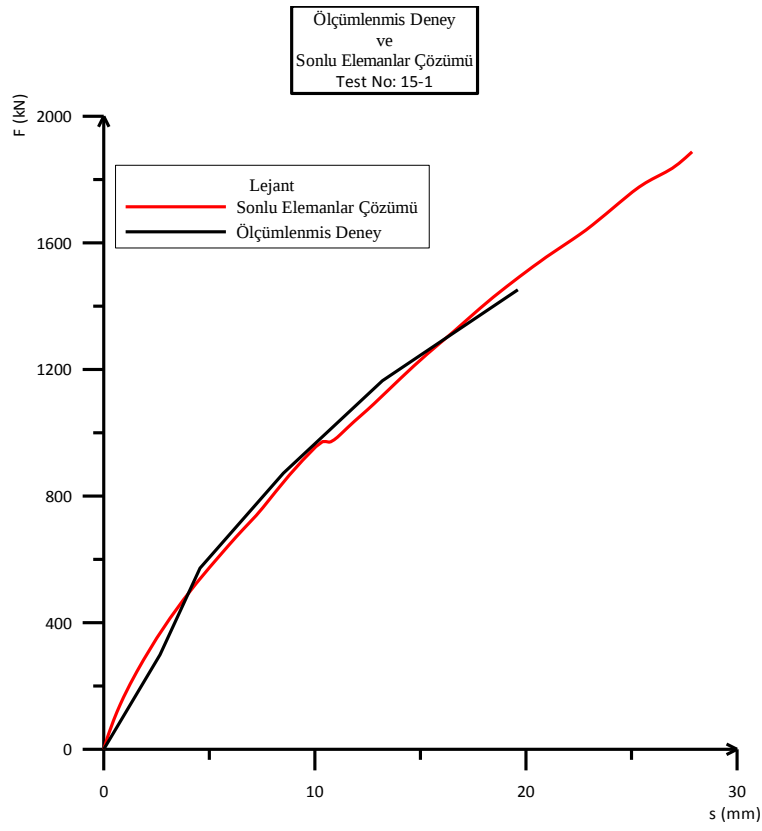
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



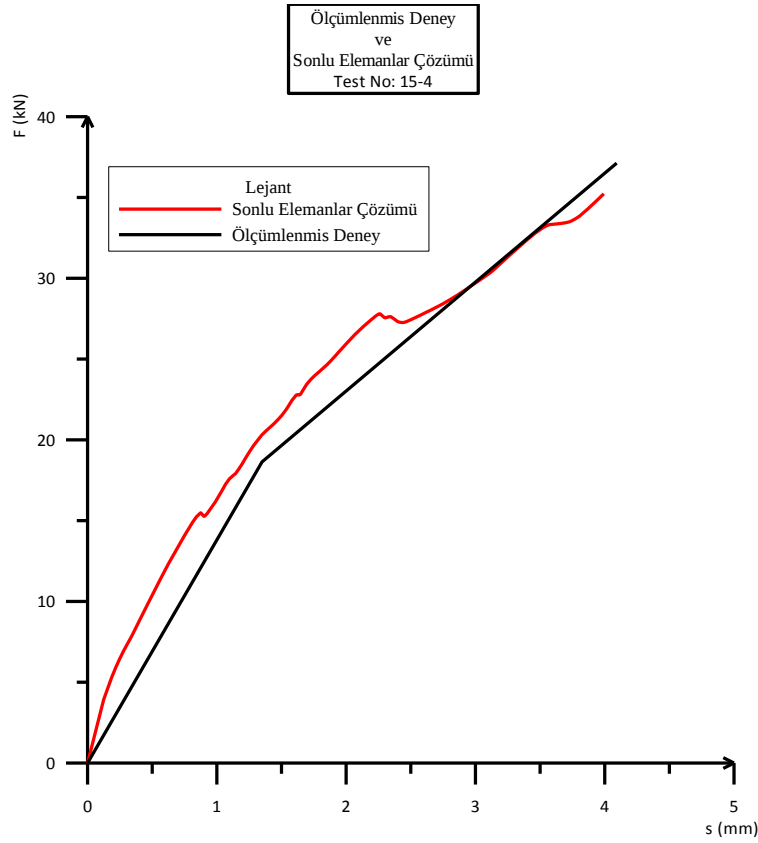
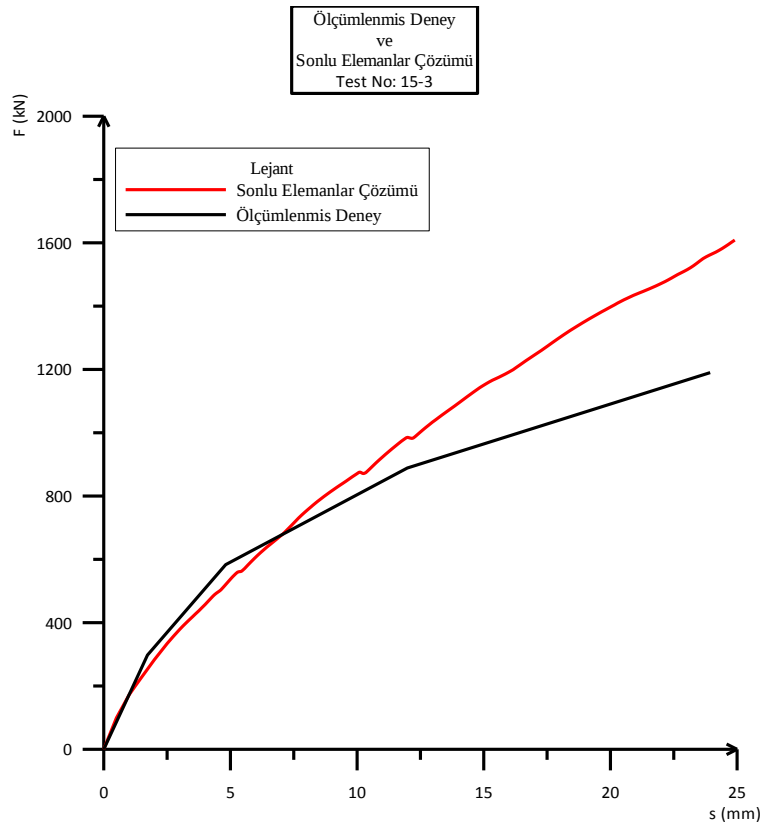
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



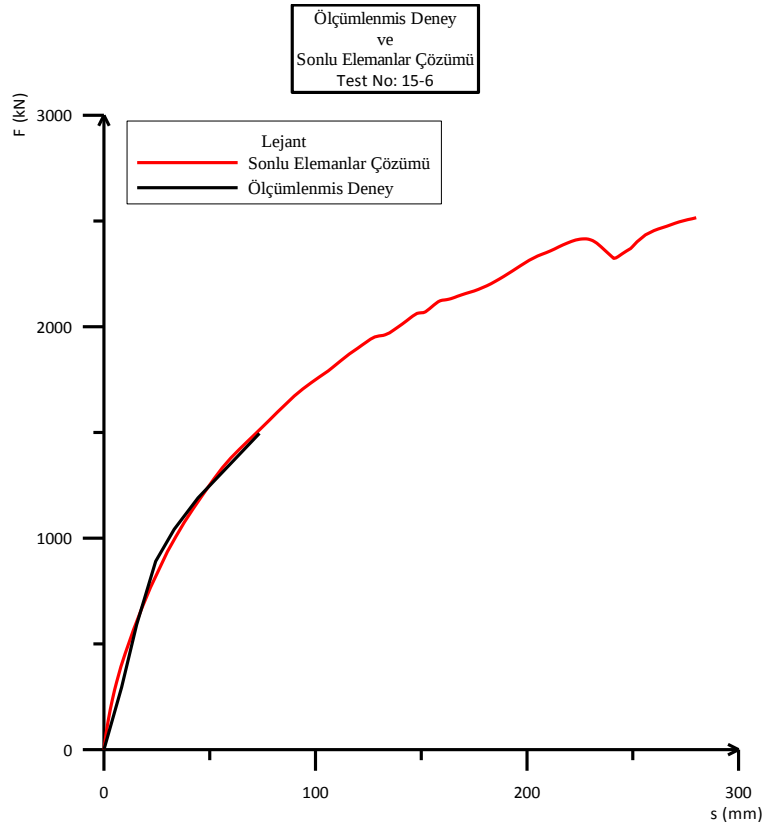
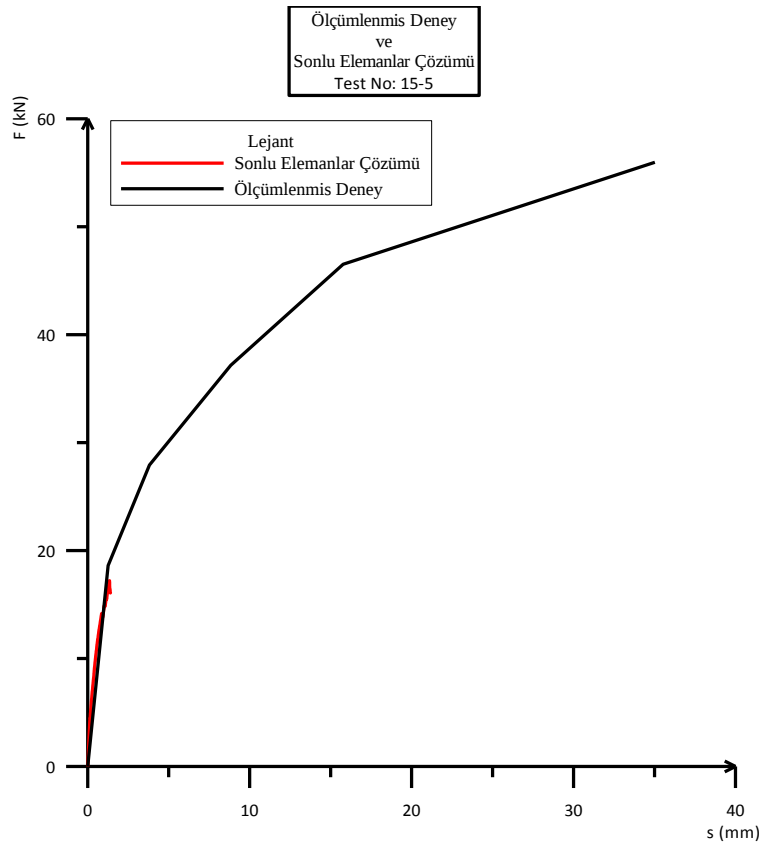
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



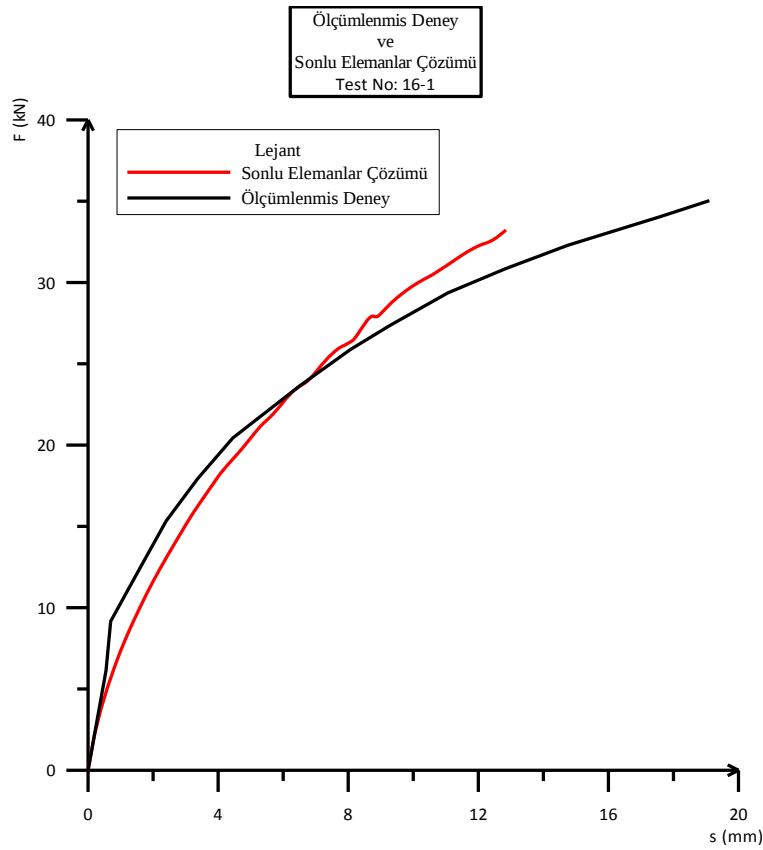
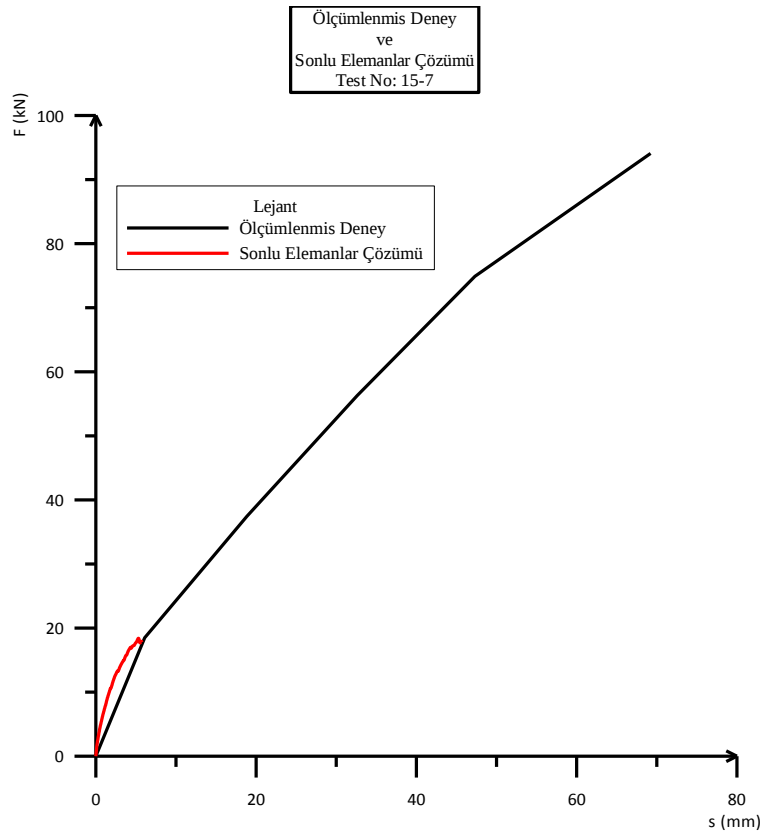
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



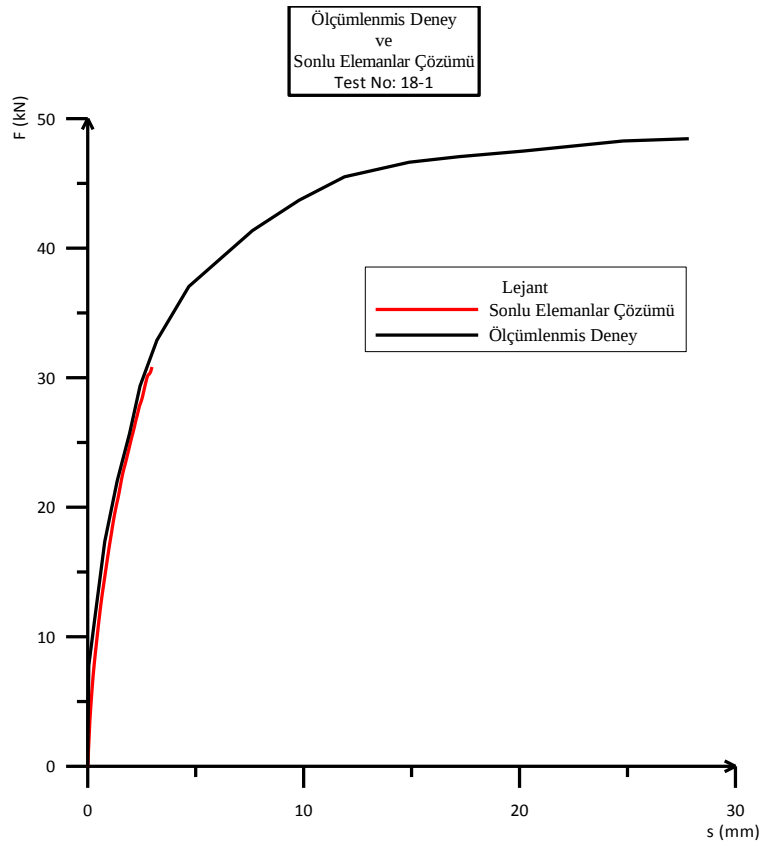
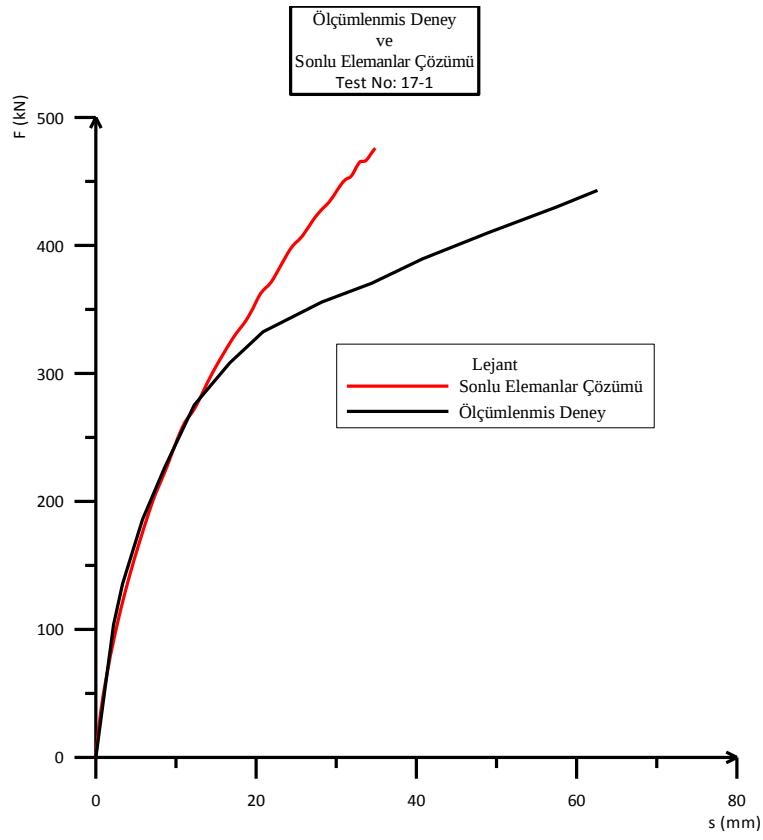
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



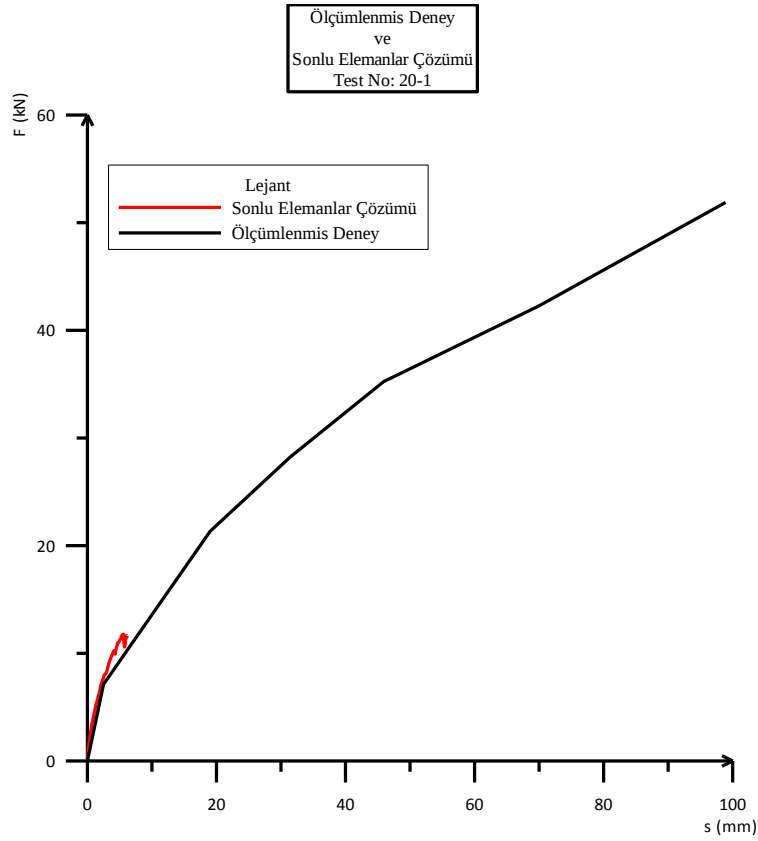
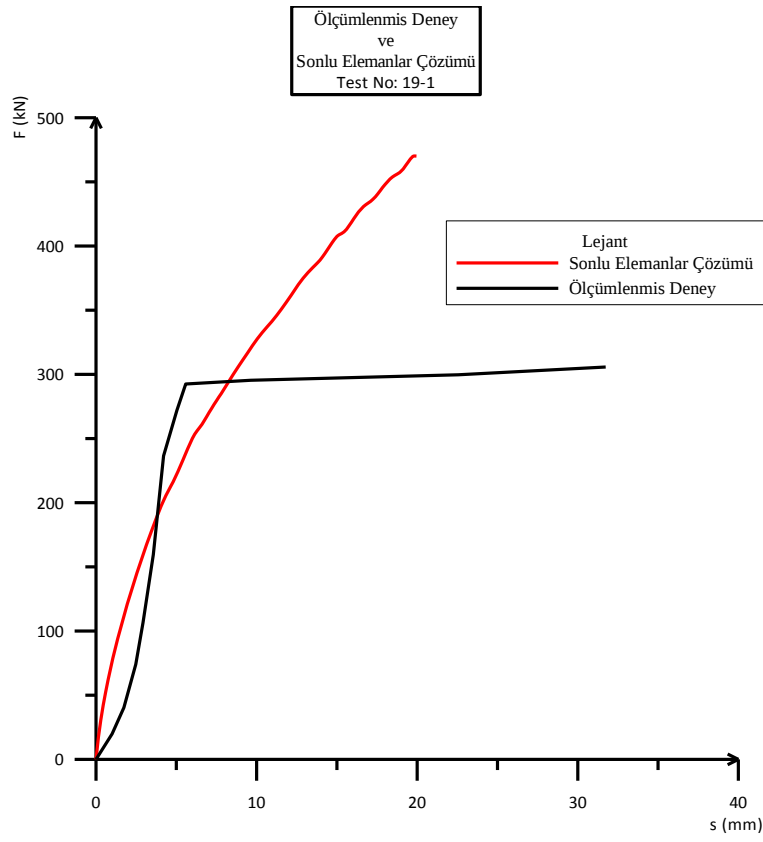
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



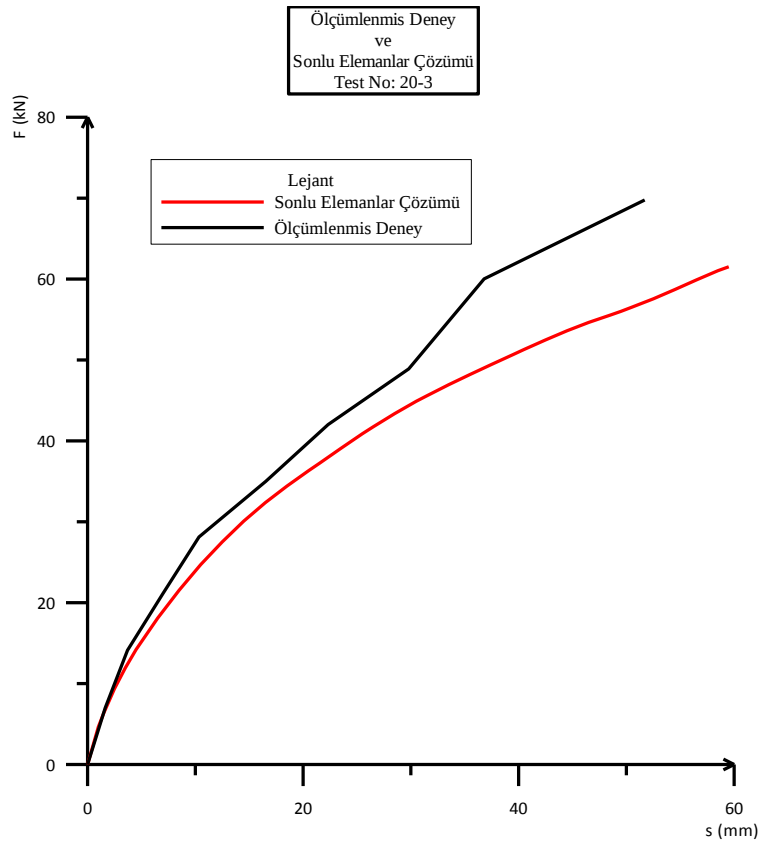
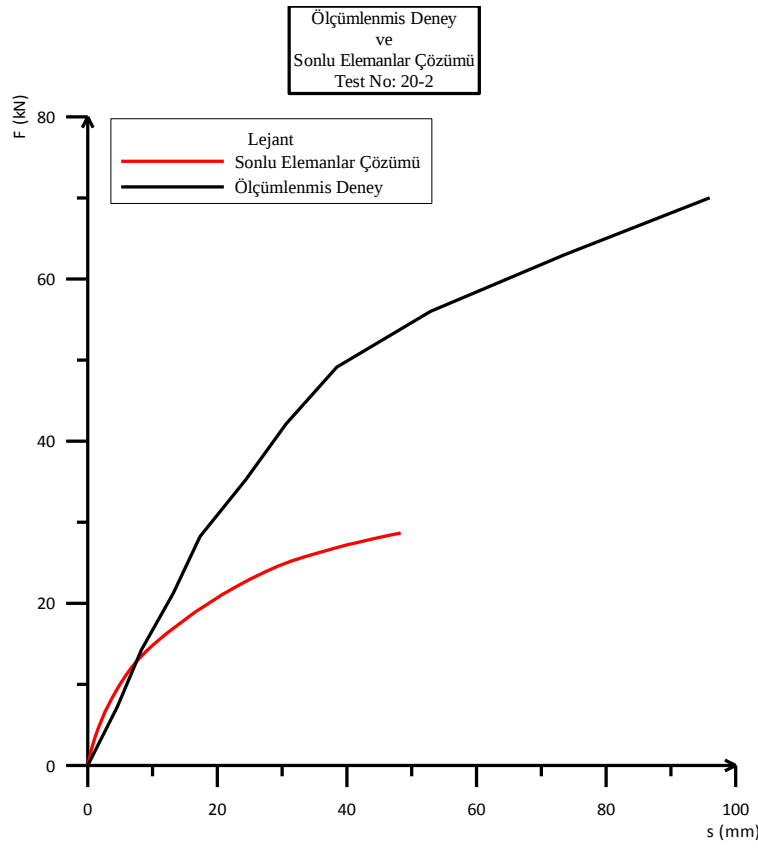
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



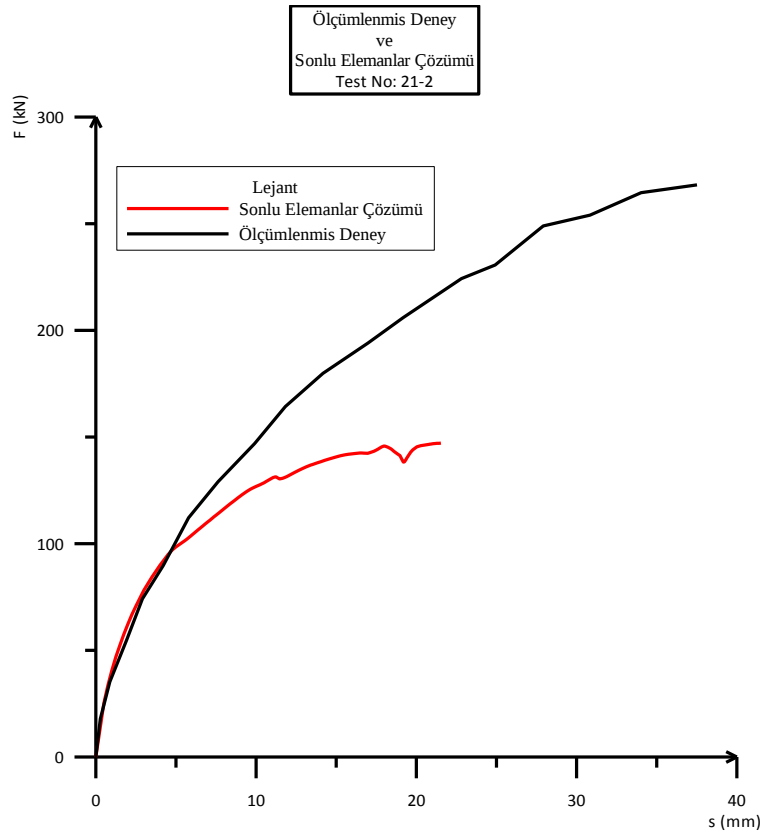
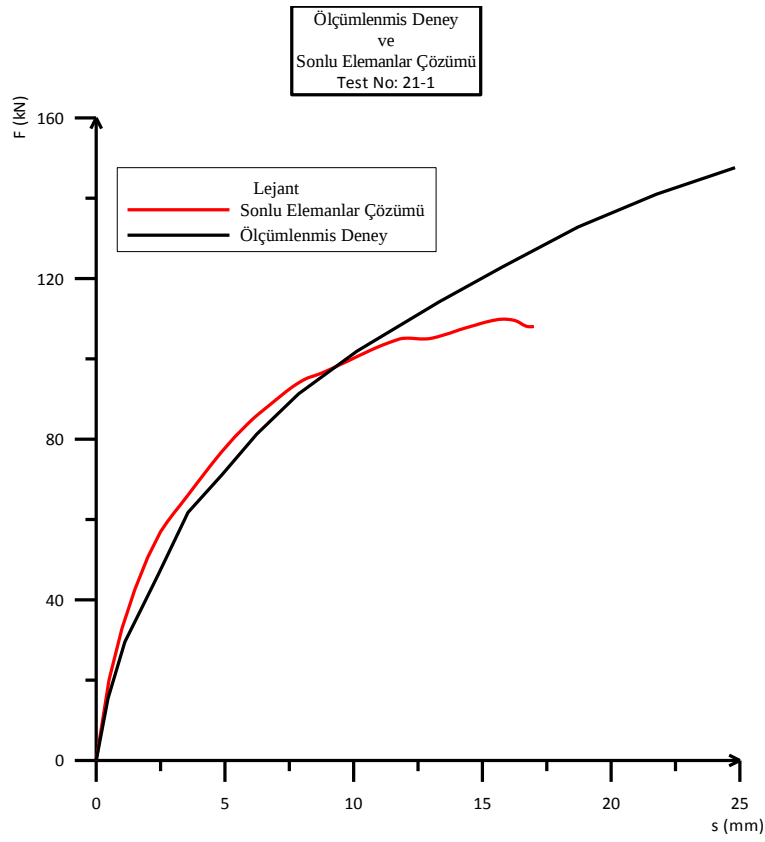
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



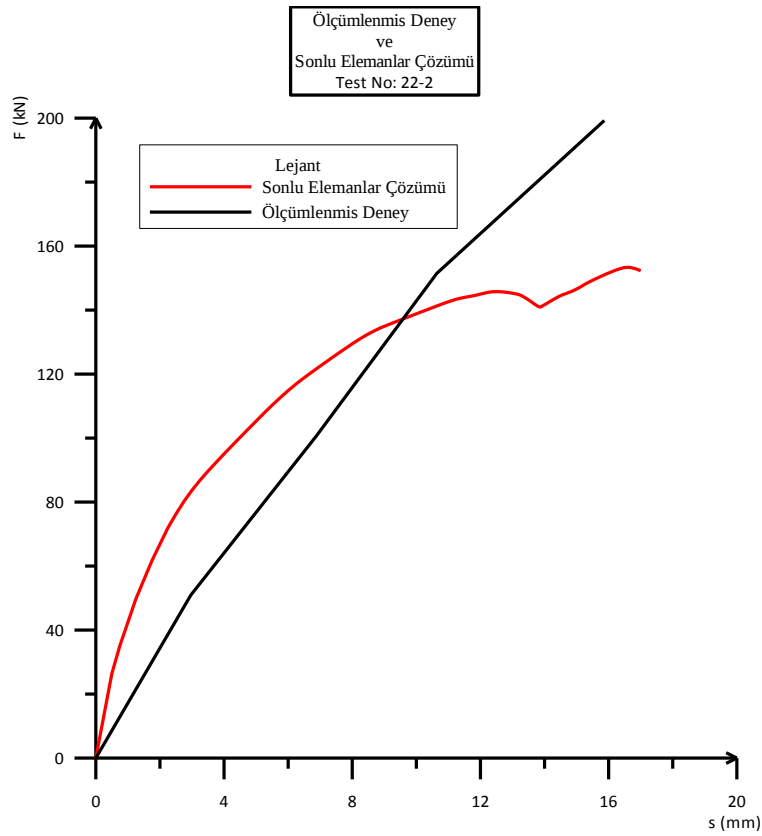
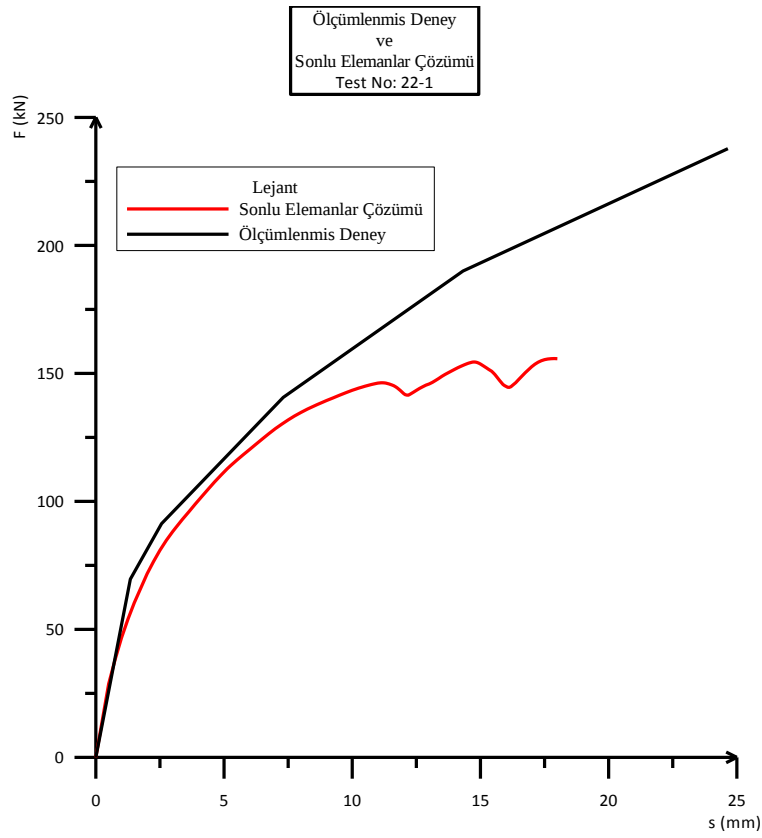
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



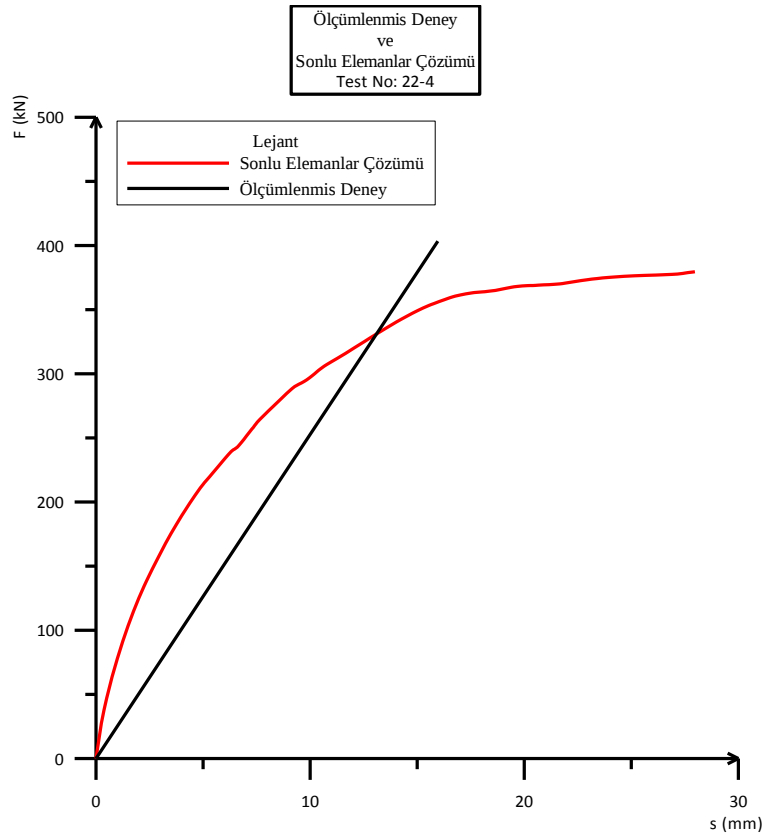
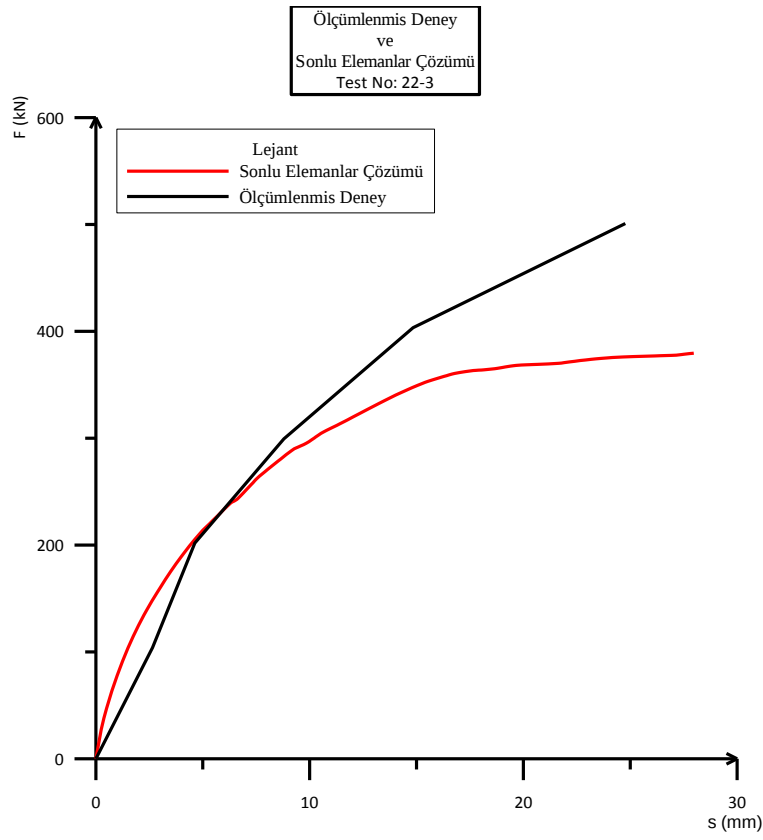
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



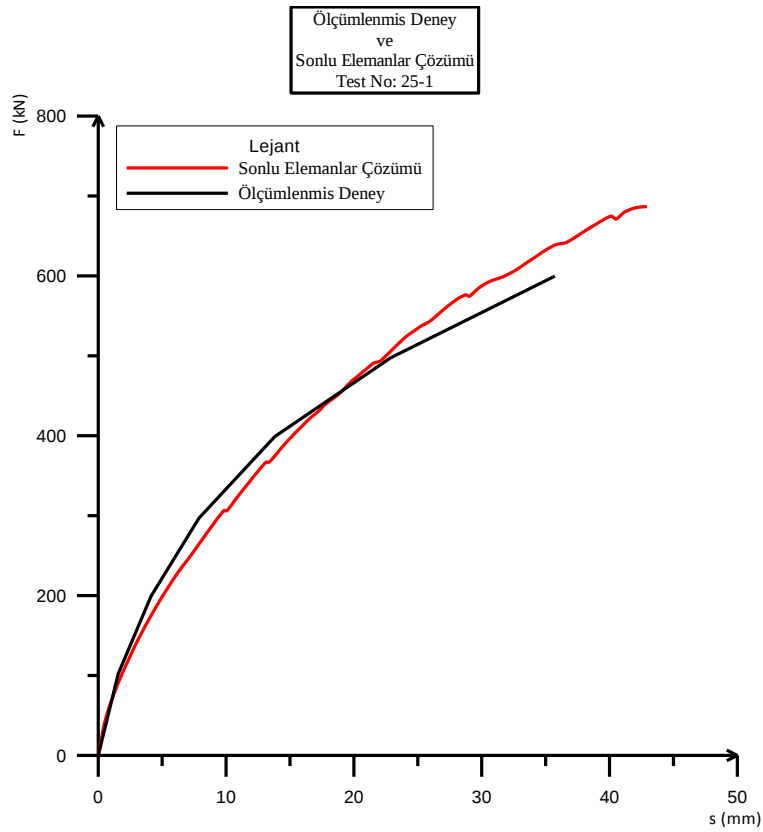
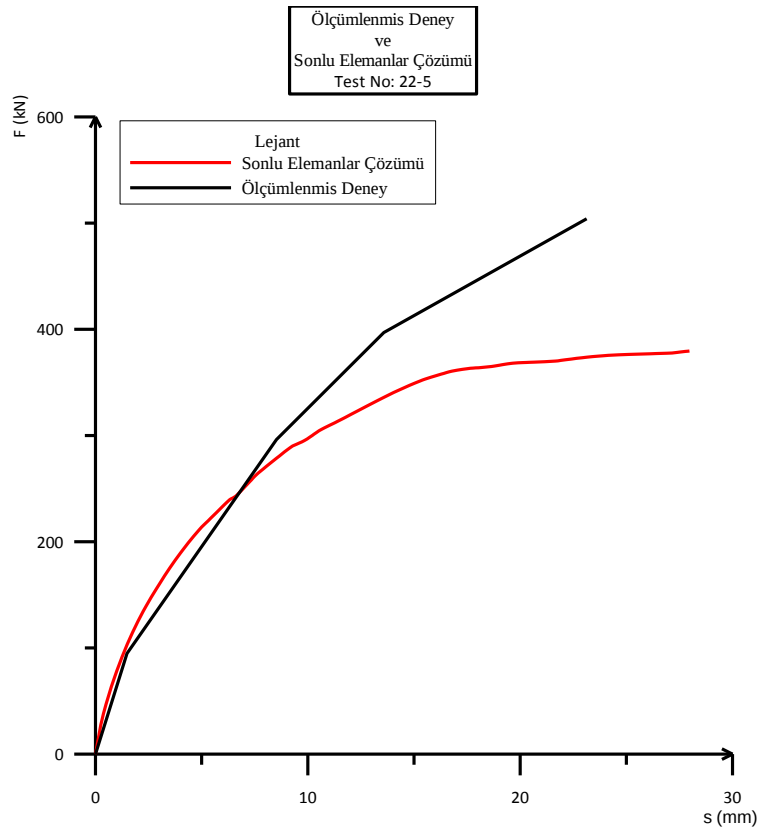
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



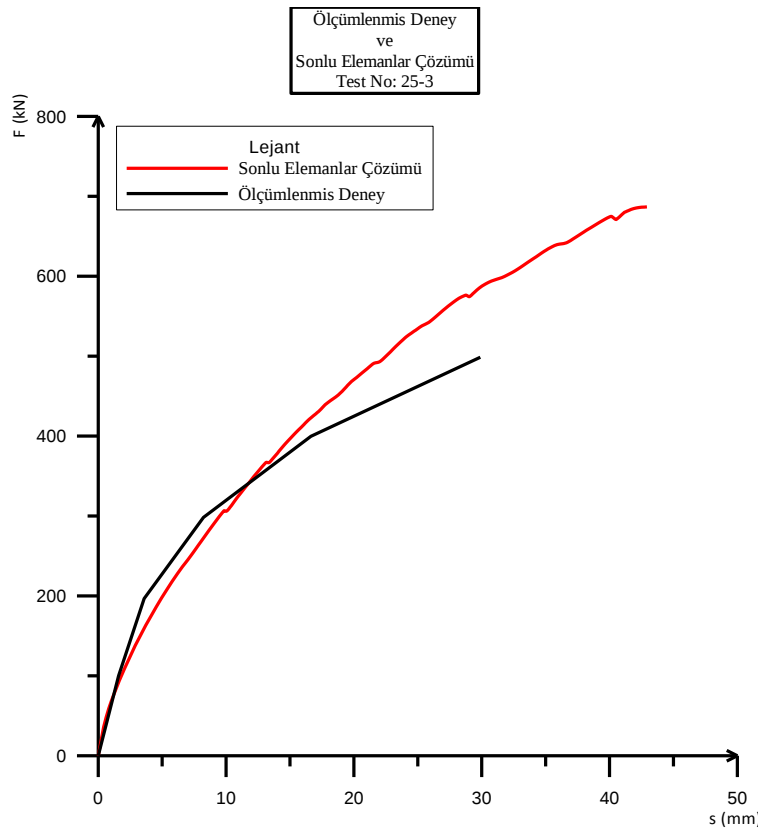
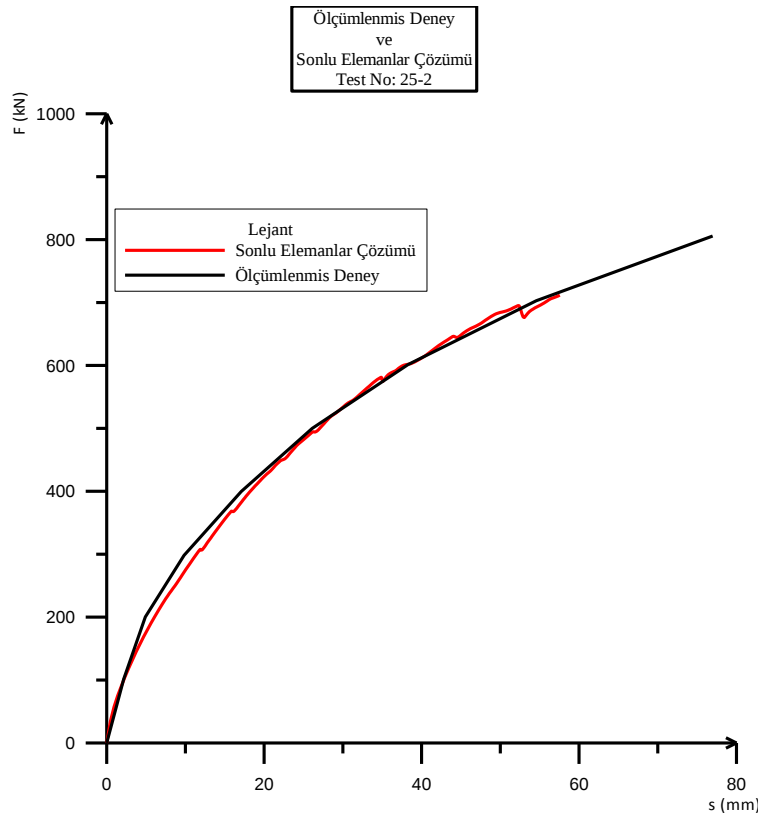
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



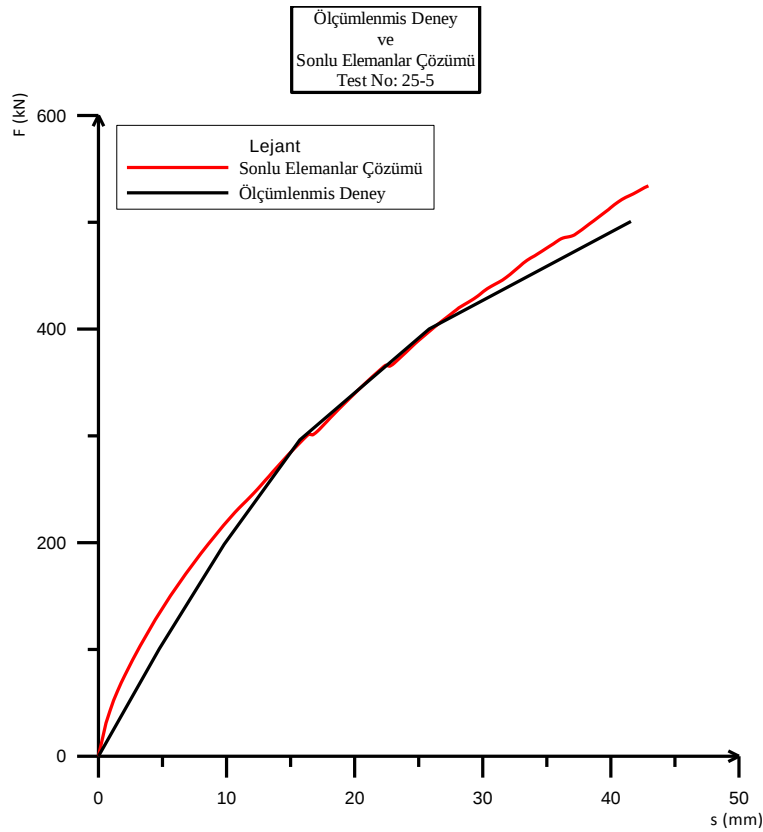
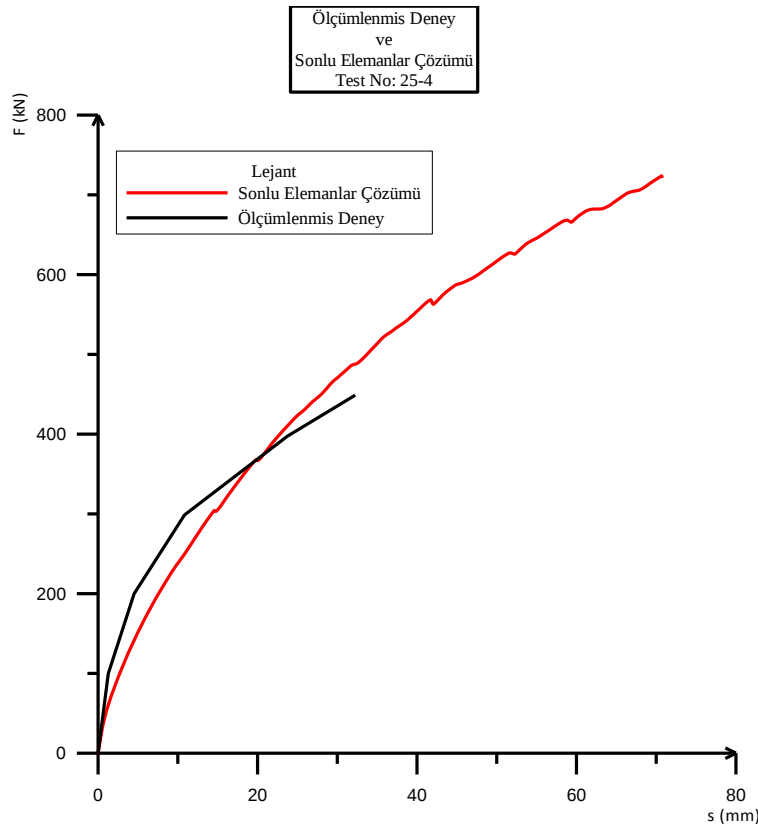
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



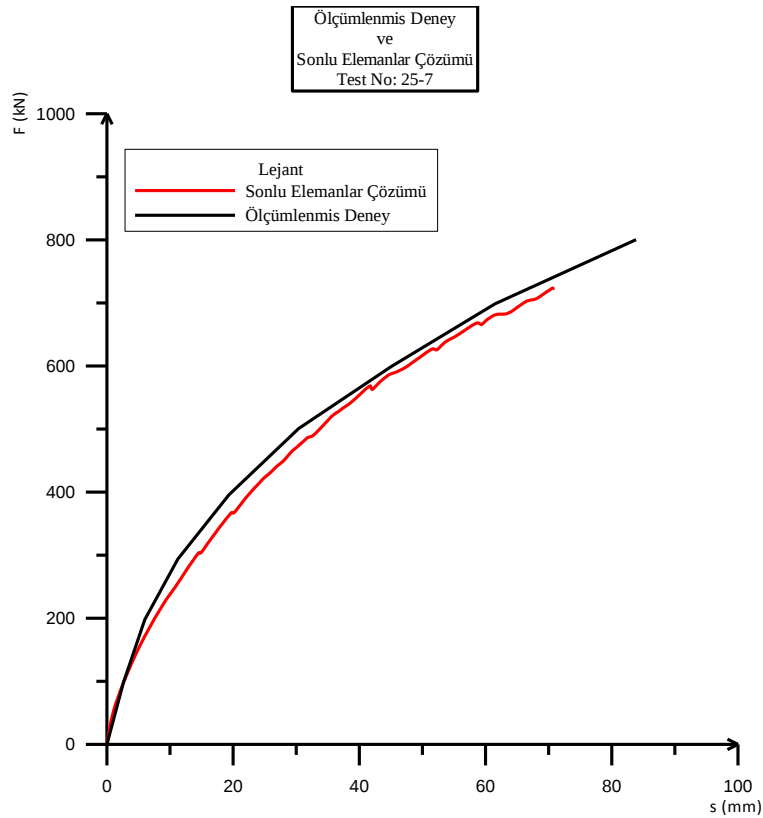
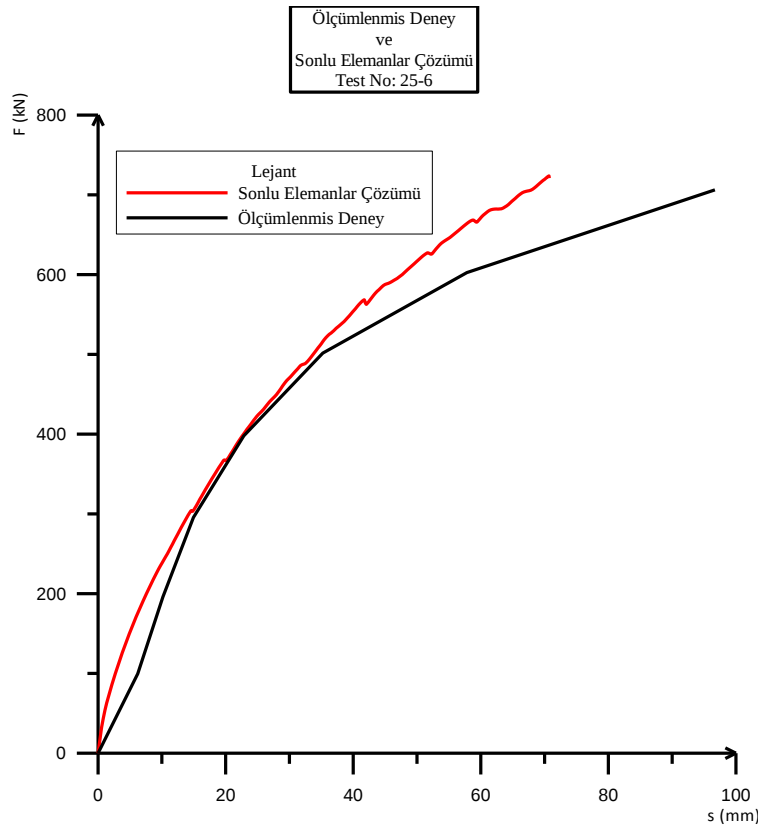
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



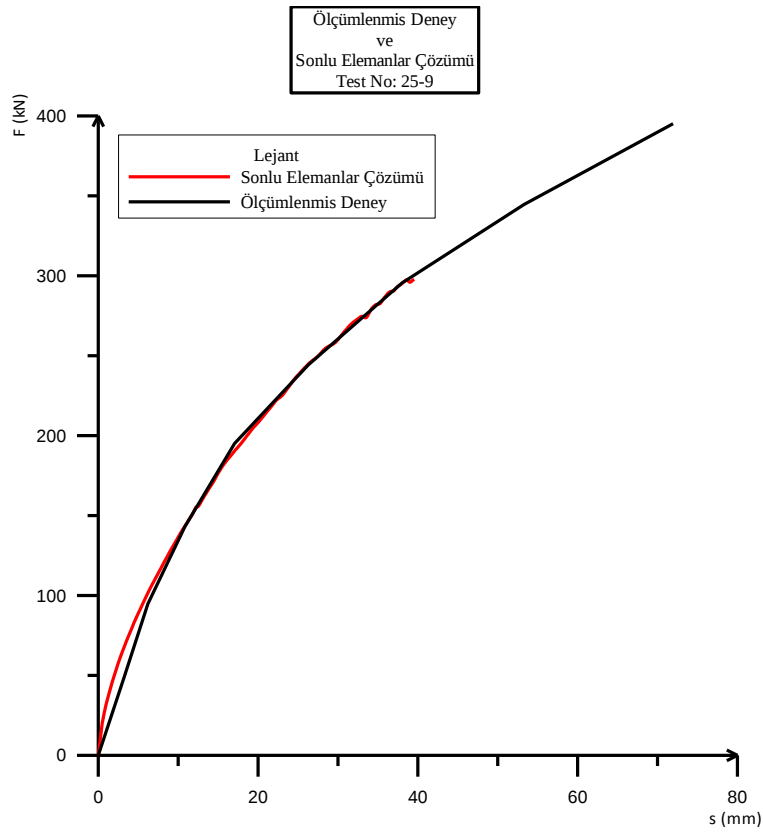
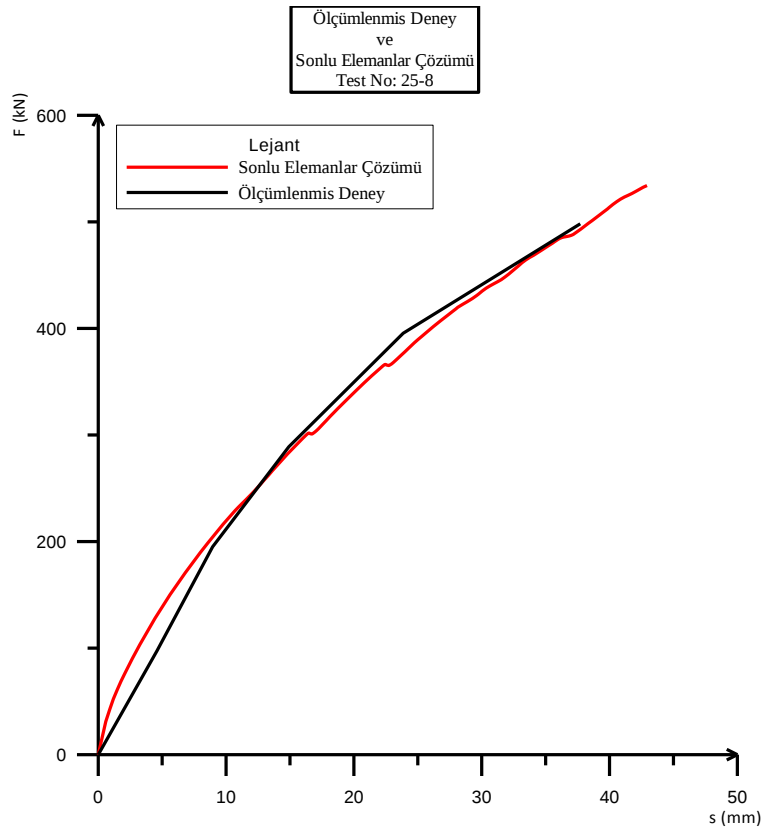
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



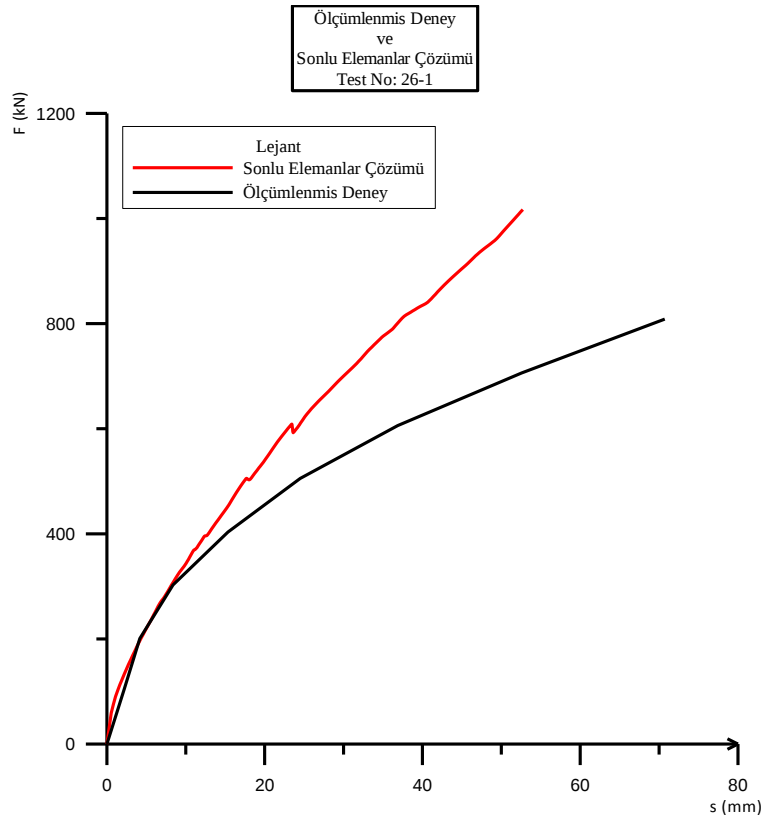
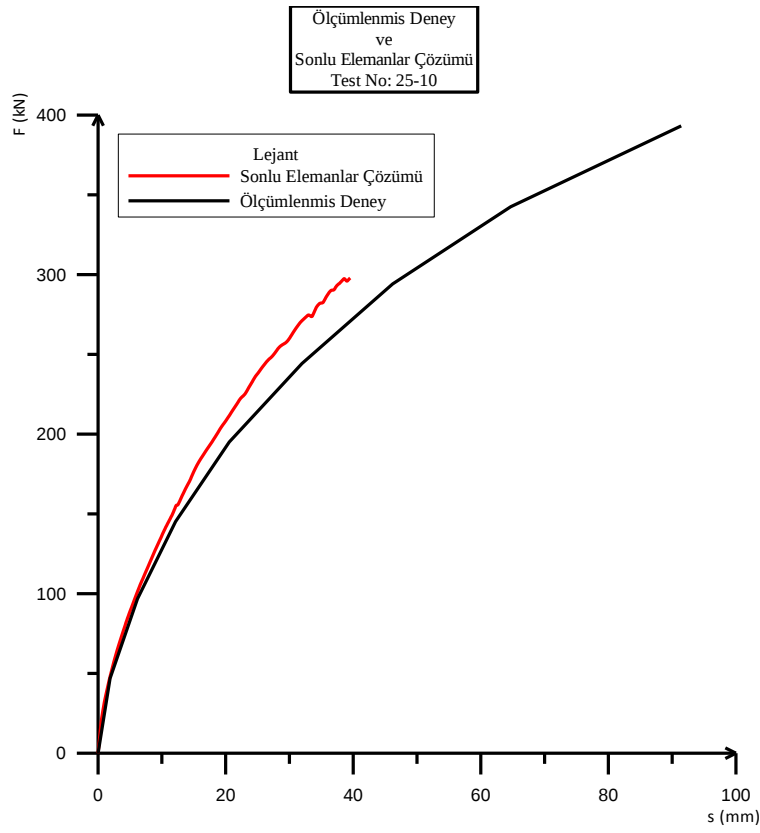
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



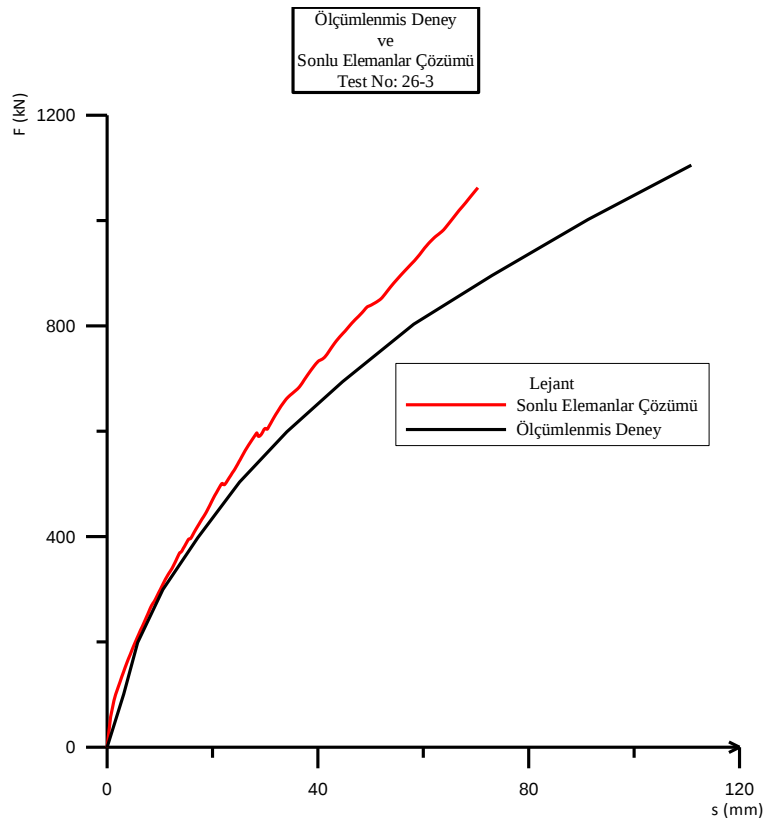
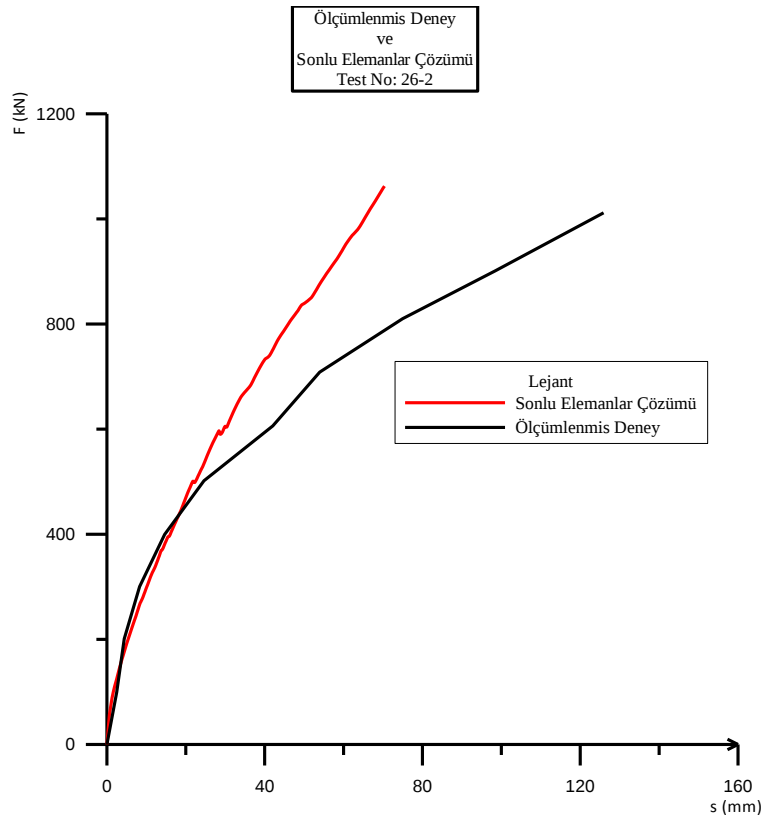
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



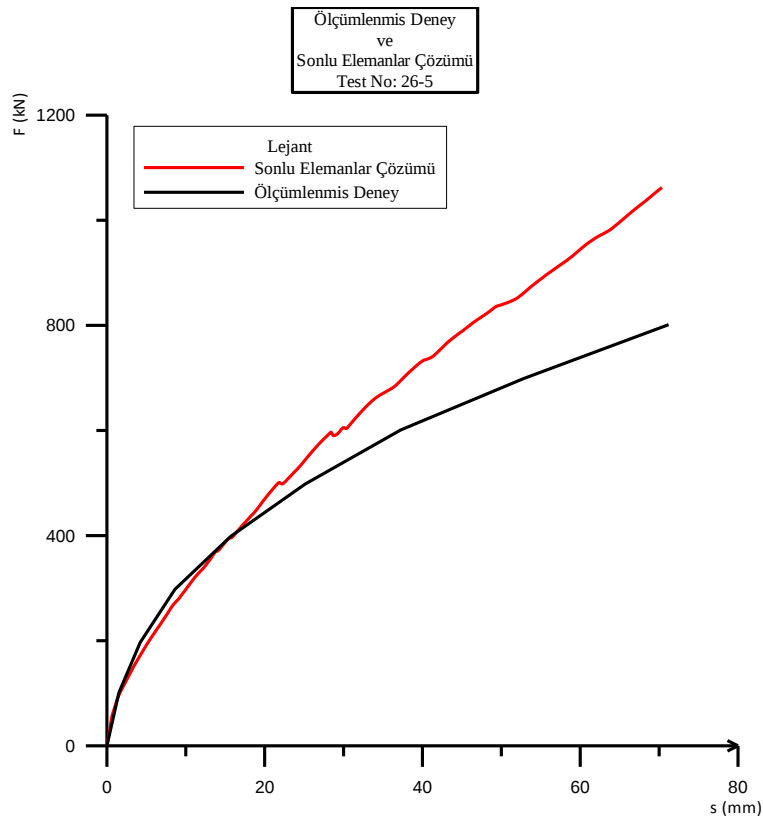
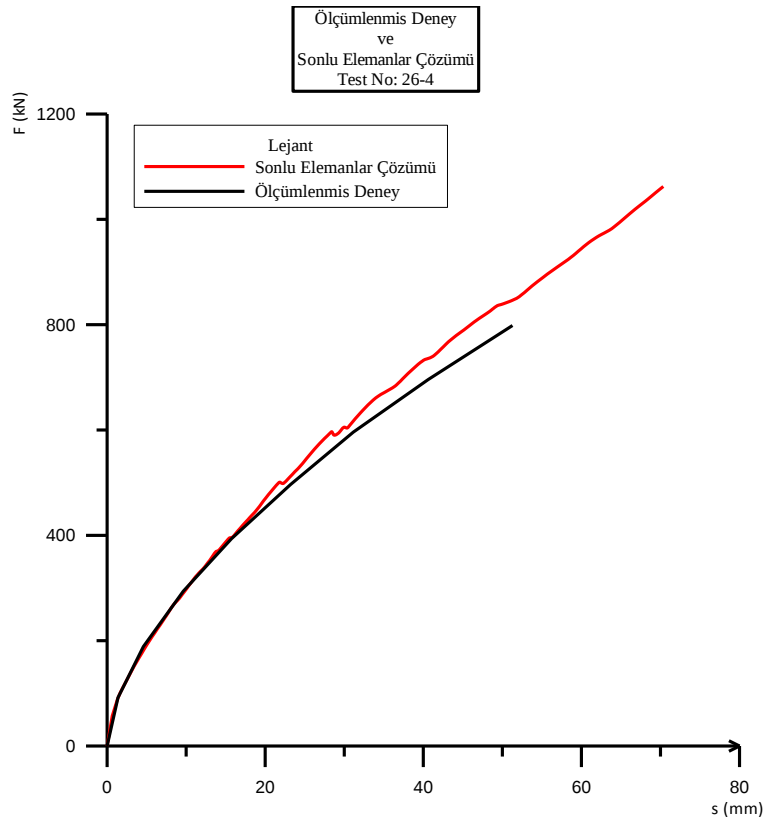
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



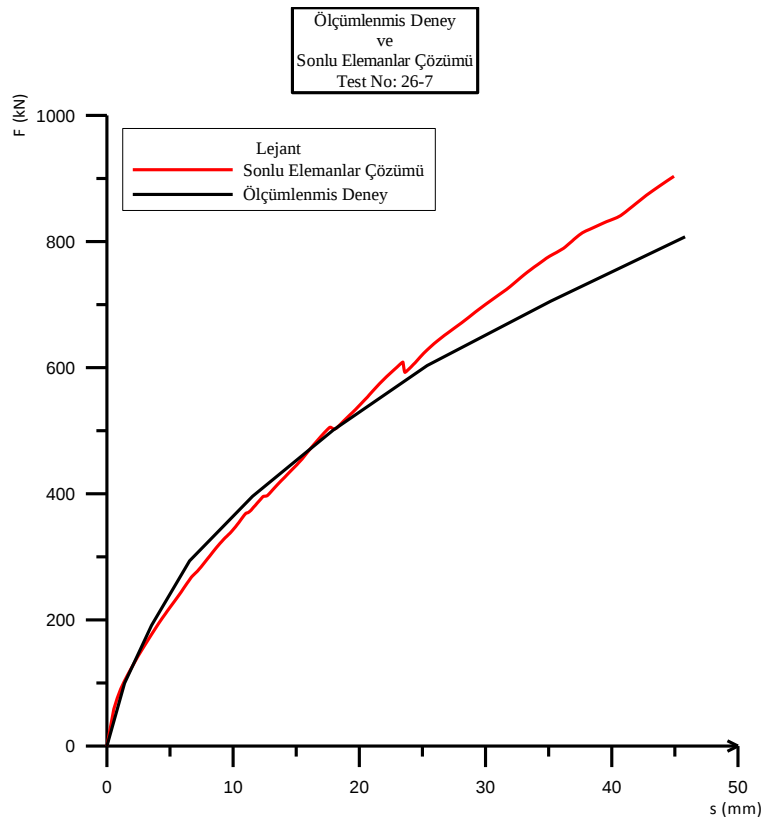
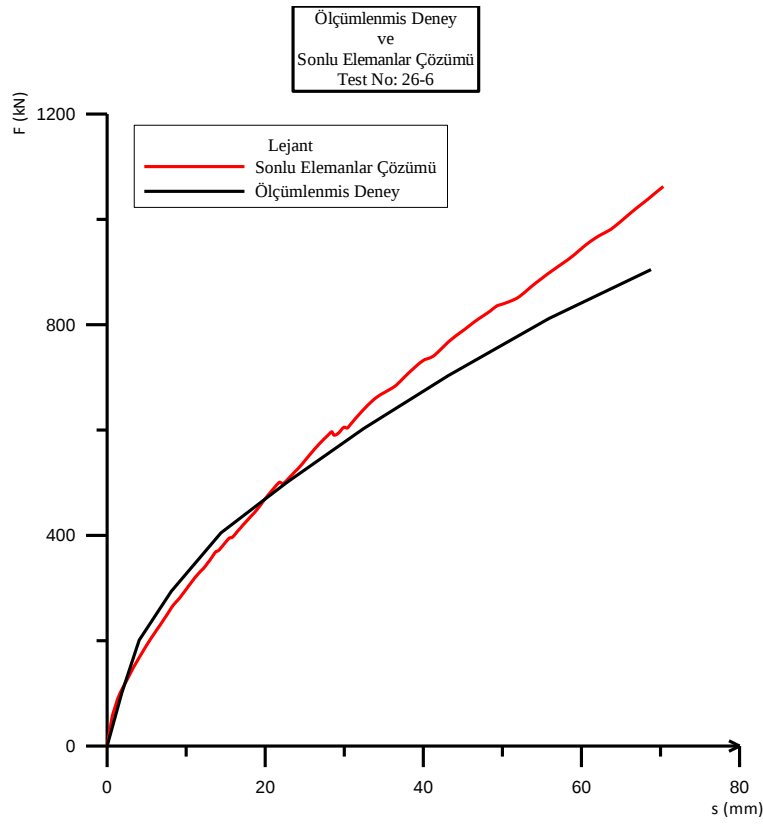
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



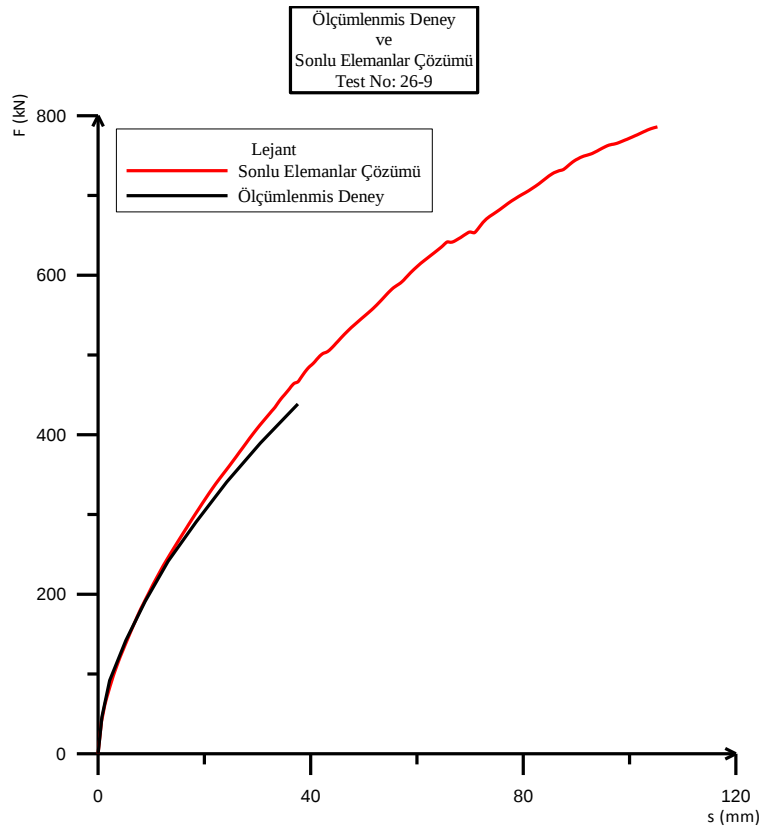
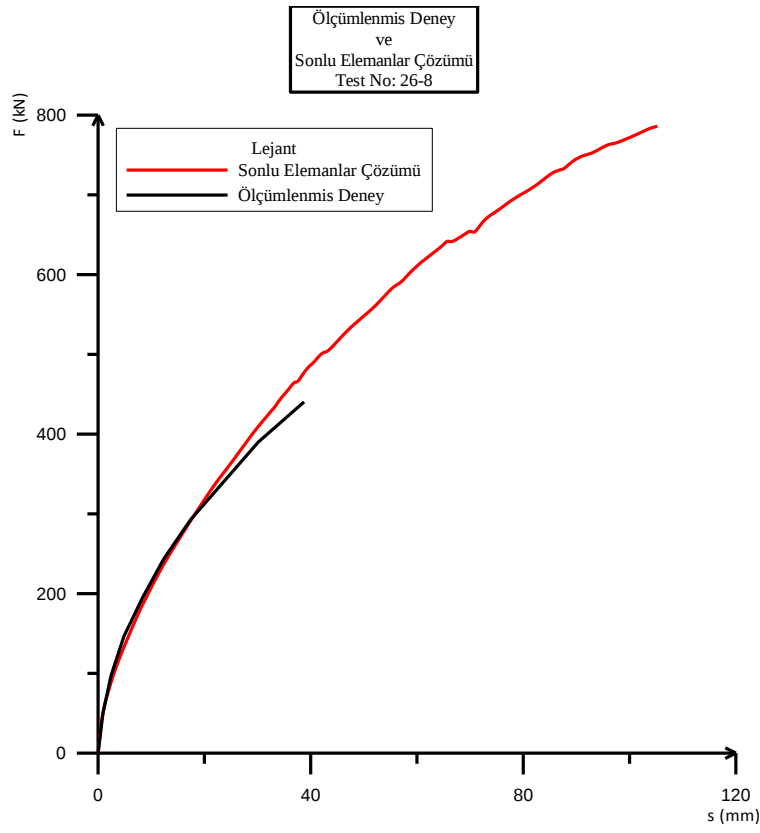
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



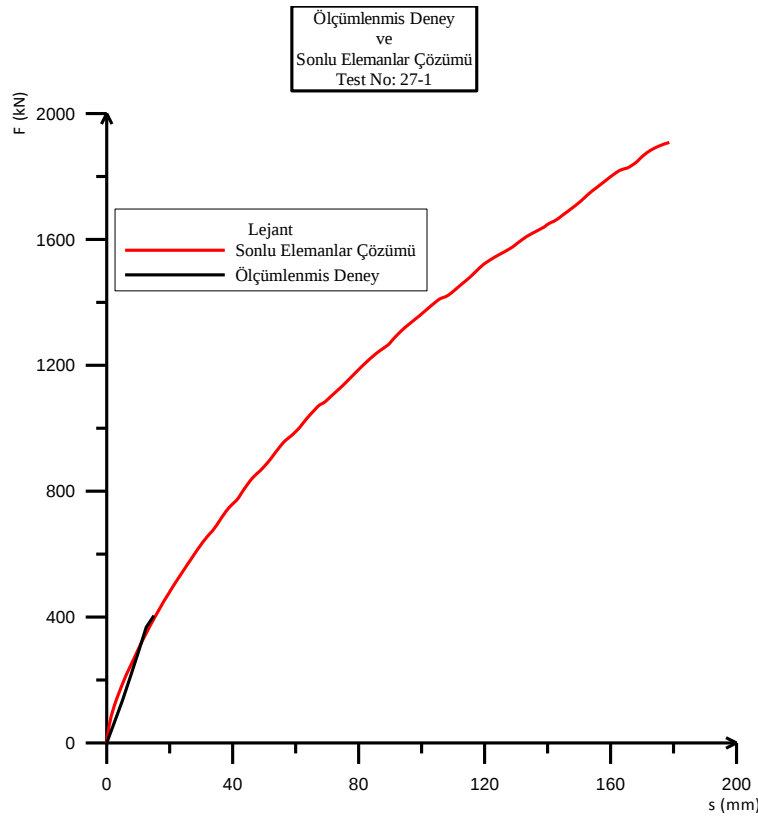
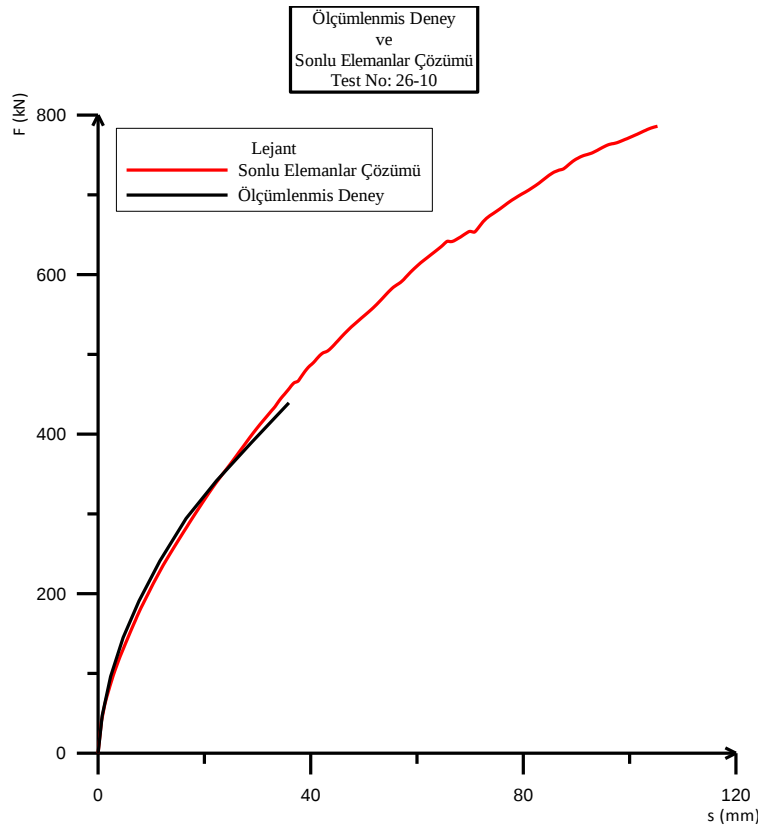
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



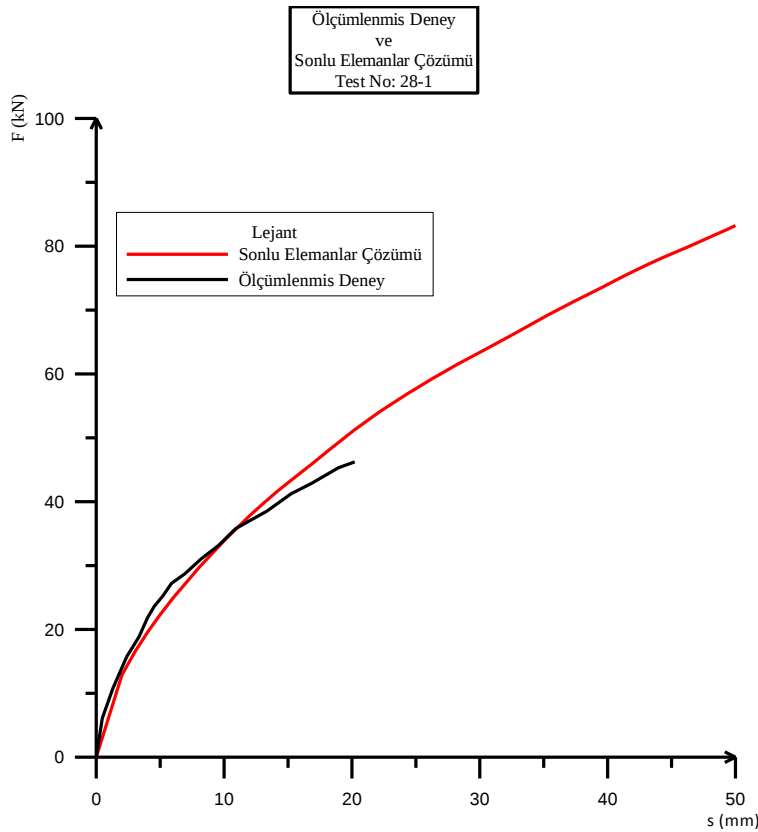
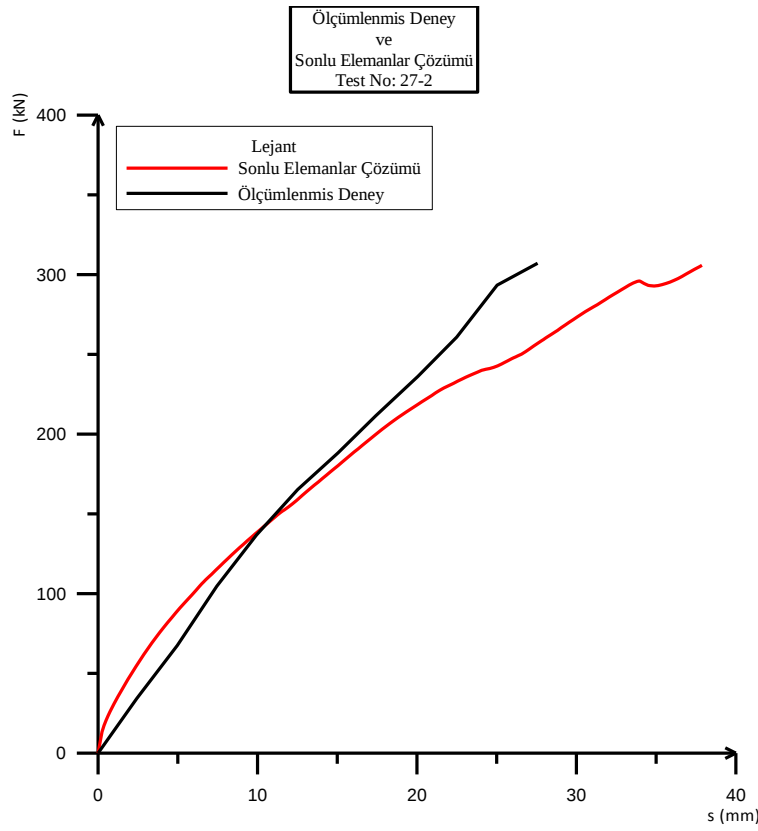
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



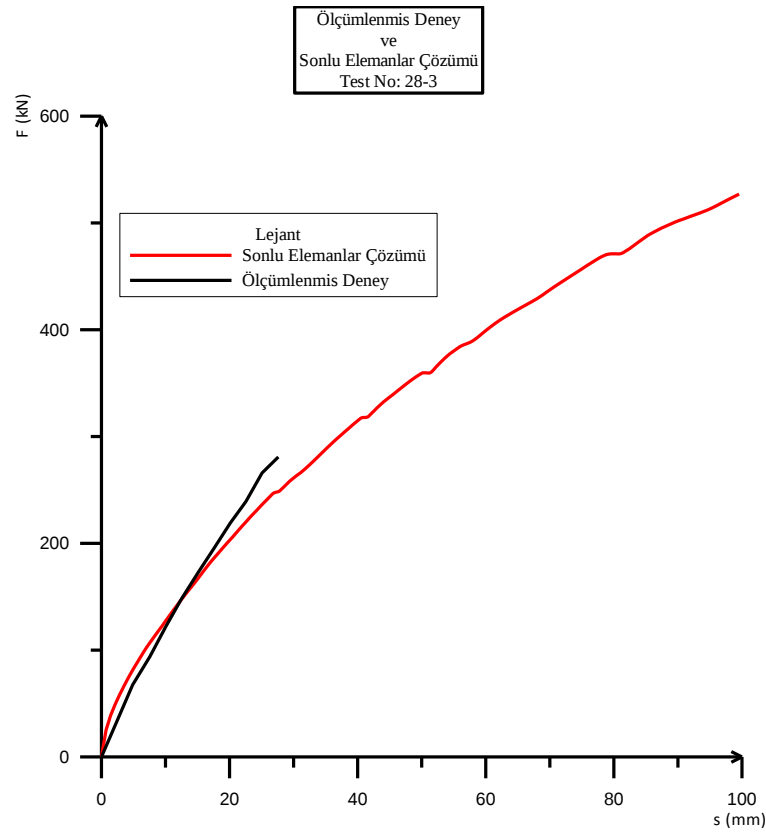
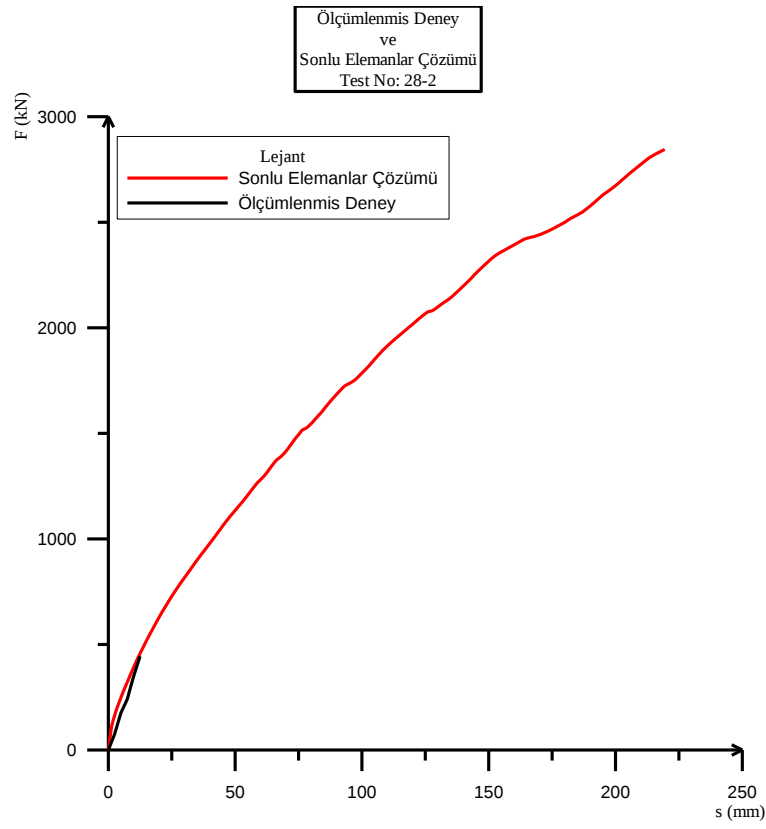
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



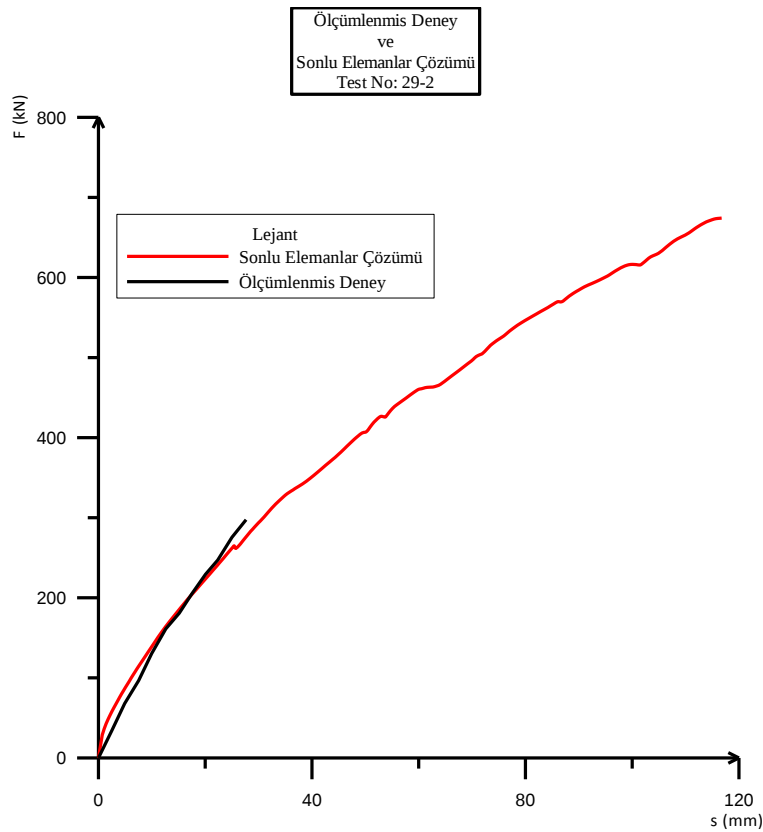
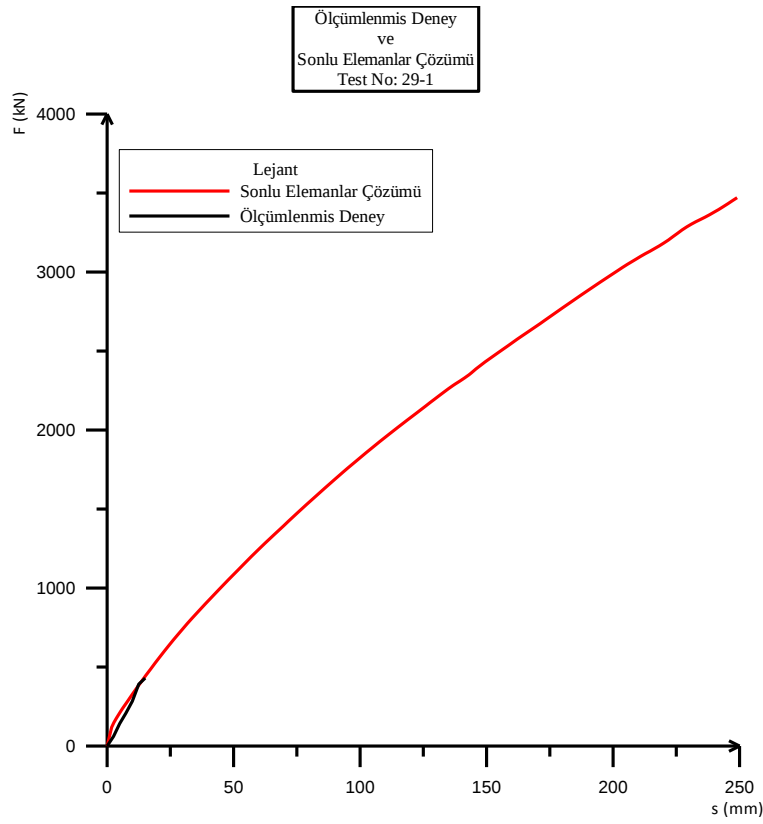
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



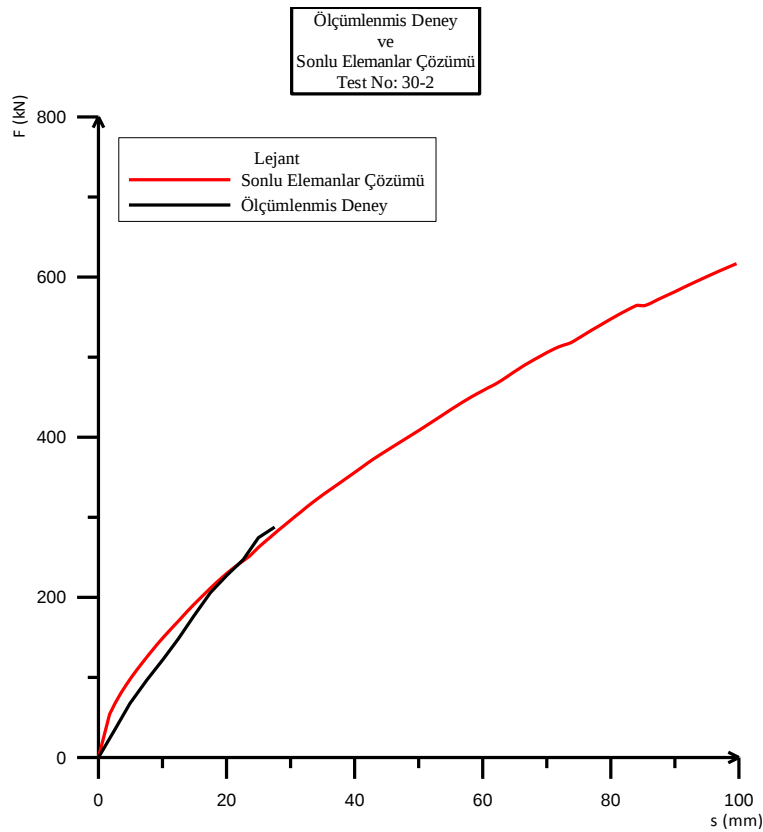
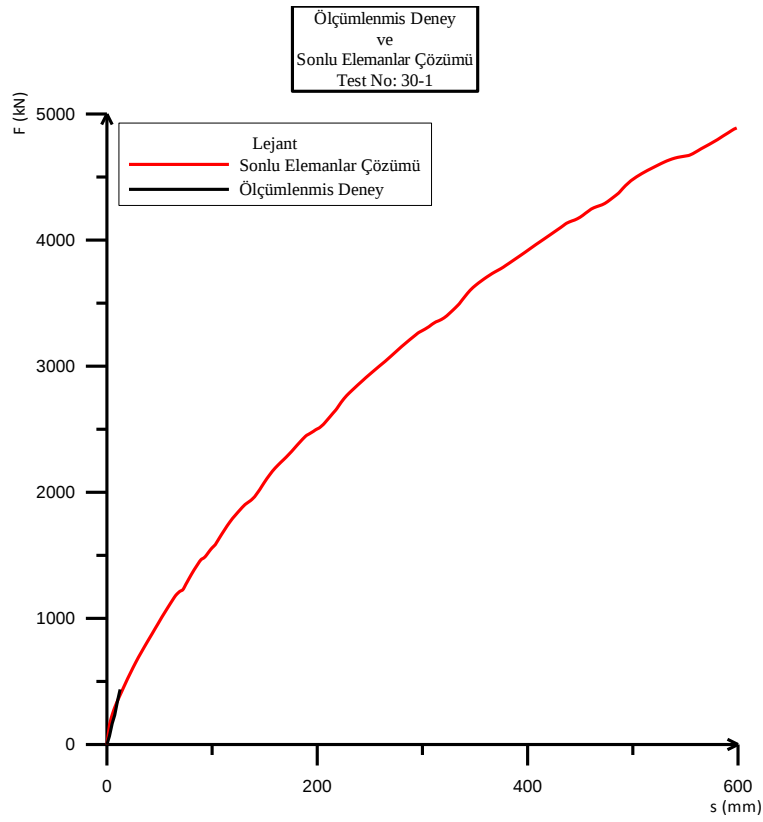
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



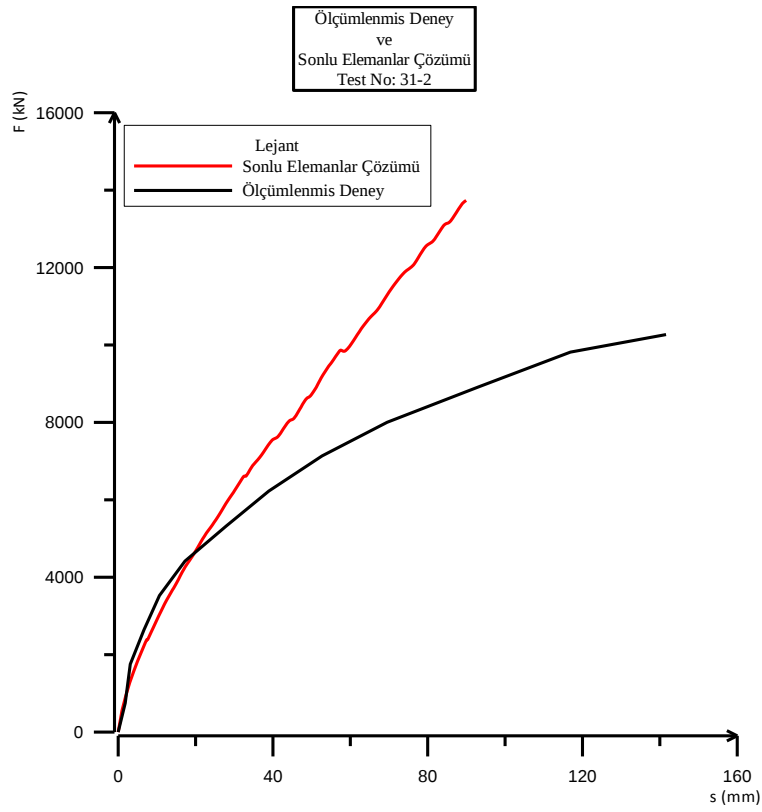
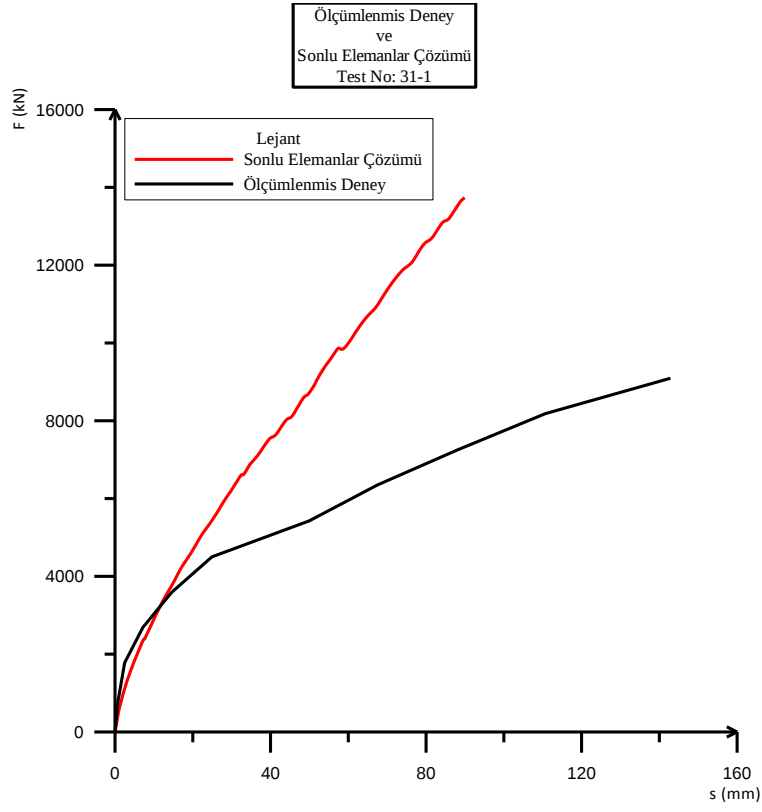
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



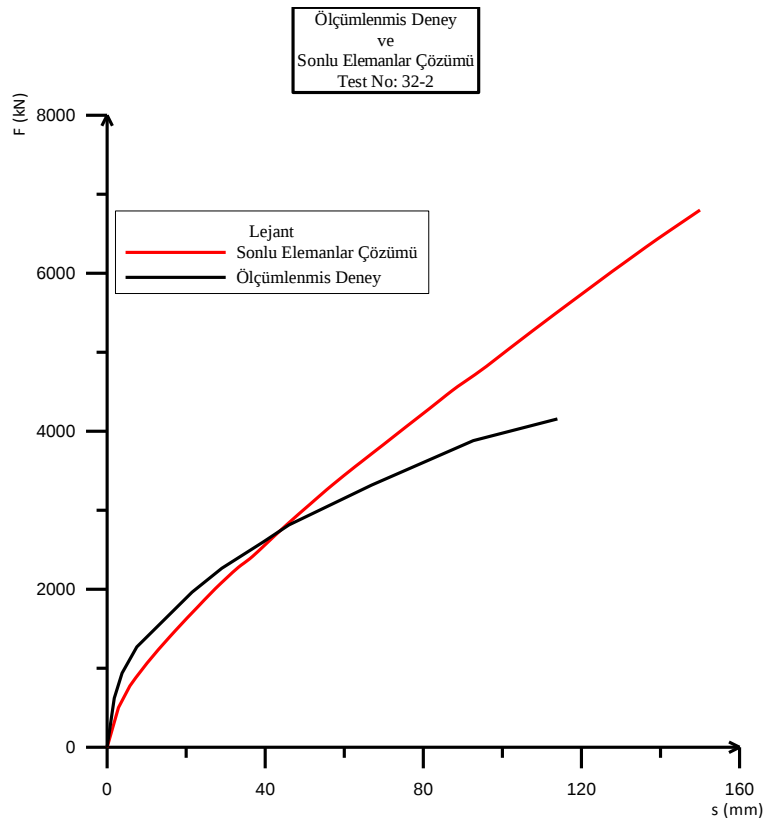
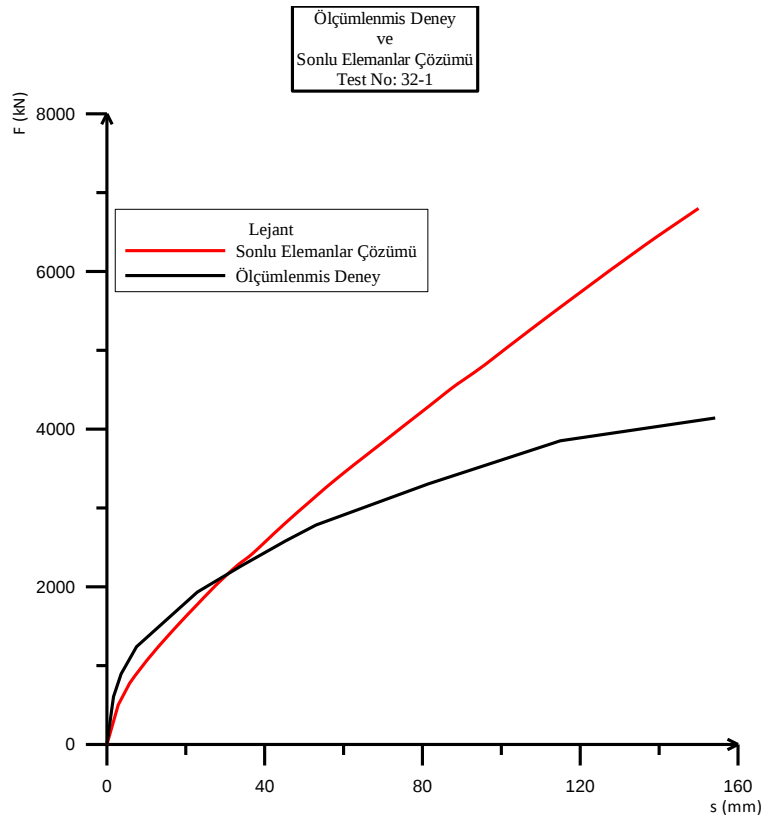
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



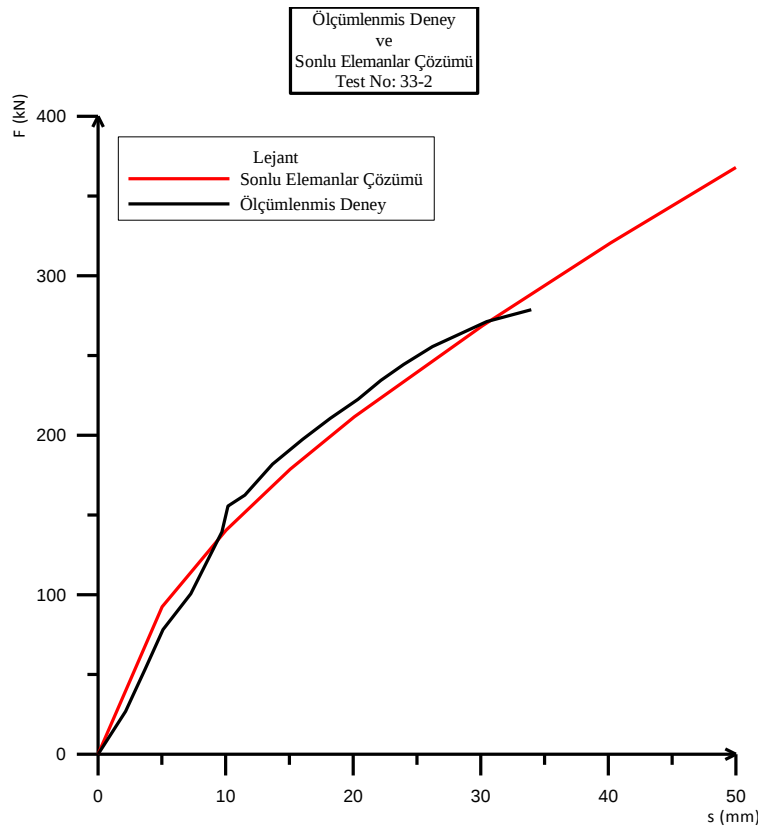
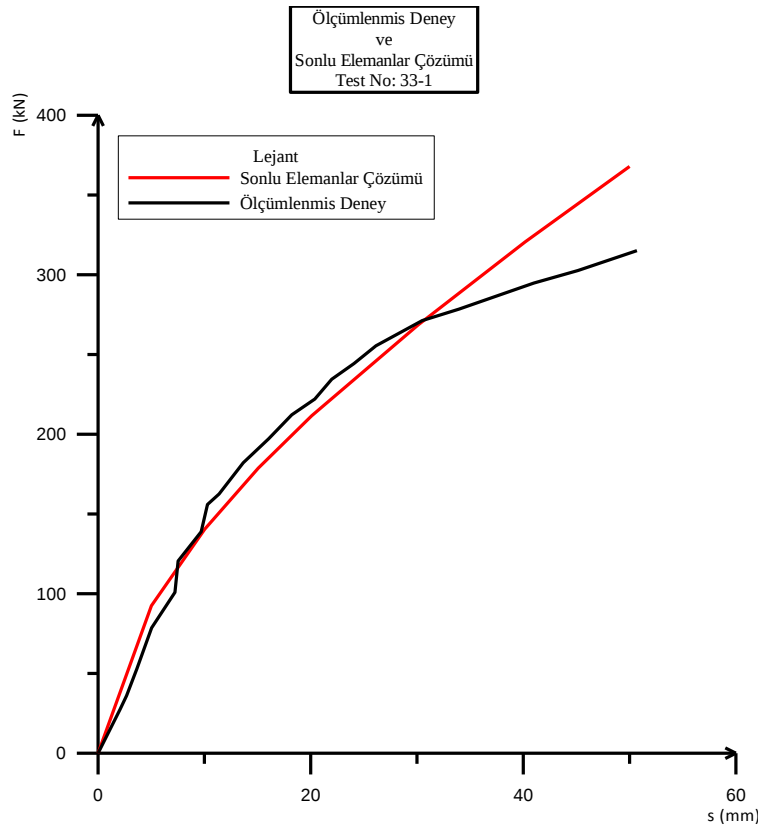
Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları



Ek-1. (devam) Sonlu elemanlar analiz sonuçları





GAZİ GELECEKTİR