



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T-KESİTLİ TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
SAYISAL ANALİZİ

ORHAN KAHRAMAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSKENDERUN
EYLÜL-2017

T.C.

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T-KESİTLİ TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
SAYISAL ANALİZİ**

ORHAN KAHRAMAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSKENDERUN
EYLÜL-2017**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T-KESİTLİ TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
SAYISAL ANALİZİ

ORHAN KAHRAMAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Murat ÖRNEK danışmanlığında hazırlanan bu tez **15/09/2017** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Başkan

Doç. Dr. Murat ÖRNEK

Üye

Prof. Dr. Cafer Kayadelen

Üye

Yrd Doç. Dr. Mustafa Çalışıcı

Kod No: 66

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

15/09/2017

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

ORHAN KAHRAMAN

ÖZET

T-KESİTLİ TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE SAYISAL ANALİZİ

Bu tez çalışmasında, kum zemine oturan T-kesitli yüzeysel temellerin taşıma gücü sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizlerde sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki boyutlu Plaxis 2D sayısal analiz programı kullanılmıştır. Kum zemin davranışının modellenmesinde Mohr Coulomb zemin modeli kullanılmıştır. Sayısal analizlerin doğruluğunu belirleyebilmek için laboratuvar ortamında yapılan deneyler modellenmiştir. Uyumluluğun belirlenmesinin ardından parametrik çalışmalara geçilmiştir. Sayısal analizlerde farklı eksantrisite ve farklı koşullar altında yüklemeler yapılarak taşıma gücü ve oturma değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda deney ve analiz sonuçlarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Eksantrik yüklemelerde taşıma kapasitesi düşerken oturma değerinin arttığı gözlenmiştir.

2017, 111 sayfa

Anahtar Kelimeler: T-kesitli temel, sonlu elemanlar yöntemi, taşıma gücü, oturma, eksantrisite.

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSES OF T-SHAPED FOOTINGS USING FINITE ELEMENT METHOD

In this thesis, the bearing capacity of T-shaped shallow footings was numerically investigated. In the numerical analysis, finite element method based numerical analysis program Plaxis 2D was used. The Mohr Coulomb Model was used to model the sand soil behavior. For obtaining the accuracy of numerical analysis, the laboratory model tests were simulated. And then, parametric analyses were performed. In numerical analyses, the bearing capacity and settlement values were compared using different eccentricity and loading conditions. In these studies, the experimental and numerical analysis results obtained were close to each other. It is observed in the eccentric loading that there is a decrease in the bearing capacity and an increase in the settlement characteristics.

2017, 111 pages

Key Words: T-shaped footing, finite element method, bearing capacity, settlement, eksantrisite.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesi, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat ÖRNEK'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yardımlarından dolayı İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Arş. Gör. Yakup TÜREDİ'ye ve beraber çalıştığım daimi arkadaşım İnş. Müh. Nihat KAYA'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi çalışmalarım sırasında da bana destek olan, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Yaklaşımı	6
2.2. Meyerhof Taşıma Gücü Yaklaşımı	8
2.3. Brinch Hansen Taşıma Gücü Yaklaşımı	8
2.4. Prakash ve Saran Taşıma Gücü Yaklaşımı	9
2.5. Vesic Taşıma Gücü Yaklaşımı.....	10
2.6. Literatürde Önerilen Diğer Taşıma Gücü Yaklaşımları.....	12
3. SAYISAL ANALİZ	27
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	27
4. PLAXIS SAYISAL ANALİZ PROGRAMI.....	30
4.1. Zemin Modelleri.....	31
4.2. Sayısal Analiz Veri Girişleri	32
4.3. Deney ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	35
4.3.1. SERİ 1-Şerit Temelde Eksantrisite Etkisi.....	36
4.3.2. SERİ 2-Şerit Temelde Diş (H) Etkisi.....	42
4.3.3. SERİ 3-Şerit Temelde Topuklu Diş Etkisi.....	48
4.3.4. SERİ 4-Şerit Temelde Topuklu Eksantrik Eğik Yükleme Etkisi...57	
5. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR.....	60
5.1. SERİ A-Şerit Temelde Eksantrisite Etkisi	61
5.2. SERİ B-Şerit Temelde Diş (H) Etkisi	67
5.3. SERİ C-Şerit Temelde Şevli Durumda Diş (H) Etkisi	71
5.4. SERİ D-Şevli Durumda Diş (H) Etkisi-Tabakalı Durum.....	93

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	111



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Tekil temel çeşitleri (Özkaya, 2014).....	2
Şekil 2.3.	Mütemadi temel (sürekli temel) örneği (Özkaya, 2014).....	3
Şekil 2.3.	Radye temel örneği (Özkaya, 2014)	3
Şekil 2.4.	Genel Kayma Göçmesi	4
Şekil 2.5.	Zımbalama Göçmesi	4
Şekil 2.6.	Kısmi (yerel) kayma göçmesi	5
Şekil 2.7.	Prandtl tarafından geliştirilen model (Önalp, 2006)	6
Şekil 2.8.	Terzaghi modeli (Önalp, 2006).....	7
Şekil 2.9.	Eksantrik yüklü sürekli temeller için önerilen taşıma kapasitesi teorisi (Prakash ve Saran, 1971)	10
Şekil 2.10.	Görelî yoğunluğa ve hidrolik yarıçapa göre temelde göçme şekilleri (Vesic, 1973).....	10
Şekil 2.11.	Merkezi taşıma kapasitesi teorisi model örneği (Uzuner, 1975)	12
Şekil 2.12.	Eksantrik yüklü temelde taşıma kapasitesi teorisi (Uzuner, 1975).....	12
Şekil 2.13.	Eksantrik yüklü temelde tipik basınç dağılımı (Uzuner, 1975)	13
Şekil 2.14.	Ghazavi ve Mokhtari (2008) tarafından kullanılan temel model çeşitleri.....	13
Şekil 2.15.	Temel altındaki makaslama bölgeleri (Ghazavi ve Mokhtari, 2008)	14
Şekil 2.16.	Deney düzeneğinin hazırlanması (Nawghare ve ark., 2010).....	15
Şekil 2.17.	Sonlu elemanlar ağı ve model geometrisi (Keskin ve Laman, 2012).....	16
Şekil 2.18.	0.1 B yöntemi (Keskin ve Laman, 2012).....	16
Şekil 2.19.	Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik q_u değerleri (Keskin ve Laman, 2012).....	17
Şekil 2.20.	Farklı temel genişlikleri için taban basıncı-oturma eğrileri (Keskin ve Laman, 2012).....	18
Şekil 2.21.	Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik N_v değerleri (Keskin ve Laman, 2012).....	19
Şekil 2.22.	Model temellere ait zemin elemanının sonlu elemanlara bölünmesi (Kılıçel, 2014).....	21
Şekil 2.23.	Yükleme sonucunda zeminde oluşan deformasyon görünüşleri (Kılıçel, 2014).....	21
Şekil 2.24.	Oturma dağılımları (Kılıçel, 2014)	22
Şekil 2.25.	Kare temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması (Kılıçel, 2014).....	22
Şekil 2.26.	(+) temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması (Kılıçel, 2014)	23
Şekil 2.27.	H temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması (Kılıçel, 2014)	23
Şekil 2.28.	T temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması (Kılıçel, 2014)	24
Şekil 2.29.	Eksantrik yük etkisi altındaki temel.....	25
Şekil 2.30.	Göçme mekanizmaları (Kaya ve Örnek, 2013)	26
Şekil 3.1.	Sonlu Eleman Yönteminde çizgisel elemanlar	28
Şekil 3.2.	Sonlu Elemanlar Yönteminde Modelleme Örnekleri	28

Şekil 4.1.	Gevşek kum zeminde merkezi yükleme etkisinde deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması	34
Şekil 4.2.	Gevşek kum zeminde eksantrik yükleme halinde deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması	34
Şekil 4.3.	Seri I Merkezi yükleme durumu (gevşek zemin).....	35
Şekil 4.4.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$)	36
Şekil 4.5.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$)	37
Şekil 4.6.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$)	37
Şekil 4.7.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$)	38
Şekil 4.8.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$)	39
Şekil 4.9.	Seri I merkezi yükleme durumu (sıkı zemin)	39
Şekil 4.10.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, sıkı zemin).....	40
Şekil 4.11.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, sıkı zemin).....	40
Şekil 4.12.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, sıkı zemin).....	41
Şekil 4.13.	Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, sıkı zemin).....	42
Şekil 4.14.	Seri II merkezi yükleme durumu ($H/B=0.17$, gevşek zemin).....	43
Şekil 4.15.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.17$)	43
Şekil 4.16.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.17$)	44
Şekil 4.17.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.17$)	45
Şekil 4.18.	Seri II merkezi yükleme durumu (sıkı zemin, $H/B=0.17$)	45
Şekil 4.19.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.17$)	46
Şekil 4.20.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.17$)	47
Şekil 4.21.	Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.17$)	47
Şekil 4.22.	Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.33$)	48
Şekil 4.23.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, $H/B=0.33$).....	49
Şekil 4.24.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.33$).....	49
Şekil 4.25.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.33$).....	50
Şekil 4.26.	Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.33$)	51
Şekil 4.27.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, $H/B=0.33$).....	51
Şekil 4.28.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.33$).....	52
Şekil 4.29.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.33$).....	52
Şekil 4.30.	Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.17$)	53
Şekil 4.31.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.33$).....	54
Şekil 4.32.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.33$).....	54
Şekil 4.33.	Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.33$)	55
Şekil 4.34.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, $H/B=0.33$).....	56
Şekil 4.35.	Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.33$).....	56
Şekil 4.36.	Seri IV merkezi yükleme durumu ($\beta=0^\circ$)	57
Şekil 4.37.	Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=15^\circ$).....	58
Şekil 4.38.	Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=25^\circ$).....	58
Şekil 4.39.	Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=0$, $H/B=0.17$)	59
Şekil 4.40.	Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=15^\circ$, $H/B=0.17$)	60
Şekil 5.1.	Kum zeminde merkezi yükleme durumu analiz gösterimi	61
Şekil 5.2.	Kum zeminde yükleme durumu.....	61
Şekil 5.3.	Kil zeminde merkezi yükleme durumu analiz gösterimi	62
Şekil 5.4.	Kil zeminde merkezi yükleme durumu	62
Şekil 5.5.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25$).....	63

Şekil 5.6.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$).....	63
Şekil 5.7.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25$).....	64
Şekil 5.8.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$)	64
Şekil 5.9.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.5$).....	65
Şekil 5.10.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$).....	65
Şekil 5.10.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$).....	65
Şekil 5.11.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.5$).....	66
Şekil 5.12.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$)	66
Şekil 5.13.	Kum zeminde H etkisinde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$).....	67
Şekil 5.14.	Kil zeminde H etkisinde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$).....	67
Şekil 5.15.	Kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumu ($e/B=0, H/B=0.25$)	68
Şekil 5.16.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($H/B=0.25, e/B=0.25$)	69
Şekil 5.17.	Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25$).....	69
Şekil 5.18.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25, H/B=0.25$)	70
Şekil 5.19.	Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25$).....	70
Şekil 5.20.	Kum ve kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5, H/B=0.25$)....	71
Şekil 5.21.	Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu analiz gösterimi.....	72
Şekil 5.22.	Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu ($\alpha=40^\circ$)	72
Şekil 5.23.	Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu analiz gösterimi ($\alpha=45^\circ$)	73
Şekil 5.24.	Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	73
Şekil 5.25.	Şevli kil zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ$).....	74
Şekil 5.26.	Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu analiz gösterimi ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ, f=60\text{cm}$).....	74
Şekil 5.27.	Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	75
Şekil 5.28.	Şevli kil zemin merkezi yükleme durumu analiz gösterimi ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ, f=60\text{cm}$).....	75
Şekil 5.29.	Şevli kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ, f=60\text{cm}$).....	76
Şekil 5.30.	Şevli kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	77
Şekil 5.31.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25, H/B=0.25, \alpha=45^\circ, f=30\text{cm}$).....	77
Şekil 5.32.	Şevli kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25, \alpha=45^\circ, f=30\text{cm}$).....	78
Şekil 5.33.	Şevli kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25, H/B=0.25$)	79
Şekil 5.34.	Şevli kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5, H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	79
Şekil 5.35.	Şevli kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	80
Şekil 5.36.	Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	81
Şekil 5.37.	Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	81

Şekil 5.38.	Şevli kil zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=60^\circ$).....	82
Şekil 5.39.	Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, \alpha=60^\circ$)	82
Şekil 5.40.	Şevli kil zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	83
Şekil 5.41.	Şevli kum ve kil zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=60^\circ$)....	83
Şekil 5.42.	Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, f=120\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	84
Şekil 5.43.	Şevli kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=60^\circ$)	85
Şekil 5.44.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25,$ $\alpha=60^\circ$)	85
Şekil 5.45.	Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25,$ $f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	86
Şekil 5.46.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.25, H/B=0.25, \alpha=60^\circ$)	86
Şekil 5.47.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25, H/B=0.25,$ $f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	87
Şekil 5.48.	Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25, H/B=0.25, f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	87
Şekil 5.49.	Şevli kum ve kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25,$ $H/B=0.25, f=120\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	88
Şekil 5.50.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5, f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	89
Şekil 5.51.	Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5, f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	89
Şekil 5.52.	Şevli kum ve kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5,$ $f=30\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	90
Şekil 5.53.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5, H/B=0.25, f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	91
Şekil 5.54.	Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5, f=60\text{cm},$ $\alpha=60^\circ$)	91
Şekil 5.55.	Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5, f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$).....	92
Şekil 5.56.	Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5, f=60\text{cm}, \alpha=60^\circ$)....	92
Şekil 5.57.	Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi $f=30\text{cm}, \alpha=45^\circ, h_1=h_2$).....	93
Şekil 5.58.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($f=30\text{cm},$ $H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)	94
Şekil 5.59.	Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, f=60\text{cm}, \alpha=45^\circ$).....	94
Şekil 5.60.	Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ$)....	95
Şekil 5.61.	Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi($H/B=0.25, f=120\text{cm}, \alpha=45^\circ, h_1=h_2$)	95
Şekil 5.62.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25, f=120\text{cm}, \alpha=45^\circ$).....	96
Şekil 5.63.	Şevli ve tabakalı zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25, \alpha=45^\circ, e/B=0.25$)	96

Şekil 5.64.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)	97
Şekil 5.65.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $f=60\text{cm}$, $\alpha=45^\circ$)	98
Şekil 5.66.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $f=120\text{cm}$, $\alpha=45^\circ$)	98
Şekil 5.67.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5$, $H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)	99
Şekil 5.68.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)	100
Şekil 5.69.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $h_1=h_2$, $f=30\text{cm}$, $\alpha=60^\circ$)	100
Şekil 5.70.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $f=30\text{cm}$, $\alpha=60^\circ$)	101
Şekil 5.71.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)	101
Şekil 5.72.	Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, , $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)	102
Şekil 5.73.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.25$, $f=30\text{cm}$, $\alpha=60^\circ$)	102
Şekil 5.74.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $e/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)	103
Şekil 5.75.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $e/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)	103
Şekil 5.76.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)	104
Şekil 5.77.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)	105
Şekil 5.78.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$, $f=30\text{cm}$)	105
Şekil 5.79.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)	106
Şekil 5.80.	Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Brinch Hansen ve Vesic N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları	11
Çizelge 2.2.	Deneylerde kullanılan model temel ölçüleri (Ghazavi ve Mokhtari, 2008).....	14
Çizelge 2.3.	Farklı temel genişlikleri için teorik ve sayısal q_u değerleri	18
Çizelge 2.4.	Kum zemin için model parametreleri	20
Çizelge 4.1.	Analizlerde kullanılan kumun çeşitli mühendislik parametreleri.....	33
Çizelge 5.1.	Analizlerde kullanılan kilin çeşitli mühendislik parametreleri	107



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: temel alanı
b_c, b_q, b_γ	: temel sapma faktörleri
B	: temel genişliği
β	: eğik yükleme açısı
c	: kohezyon
C_u	: üniformalık katsayısı
C_c	: derecelenme katsayısı
d_c, d_q, d_γ	: derinlik faktörleri
D_f	: temel derinliği
D_r	: sıklık derecesi
e	: eksantriste
E	: elastisite modülü
E_{50}	: üç eksenli yükleme rijitliği
E_{ur}	: üç eksenli yükleme boşaltma rijitliği
E_{oed}	: ödometre yükleme rijitliği
EI, EA	: malzeme özellikleri
p^{ref} :	: referans çevre basıncı
f	: şev tepesinin temele olan mesafesi
FS	: güvenlik katsayısı
F_c, F_γ	: temel sıkışma faktörleri
g_i, g_q, g_γ	: zemin eğim faktörleri
GS	: güvenlik katsayısı
h	: zemin tabaka yüksekliği
H	: dış uzunluğu
HS	: pekleşen zemin modeli
i	: yük eğim faktörü
K	: temel şekil katsayısı
K_0	: toprak basıncı katsayısı

l	: topuk uzunluğu
L	: temel uzunluğu
MC	: Mohr Coulomb zemin modeli
N_c, N_q, N_γ	: taşıma gücü katsayıları
N	: normal kuvvet
P_p, P_m	: pasif kuvvet
P	: temel çevresi
R	: temelin hidrolik yarıçapı
R_f	: göçme oranı
s	: oturma
s_c, s_q, s_γ	: temel şekil faktörleri
SSC	: yumuşak zemin sünme modeli
u	: ötelenme hareketi
q	: taban basıncı
q_a	: deviatörük gerilmenin asimptotu
q_{emin}	: emin taşıma gücü
q_f	: göçme anındaki deviatörük gerilme
q_n	: düşey eksenel yük değeri
$q_{sınır}$: taşıma gücü sınır yükü
q_u	: nihai taşıma kapasitesi
q_{zemin}	: zemin emniyet gerilmesi
Q, Q_u	: nihai yük
α	: şev açısı
ν	: poisson oranı
ϕ	: kayma mukavemeti açısı
ϕ_m	: mobilize edilmiş zemin sürtünme açısı
γ	: birim hacim ağırlığı
μ	: temel şekline bağlı katsayı
ψ	: kama açısı

1. GİRİŞ

Zeminle ilişkisi bulunmayan tek bir inşaat mühendisliği yapısı dahi yoktur. Konut, okul, hastane, cami, liman, köprü, baraj, demiryolu, havalimanı, metro, tünel vb. kısaca doğal gereksinimlerin karşılanması için yapılan her tür mühendislik yapısı zemine oturmakta ya da zeminin içinde yer almaktadır. Üst yapı ne kadar sağlıklı projelendirilirse projelendirilsin, zemin ve onun mühendislik özellikleri hakkında yeterli bilgiye sahip olunmadığı takdirde yapının güvenliğinden söz edilemeyecektir.

Bir mühendislik yapısı tasarımında ilk adımlardan birini geoteknik çalışmalar oluşturmaktadır. Geoteknik mühendislerinin görevi, gerek proje yapan, gerekse uygulamada bulunan inşaat mühendislerine söz konusu mühendislik yapılarının ilişkide olduğu zemin hakkında geoteknik bilgileri aktarmak varsa zemin problemlerini tespit etmek ve bu problemlerin çözümü noktasında gerekli öneriler ortaya koyarak zemin iyileştirme çalışmalarını organize etmektir.

Yapıya etki eden tüm yüklerin güvenli bir şekilde zemine aktarılabilmesi gereklidir. Duvar, kolon, perde, kiriş ve döşeme gibi elemanlardan gelen yükleri zemine aktaran yapı elemanlarına 'temel' adı verilir. Temeller üzerlerine gelen yüke, yükü aktaran taşıyıcı elemana ve zemin türüne bağlı olarak çeşitli biçimlerde oluşturulabilir. Temeller genellikle yüzeysel temeller ve derin temeller olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Zeminin sağlam tabakası çok derinde ise yapı yüklerini bu tabakalara aktarmak için derin temeller kullanılır. Yapı yükünün zemin yüzeyine yakın bir yerde güvenle taşınabildiği zeminlerde ise yüzeysel temeller uygulanabilir. Yüzeysel temellerde yapı yükü doğrudan temel tabanı ile taşıyıcı zemine aktarılır (Ersoy,1985).

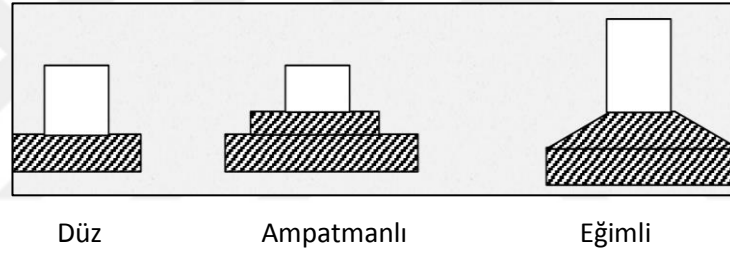
Bu tez çalışmasında yüzeysel temel çeşitlerinden T-kesitli yüzeysel temellerin taşıma gücü ve oturma davranışını incelemek amacıyla iki boyutlu sayısal analizler yapılmıştır. Analizlerde Plaxis 2D sayısal analiz programı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada izlenen programa paralel olarak T-kesitli model temellerin merkezi, eğik ve eksantrik yüklemeler altında taşıma gücü ve oturma davranışı incelenmiştir. Çalışmada Kaya (2017) tarafından sunulan deneysel veriler kullanılmıştır. Sayısal analizlerin doğruluğunu belirleyebilmek için laboratuvar ortamında yapılan deneyler modellenmiş ve uyumluluğun belirlenmesinin ardından parametrik çalışmalara geçilmiştir. Deneyler,

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

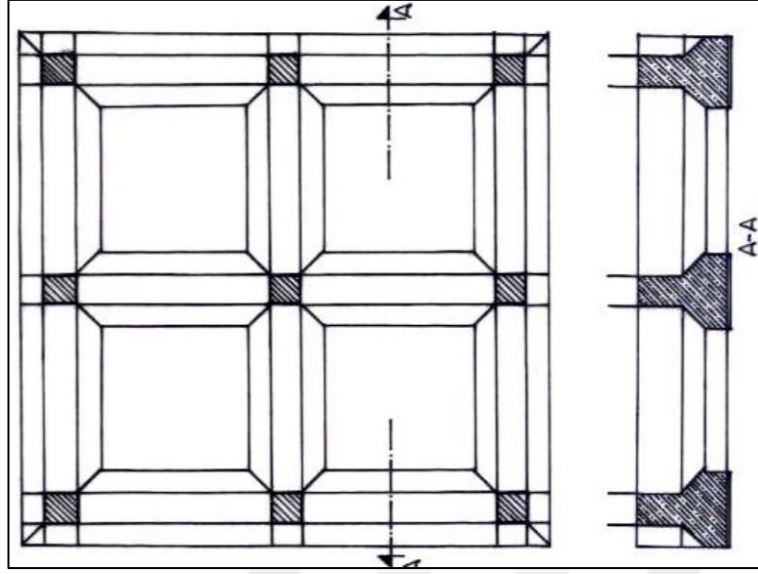
Geoteknik mühendisliğinde yüzeysel temeller tekil temeller, sürekli (mütemadi) temeller, radye temeller olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Ayrıca çeşitli geometriye sahip (+, T, H ve kare kesitli) yüzeysel temeller de tasarlanabilmektedir.

Münferit temel veya ayaklı temel olarak ta bilinen tekil temeller zeminin orta sertlikte ve yapı yükünün daha az olması durumlarında uygulanmaktadır. Tekil temeller genellikle kare veya dikdörtgen tabanlı sömellere oturtulmaktadır. Tekil temellerin sömelleri düz, kademeli (ampatmanlı) veya eğimli olarak yapılmaktadır (Özkaya, 2014) (Şekil 2.1).



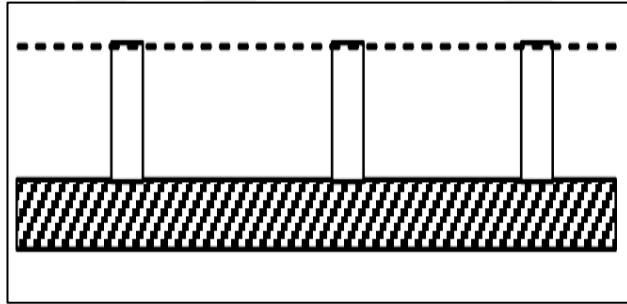
Şekil 2.1. Tekil temel çeşitleri

Sürekli temeller, şerit ya da mütemadi temel olarak ta adlandırılmaktadır. Taşıyıcı duvar veya eşit birçok kolon yükünü taşıyan temellerdir. Sürekli temeller zemin gerilmesinin yüksek olduğu yerlerde kolonların temelden birbirlerine kirişlerle bağlanmasıyla uygulanmaktadır. Genellikle betonarmeden inşa edilmektedirler. Şekil 2.2'de mütemadi bir temel örneği görünümü yer almaktadır (Özkaya, 2014).



Şekil 2.2. Mütemadi temel (sürekli temel) örneği

Radye temeller dolgu zeminlerde ya da zemin emniyet gerilmesinin düşük olduğu zeminlerde uygulanmaktadır. Bina zemini tamamen örten ve tersine çalışan bir plak döşeme üzerine oluşturulurlar. Kirişli ve kirişsiz olarak uygulanmaktadır. Günümüzde en çok uygulanan temel sistemidir. Şekil 2.3'te tipik bir radye temel örneği gösterilmektedir (Özkaya, 2014).

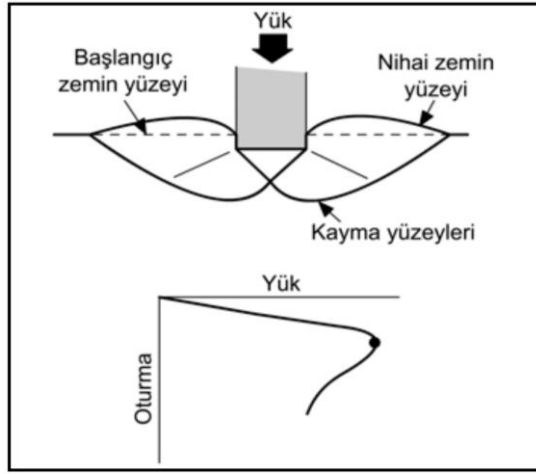


Şekil 2.3. Radye temel örneği

Temellerden aktarılan yükün zeminde oluşturduğu kayma gerilmelerinin zeminin kayma mukavemetini aşması durumunda taşıma gücü göçmesi meydana gelmektedir. Taşıma gücü (q_u) temelin zemine aktaracağı maksimum gerilme değeridir. Taşıma gücü göçmeleri genel kayma göçmesi, zımbalama göçmesi ve yerel kayma göçmesi olmak üzere üç grupta incelenmektedir:

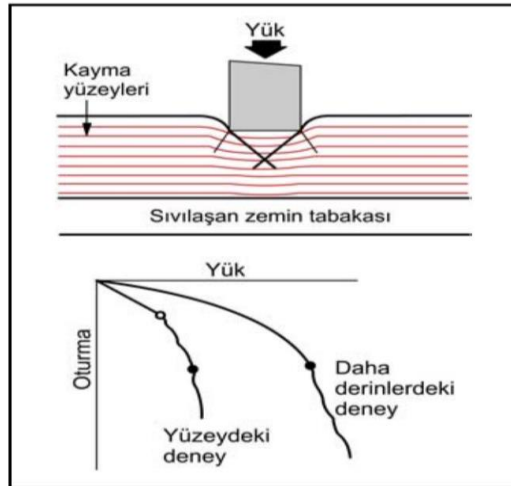
Genel kayma göçmesi (kırılması); sıkı veya sert zeminlerde meydana gelmektedir. Temele uygulanan yük arttıkça oturma artmakta, göçme yüküne ulaşıldığında ise yük sabit kalırken oturma en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Şekil 2.4'te genel kayma göçmesi durumunda zemin ortamında oluşan kayma yüzeyleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Genel kayma göçmesi

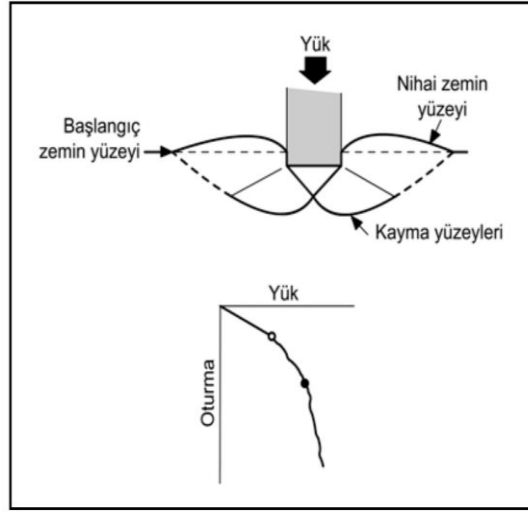
Zımbalama kayma göçmesi (kırılması) genellikle yumuşak ve gevşek zeminlerde görülen göçme türüdür. Bu göçme türünde yük arttıkça oturmalar artmakta olup belli bir temel gerilmesinden sonra oturmaların pratik olarak doğrusal konuma geldiği kabul edilmektedir. Şekil 2.5'te zımbalama göçmesine uğrayan zemin durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Zımbalama göçmesi

Yerel kayma göçmesi (kırılması) genellikle orta sıkı veya orta katı zeminlerde görülen göçme türüdür. Bu göçme türünde yük arttıkça oturmalar artmaktadır. Yükün

daha fazla artması durumunda oturmalarda sıçramalar gözlenmektedir. Yerel (kısmi) kayma göçmesi sonucunda elde edilen kayma yüzeyleri Şekil 2.6’da yer almaktadır.



Şekil 2.6. Kısmi (yerel) kayma göçmesi

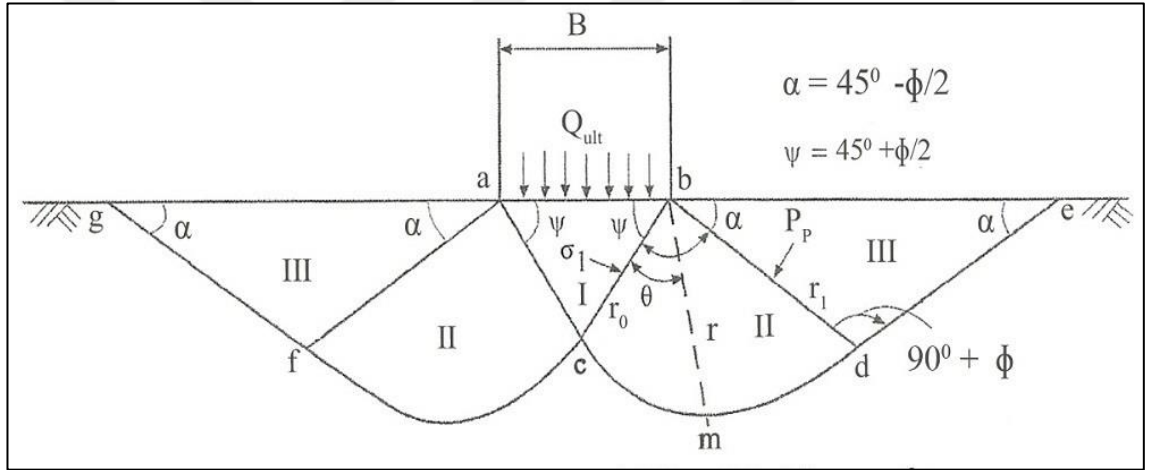
Emniyetli taşıma gücünün belirlenmesi geoteknik alanında uzman mühendisler tarafından ve doğru parametrelerle yapılmalıdır. Emniyetli taşıma gücü sadece zemin özelliklerine bağlı olmamakta, aynı zamanda temelin boyutları, tipi ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Taşıma gücü elde edilirken kullanılan kayma mukavemeti parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) zeminin davranışını yansıtacak şekilde seçilmelidir. Bu değerlerin elde edilmesi için yapılan laboratuvar ve arazi deneyleri bir geoteknik uzmanının kontrolünde yürütülmelidir. Temeller yapı yüklerini zemine aktarırken zeminde aşırı gerilmeye sebep olmamalıdır. Bu yüzden tasarımda uygun bir güvenlik katsayısı uygulanmalıdır. Zeminin kayma göçmesine karşı ulaşacağı maksimum mukavemet, nihai taşıma gücü (q_u) güvenlik katsayısına bölünerek emniyetli taşıma gücü elde edilmektedir.

Taşıma gücü hesabıyla ilgili literatürde bir çok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları Terzaghi (1943), Meyerhof (1957), Vesic (1973), Brinch Hansen (1970), Prakash ve Saran (1971), Uzuner (1975), Ghazavi ve Mokhtari (2008), Nawghare ve ark. (2010), Keskin ve Laman (2012) tarafından ortaya konulan yöntemler olup bu yöntemler aşağıda anlatılmıştır.

2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Yaklaşımı

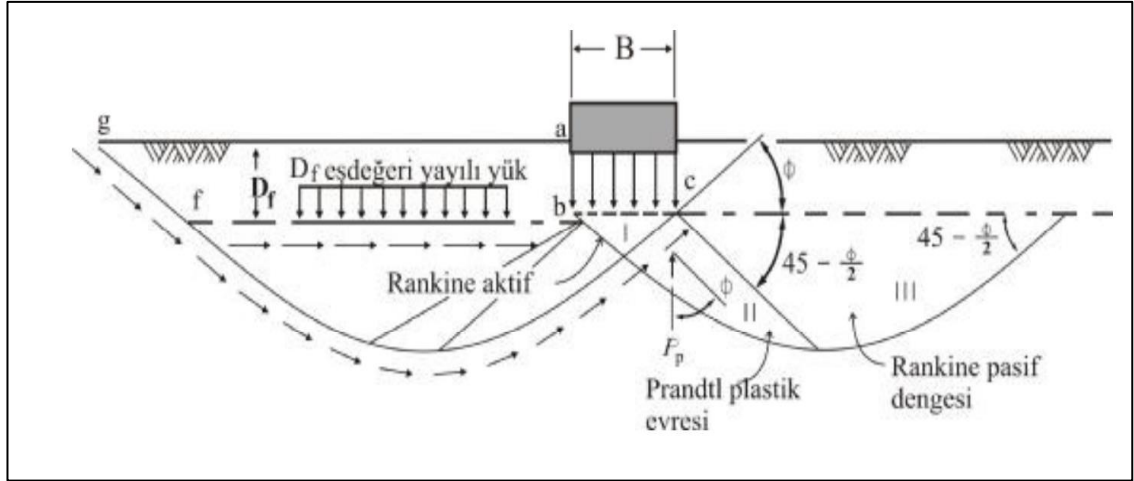
Yüzeysel temelerde taşıma gücü ilk kez 1943 yılında Terzaghi tarafından Prandtl teorisine dayanılarak belirli bir mantık içinde açıklanmıştır. Prandtl tarafından sert çelik bir zımba ile bir diğer metal yüzeye bastırıldığında beliren plastik şekil değiştirme incelenmiştir. Bu yaklaşım izlenerek değişik zemin, temel ve yük koşulları için çözümler geliştirmiştir.

Şekil 2.7’de Prandtl tarafından geliştirilen model şeması gösterilmektedir (Önalp, 2006) (Şekil 4.1). Burada yükleme durumunda elastik dengede kalan 1 No’lu kamanın 2 No’lu bölgeyi iterek kesmesi ile değişken yarıçaplı, logaritmik spiral biçimli kayma yüzeyleri oluşmaktadır. 3 nolu bölge ise pasif duruma geçmiş zemin kamasıdır. Literatürde önerilen diğer yöntemler Prandtl’in modeli esas alınarak geliştirilmiştir.



Şekil 2.7. Prandtl tarafından geliştirilen model

Terzaghi tarafından Şekil 2.8’de gösterilen aktif ve pasif kamalara ilave olarak önemli değişikliklere gidilmiştir. Bu değişiklikler; 1 No’lu kamanın kenar eğimi $45 + \phi/2$ yerine ϕ , temel tabanının pürüzlü olması kabulü ve D_f temel gömülme derinliği boyunca zeminin kayma direnci göstermeyip sadece γD_f eşdeğeri yayılı yük q gibi etki etmesidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Terzaghi modeli

Buna göre temel zemini homojen izotrop ve yarı sonsuz kabul edilmiştir. Aynı zamanda temel derinliği, genişliğinden fazla değildir. Temel aksenal ve dikey yönde yüklüdür. Yer altı suyu çok derindedir. Şerit temel altındaki göçme bölgesi üç bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan; temelin hemen altında yer alan I. Bölge zonu olup elastiktir. $\alpha = \phi$ olup üçgenin iki kenarı birbirine eşittir. II. Bölge Prandtl radyal kayma bölgesidir. Kırılma yüzeyi logaritmik spiral olarak alınmıştır. III. Bölge Rankine pasif bölgesidir. Bu bölgede kayma yüzeylerinin yatayla yaptığı açı $(45 - \phi/2)$ 'dir.

Terzaghi tarafından yukarıdaki kabuller doğrultusunda taşıma gücü teorisi aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (2.1)$$

Burada N_c, N_q, N_γ , ϕ 'ye bağlı taşıma gücü katsayıları, c , kohezyon, γ , zeminin birim hacim ağırlığı, B , temel genişliği ve D_f ise, temel gömülme derinliğidir.

Terzaghi formülünün genel biçimi ise aşağıda verilmektedir:

$$q_u = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N_\gamma \quad (2.2)$$

Burada, K_1 ve K_2 temel şekil katsayılarıdır.

Emniyetli bir temel veya temel sisteminin taşıma gücü ve oturma gibi iki ana şartı sağlaması gerekmektedir:

a) Taşıma gücü şartına göre; üstyapı ağırlığı altındaki zeminde kayma kırılması oluşmamalı ve göçmeye karşı belli bir güvenliği olmalıdır. Bu durumda emniyetli taşıma gücü hesabı, belli bir güvenlik sayısına (GS) bölünerek bulunabilir.

$$q_{emin} = q_u / GS \quad (2.3)$$

b) Oturma şartına göre; üstyapı yükü nedeniyle temel tabanında meydana gelen oturmalar yapıya zarar vermemeli veya izin verilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır. Temel zemininde meydana gelen oturmalar elastik oturma (zemin boşluklarındaki havanın dışarı çıkması ile zemin danelerinin birbirine yaklaşması sonucu oluşan), konsolidasyon oturması (zemin boşluklarındaki suyun zamanla dışarı çıkmasıyla meydana gelen oturma) ve ikincil konsolidasyon oturması (suya doymun killerde görülen ve konsolidasyon oturmasını takip eden sıkışma) olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. Bir temel oturmasında, zemin cinsine bağlı olarak bu bileşenlerden bir veya birkaçı ihmal edilebilmektedir. Buna göre taşıma gücü ve oturma şartları sağlanarak hesaplanan taban basıncı değeri, zemin emniyet gerilmesi (q_{zemn}) olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Meyerhof Taşıma Gücü Yaklaşımı

Meyerhof tarafından yapılan çalışmalarda Terzaghi denklemleri şekil, derinlik ve eğim faktörleri için geliştirilmiştir. Buna göre düşey aksel yük değerinin tahmini için bağıntılar aşağıdaki gibi önerilmiştir :

$$q_n = cN_c S_c d_c + \sigma_z N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \quad (2.4)$$

$$q_n = cN_c i_c d_c + \sigma_z N_q i_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma i_\gamma d_\gamma \quad (2.5)$$

Burada; B temel genişliğini, d_c , d_q ve d_γ derinlik faktörlerini, S_c , S_q ve S_γ , temel şekil faktörlerini, i_c , i_q ve i_γ yük eğim faktörlerini ifade etmektedir. Yine Meyerhof (1957) tarafından net temel gerilmelerinin bu yöntemle hesaplanan net emniyetli taşıma gücü değerini aşmaması durumunda, muhtemel oturmaların 25 mm'den daha az olacağı ifade edilmiştir.

2.3. Brinch Hansen Taşıma Gücü Yaklaşımı

Brinch Hansen (1970) tarafından, Meyerhof'un taşıma gücü hesabına paralellik gösteren ve ona ek olarak, yük eğim açısı faktörleri, zemin eğim faktörleri ve temel sapma faktörlerini dikkate alan bir formül geliştirilmiştir.

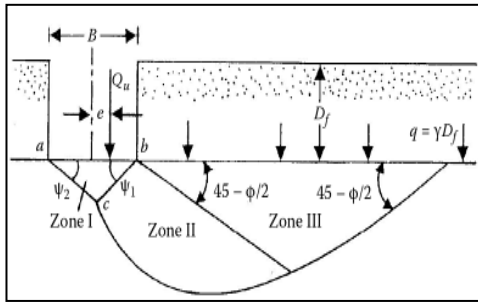
$$q_n = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + \sigma z N_q S_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (2.6)$$

Burada kullanılan temel sapma faktörü b_i temel tabanının yatay düzlemden η açısı kadar saptması durumunda ve zemin eğim faktörü g_i de, temelin yan yüzünü destekleyen zeminde β açısı kadar bir eğim bulunması durumunda dikkate alınan değerlerdir. Yük eğim faktörleri i_i ise, temele etkiyen yatay ve düşey yük bulunması durumunda oluşacak bileşke yüklerin düşey eksenenden kaçıklığını dikkate alan katsayılarıdır. Formülde kullanılan taşıma gücü katsayıları N_q ve N_c Meyerhof formülünde kullanılanlarla aynı şekilde hesaplanırken farklı olarak N_γ aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

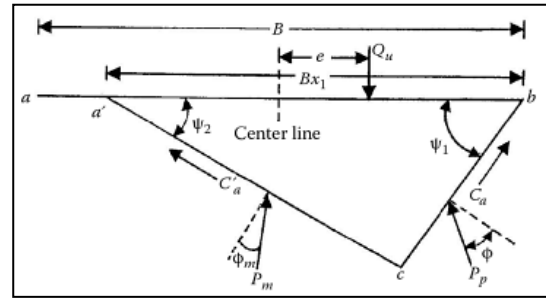
$$N_\gamma = 1.5N_q - 1 \tan \Phi \quad (2.7)$$

2.4. Prakash ve Saran Taşıma Gücü Yaklaşımı

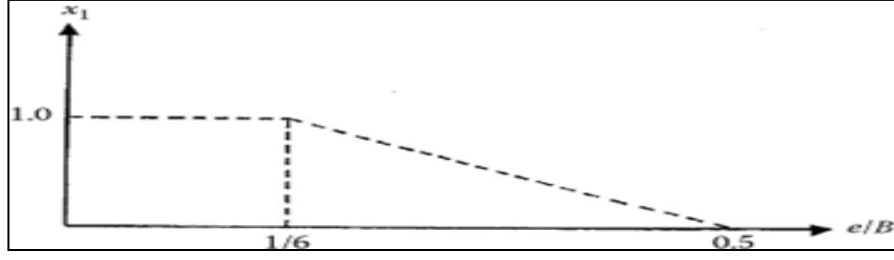
Prakash ve Saran (1971) tarafından yapılan çalışmalarda eksantrik yüklü sürekli temellerin taşıma gücünü hesaplayabilmek için teoriler geliştirilmiştir. Buna göre B genişliğindeki bir temele merkezden e kadar mesafede birim uzunluğa etkiyen Q_u nihai yükü uygulandığında Şekil 2.9'da görülen I. bölge ψ_1 ve ψ_2 kama açıları yapan elastik bölgedir. II. ve III. bölgeler Terzaghi yöntemine benzer şekilde II. bölge radyal kayma, III. bölge ise Rankine pasif bölgesi olarak kabul edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

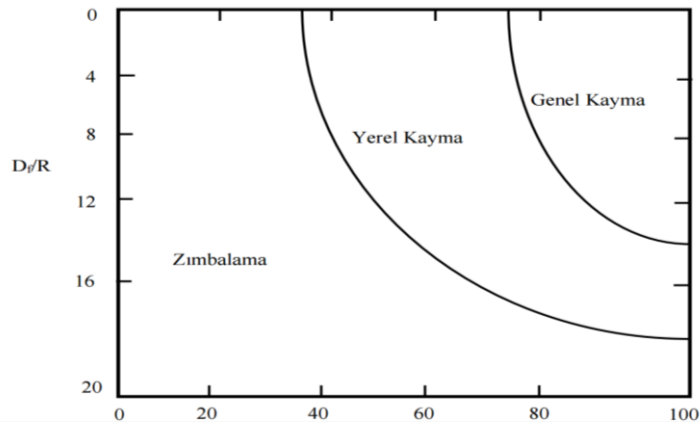
Şekil 2.9. Eksantrik yüklü sürekli temeller için önerilen taşıma kapasitesi teorisi

N_γ , N_q , N_c ; Taşıma gücü katsayıları, ϕ , zeminin sürtünme açısı, c , kohezyon olmak üzere aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$q_{sınır} = 1/2\gamma BN_\gamma + \gamma D_f N_q + cN_c \quad (2.8)$$

2.5. Vesic Taşıma Gücü Yaklaşımı

Vesic (1973) tarafından sığ temellerin taşıma gücü ile ilgili bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem Meyerhof ile benzerdir, sadece N_γ taşıma gücü faktöründe farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Meyerhof taşıma gücü yönteminde kullanılan şekil (s_c , s_q , s_γ), derinlik ve yük eğim faktörlerinin yanında eğik zemin, eğik temel ve sıkışma faktörleri de taşıma gücü denkleminde ilave edilmiştir. Vesic (1973) tarafından kum zemin üzerinde değişik göçme tipleri üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları Şekil 2.10'daki gibi verilmektedir. Burada D_f kumun göreceli yoğunluğudur. R , temelin hidrolik yarıçapı olup, A temel alanı, P temel çevresi olmak üzere $R=A/P$ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.10. Göreceli yoğunluğa ve hidrolik yarıçapa göre temelde göçme şekilleri

Bu kabüller doğrultusunda Vesic (1973) tarafından taşıma gücü teorisi aşağıdaki gibi önerilmiştir:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{cc} F_{cg} F_{cb} + 0,5\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} F_{\gamma c} F_{\gamma g} F_{\gamma b} \quad (2.9)$$

Vesic tarafından geliştirilen taşıma gücü faktörü N_γ hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$N_\gamma = 2N_q + \tan\phi \quad (2.10)$$

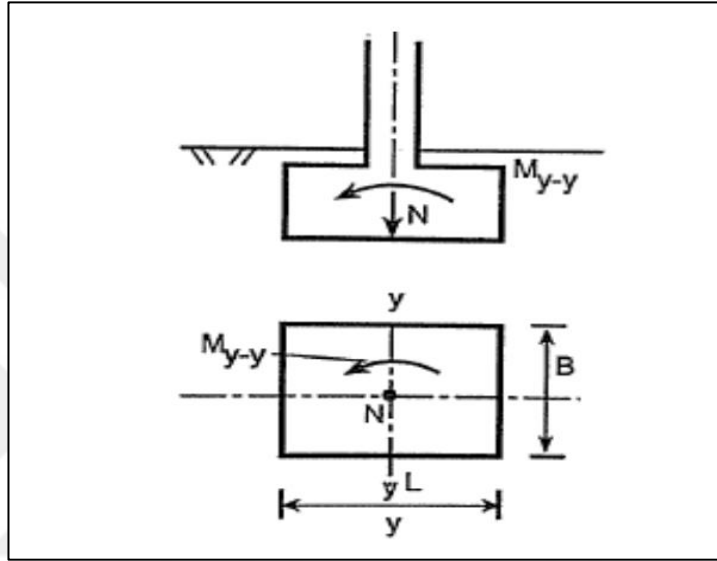
Vesic ve Hansen tarafından kabul edilen taşıma gücü faktörleri değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Vesic yaklaşımında, Brinch Hansen yaklaşımının aksine taşıma gücü hesaplamalarında, eksantrisite etkisi dikkate alınmayarak, temel boyutları olduğu gibi kabul edilmektedir.

Çizelge 2.1. Brinch Hansen ve Vesic N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları

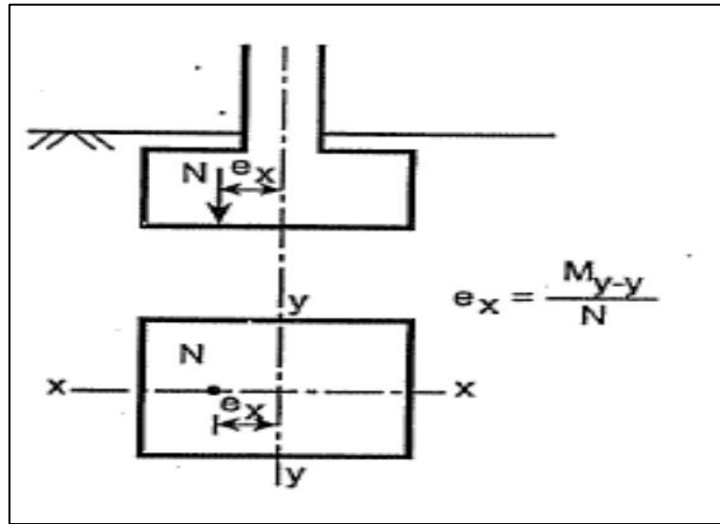
ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14	1.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	2.6
20	14.83	6.4	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	12.5
28	25.79	14.7	10.9	16.7
30	30.13	18.4	15.1	22.4
32	35.47	23.2	20.8	30.2
34	42.14	29.4	28.7	41.0
36	50.55	37.7	40.0	56.2
38	61.31	48.9	56.1	77.9
40	75.25	64.1	79.4	109.3
45	133.73	134.7	200.5	271.3
50	266.50	318.5	567.4	761.3

2.6. Literatürde Önerilen Diğer Taşıma Gücü Yaklaşımları

Uzuner (1975) tarafından yapılan çalışmalarda merkezi yüklemeye göre eksantrik yükleme halinde taşıma gücünün azalacağı deneylerle ifade edilmiştir. Buna göre eksantrik yüklü temel aynı temelin merkezi hali için daha az yük taşımaktadır. Bu yöntemde merkezi ve eksantrik yükleme durumunda temelin nihai taşıma kapasitesine ait model örnekleri Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir.



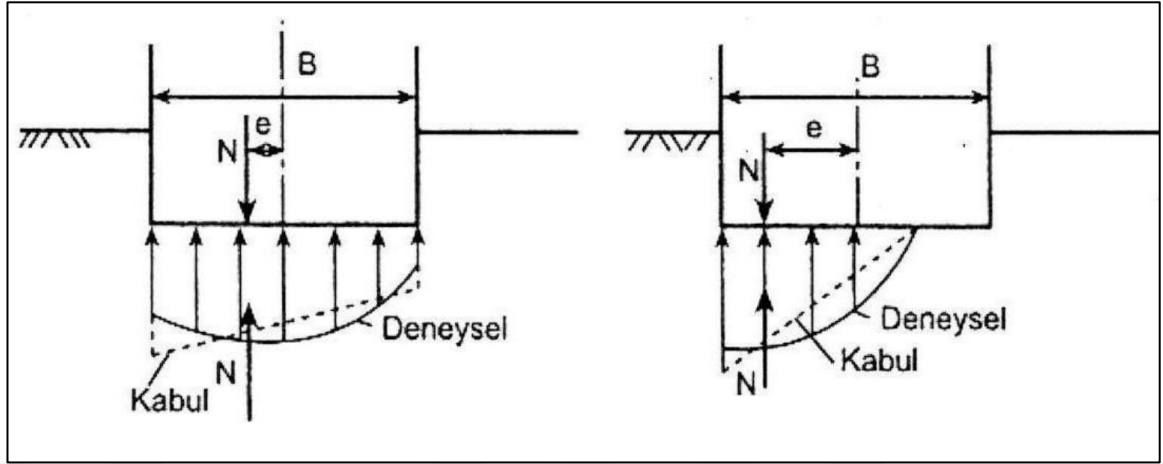
Şekil 2.11. Merkezi taşıma kapasitesi teorisi model örneği



Şekil 2.12. Eksantrik yüklü temelde taşıma kapasitesi teorisi

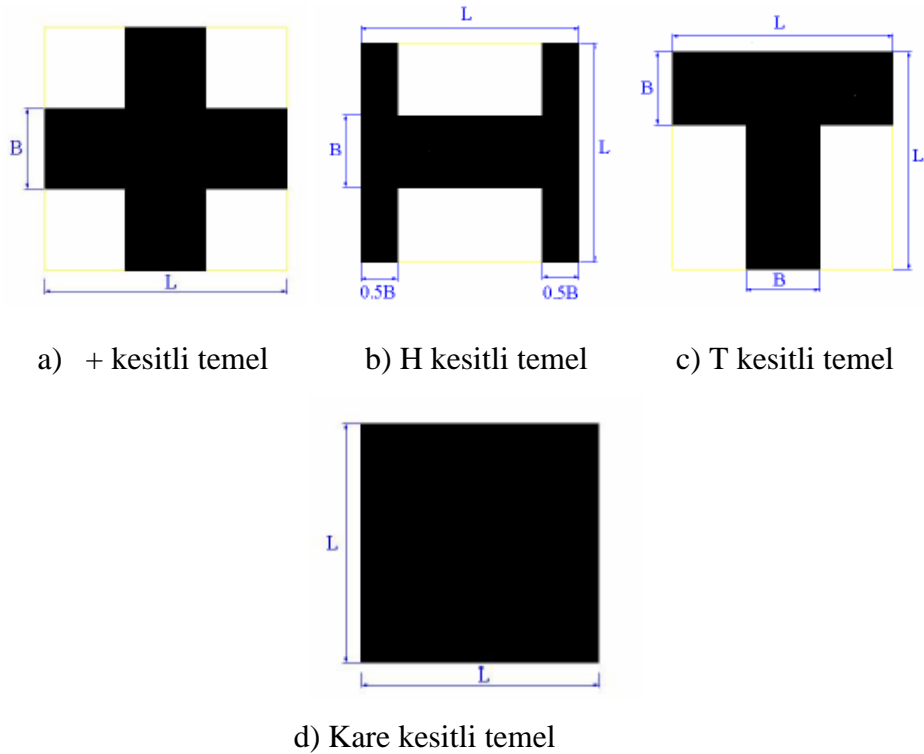
Eksantrik yüklü bir temelde tipik basınç dağılımı Şekil 2.13’te verilmiştir. Buna göre merkezi yüklü temelin her iki tarafında kırılma yüzeyi meydana gelirken eksantrik

yüklü temelin aşağıda olduğu gibi sadece eksantrikliğin olduğu kısımda kırılma yüzeyi meydana gelmektedir. Eksantrisite arttıkça nihai taşıma gücü azalmaktadır.



Şekil 2.13. Eksantrik yüklü temelde tipik basınç dağılımı

Ghazavi ve Mokhtari (2008) tarafından kum zemine oturan çeşitli geometrideki yüzeysel temellerin taşıma gücünü incelenmiştir. Deneylerinde + kesitli, kare kesitli, T kesitli, H kesitli model temeller üzerine yük uygulanmış, taşıma gücü analizleri üç boyutlu FLAC 3D sayısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde kullanılan model temeller Şekil 2.14 ve Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

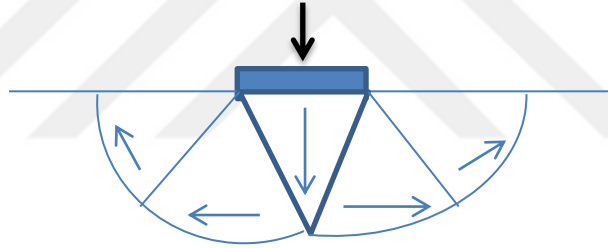


Şekil 2.14. Ghazavi ve Mokhtari (2008) tarafından kullanılan temel model çeşitleri

Çizelge 2.2. Deneysel olarak kullanılan model temel ölçüleri (Ghazavi ve Mokhtari, 2008)

Temel çeşidi	B (cm)	L (cm)	Alan (cm ²)
+ kesitli temel	3	12	63
H kesitli temel	4	12	80
T kesitli temel	5	12	95
Kare kesitli temel	6	12	108

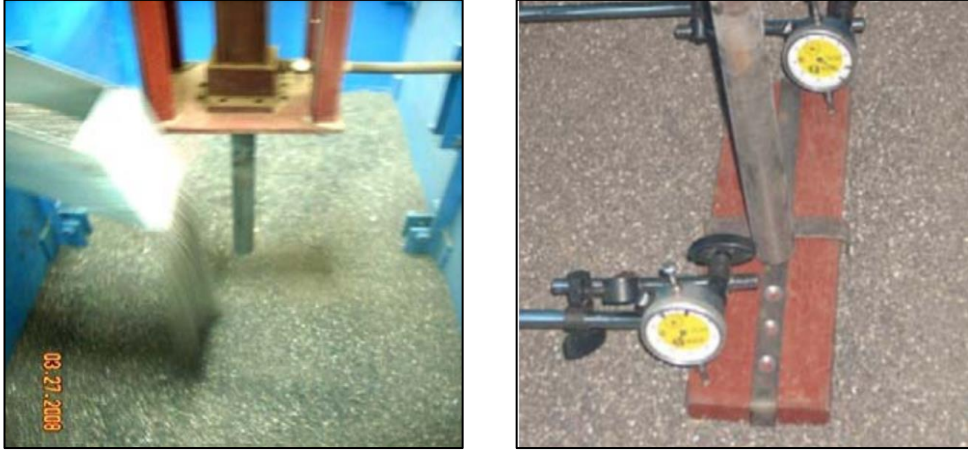
Deney sonuçlarına göre Şekil 2.15'deki gibi bir yüzeysel temele yük uygulandığında temelin her bölümünde kesme bölgeleri oluşmaktadır. Bununla birlikte bu bölümler birbirine pasif kuvvet uyguladığından, zeminin direncinin artacağı ifade edilmiştir. Aynı zamanda temel altındaki makaslama bölgeleri de gösterilmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Temel altındaki makaslama bölgeleri

Ghazavi ve Mokhtari (2008) tarafından çok kenarlı temeller üzerindeki sayısal analiz sonuçları aynı alana sahip kare temeller üzerinde yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve çok kenarlı temellerin nihai taşıma kapasitesinin aynı genişlikteki kare temellere göre genellikle daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Nawghare ve ark. (2010) tarafından kum zemine oturan eksantrik yüklemeye maruz temellerin taşıma kapasitesi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak farklı geometrilere temeller kullanılmıştır. İlk olarak merkezi yükleme, ardından eksantrik yüklemeler yapılarak taşıma kapasitesi incelenmiştir. Merkezi ve eksantrik yükleme halinde model temellerin taşıma kapasitesi ve oturmalar karşılaştırılmıştır (Şekil 2.16).

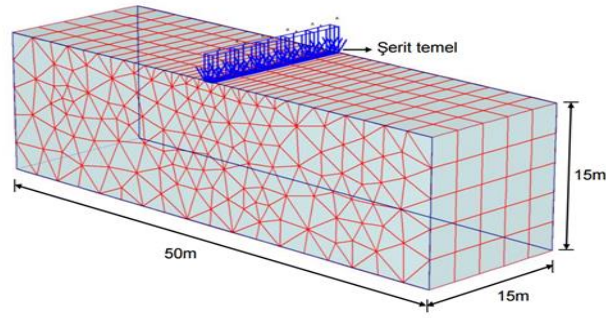


Şekil 2.16. Deney düzeneğinin hazırlanması

Deneylerde 30cm düşme yüksekliğinde tutulan 20kN taşıma kapasiteli hidrolik krika ve kuru kum zemin kullanılmıştır. Eksantrisite için 2cm aralıklı metal şerit ve üstünde gösterge ile temel yatağına yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinin hazırlanmasından sonra $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 'den başlayarak artan yükleme değerlerinde deneyler tekrarlanmıştır. Merkezi ve eksantrik yükleme için dikdörtgen ve kare model temellerde sonuçlar kıyaslanmıştır.

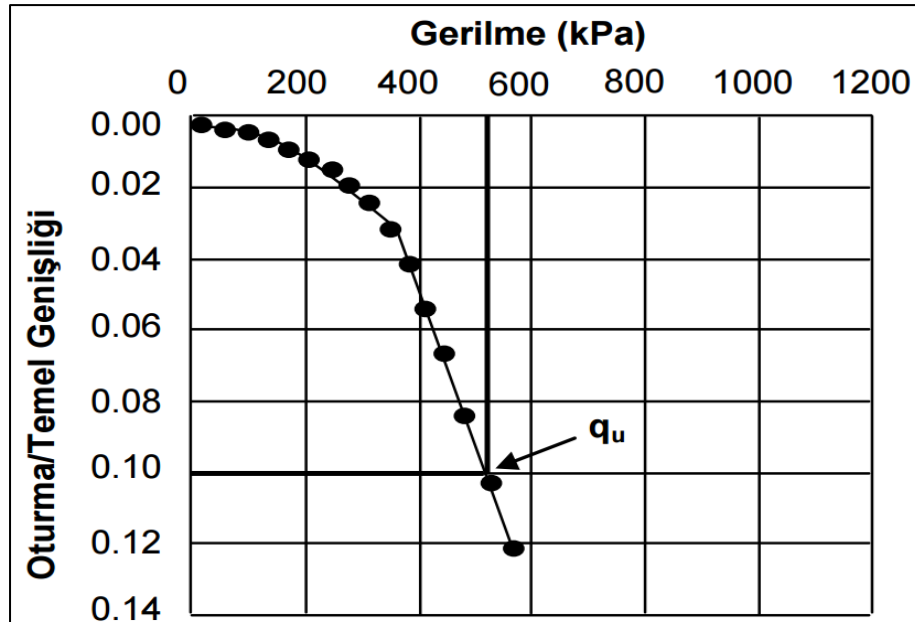
Yapılan deneyler sonucunda dikdörtgen temelde temel boyutları arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Bununla beraber eksantrik yükleme halinde eksantrisite arttıkça merkezi yüklemeye göre taşıma kapasitesinin azaldığı ve oturmanın da arttığı tespit edilmiştir.

Kum zemine oturan şerit temellerin taşıma gücü Keskin ve Laman (2012) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmalarda Plaxis 3D bilgisayar programı ve Terzaghi yöntemi kullanılmıştır. Kum zemine oturan şerit temellerin sayısal analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.17). Zemin ortamı, 15 düğümlü üçgen elemanlarla ve Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Modelde kullanılan parametreler; kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (Φ), dilatasyon açısı (ψ), poisson oranı (ν), elastisite modülü (E), toprak basıncı katsayısı (K_0), göçme oranı (R_f)'tir.



Şekil 2.17. Sonlu elemanlar ağı ve model geometrisi (Keskin ve Laman, 2012)

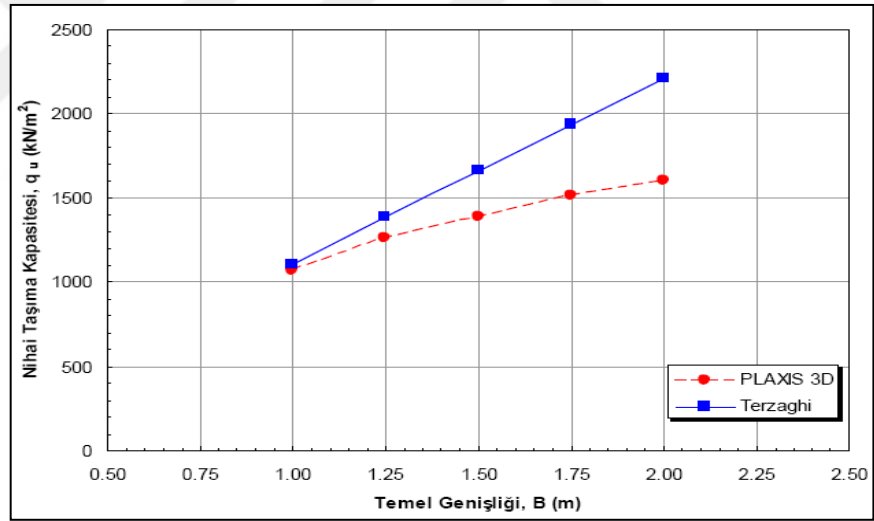
Sayısal analizlerde farklı temel genişlikleri ($B=1.00-1.25-1.50-1.75-2.00m$) kullanılarak farklı temel genişliklerinin taşıma gücü (q_u) ve taşıma gücü katsayısına N_r etkisi incelenmiştir. Malzeme özellikleri, $EI=8500 \text{ kNm}^2/m$ ve $EA=5 \times 10^6 \text{ kN/m}$ kabul edilmiştir. Analizlerde farklı genişliklerdeki model temeller üniform olarak yüklenmiştir. Sonlu elemanlar ağı orta sıklıkta oluşturulmuş, ayrıca temel altında ağ sıklaştırması yapılarak daha hassas çözüm elde edilmiştir. Sınır koşulları olarak programda mevcut standart sınır koşulları uygulanmıştır. Nihai taşıma kapasitesi, q_u Temel genişliğinin %10'una karşılık gelen ($0.1B$) gerilme değeri olarak belirlenmiştir. Analizlerde elde edilen tipik bir taban basıncı (q) - oturma (s/B) eğrisi Şekil 2.18'de verilmiştir.



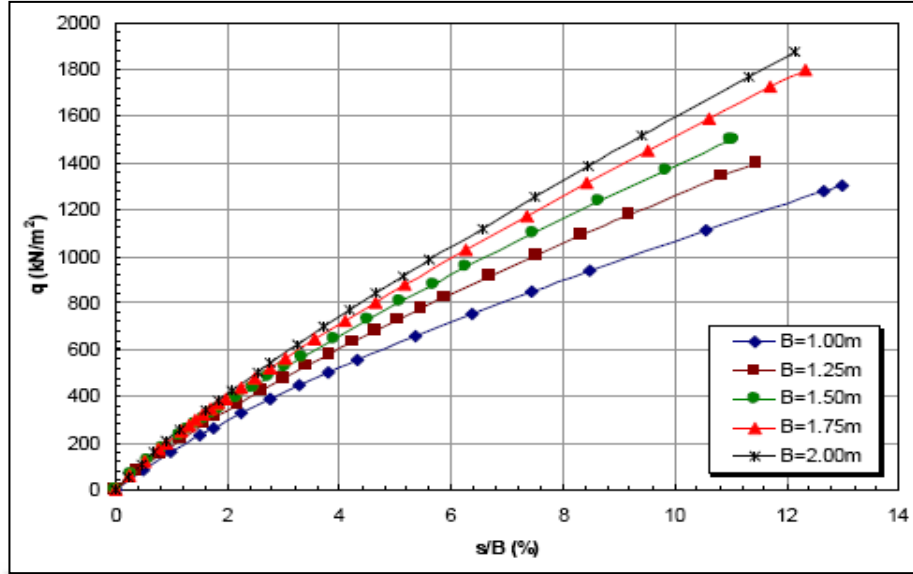
Şekil 2.18. 0.1 B yöntemi

Analizlerin sonucunda Şekil 2.18’de görüldüğü gibi temel genişliğinin artmasıyla taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Terzaghi yöntemiyle elde edilen sonuçlar incelendiğinde q_u değerlerinin temel genişliğinin artmasıyla lineer biçimde arttığı, sayısal analizlerde elde edilen q_u değerlerindeki artışın ise daha az olduğu görülmektedir (Şekil 2.19).

Farklı temel genişlikleri için taban basıncı-oturma eğrileri Şekil 2.20’de yer almaktadır. Burada temel genişliği değeri 1m’den 2m’ye çıkarıldığında, Terzaghi yöntemiyle elde edilen nihai taşıma kapasitesi değerinin 1106 kN/m²’den 2213 kN/m²’ye çıktığı görülmektedir. Nihai taşıma kapasitesi değerleri Çizelge 2.3’te detaylı olarak yer almaktadır. Sayısal analizlerden elde edilen q_u değerleri ise 1064 kN/m²’den 1599 kN/m²’ye çıkmakta yani yaklaşık %50 oranında artmaktadır. Ayrıca, Terzaghi yöntemiyle elde edilen değerlerin sayısal analizlerden elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu ve temel genişliği arttıkça aradaki farkın daha da arttığı görülmektedir.



Şekil 2.19. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik q_u değerleri (Keskin ve Laman, 2012)

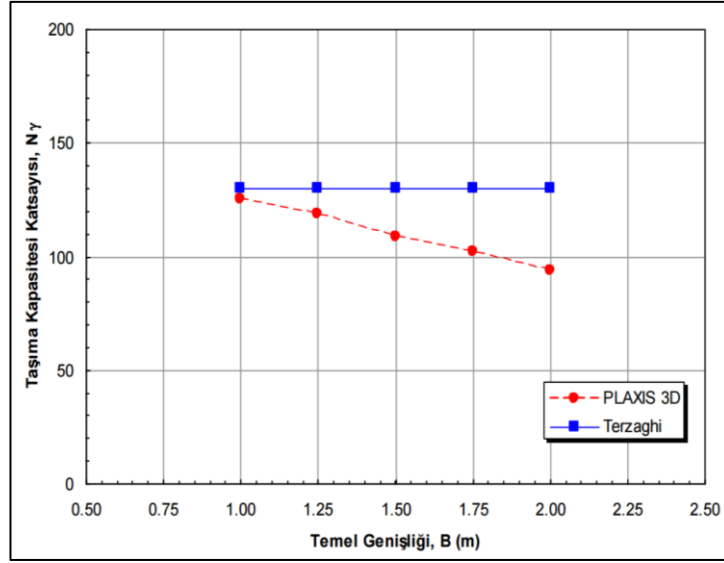


Şekil 2.20. Farklı temel genişlikleri için taban basıncı – oturma eğrileri (Keskin ve Laman, 2012)

Çizelge 2.3. Farklı temel genişlikleri için teorik ve sayısal q_u değerleri

Temel genişliği B (m)	$q_u(kN/m^2)$	
	Plaxis	Terzaghi
1	1064	1106
1.25	1258	1383
1.5	1387	1660
1.75	1515	1936
2	1599	2213

Şekil 2.21’de sayısal ve teorik nihai taşıma gücü kapasitesi faktörü değerleri görülmektedir. Terzaghi yöntemiyle elde edilen taşıma kapasitesi faktörü N_γ değerleri tüm temel genişlikleri için sabit kalmakta, yani temel boyutu değişiminin N_γ üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Bu durum Terzaghi yöntemine göre sabit bir içsel sürtünme değeri için N_γ değerinin sabit kalmasıyla açıklanabilmektedir. Sayısal analiz sonuçları, temel genişliğinin artmasıyla şerit temelin taşıma kapasitesinin arttığını, taşıma kapasitesi katsayısının ise azaldığını göstermiştir. Temel genişliği değerlerinin %25, %50, %75 ve %100 artması durumunda N_γ değerleri sırasıyla yaklaşık %5, %15, %20 ve %25 oranlarında azalmaktadır.



şekil 2.21. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik N_γ değerleri (Keskin ve Laman, 2012)

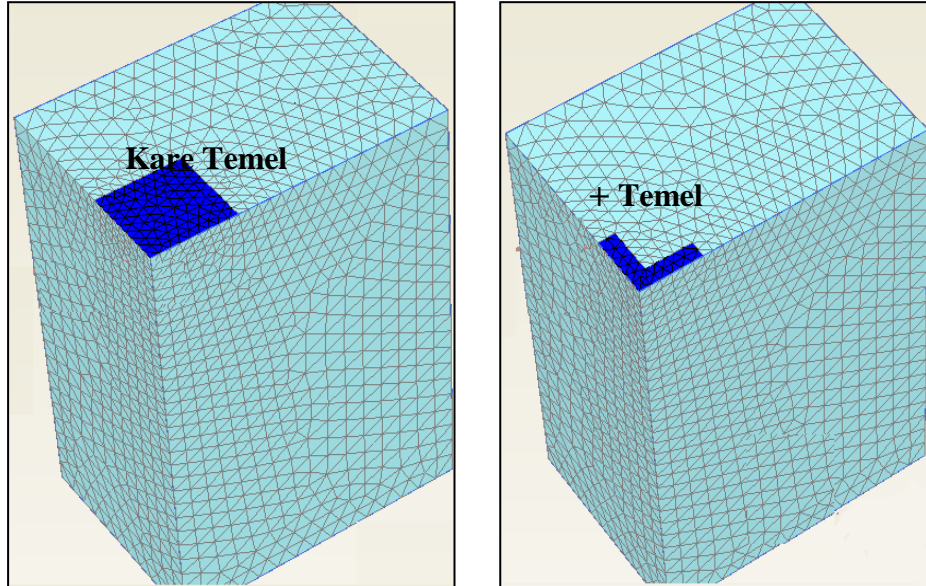
Kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin davranışı Kılıçel (2014) tarafından incelenmiştir. Yapılan analizlerde Plaxis 3D bilgisayar programı kullanılmıştır. Kum zemin davranışının modellenmesinde Pekleşen Zemin Modeli (HS) seçilerek laboratuvar ortamında yapılan deneyler modellenmeye çalışılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler kare temellerin taşıma gücü kapasitesiyle kıyaslanmıştır.

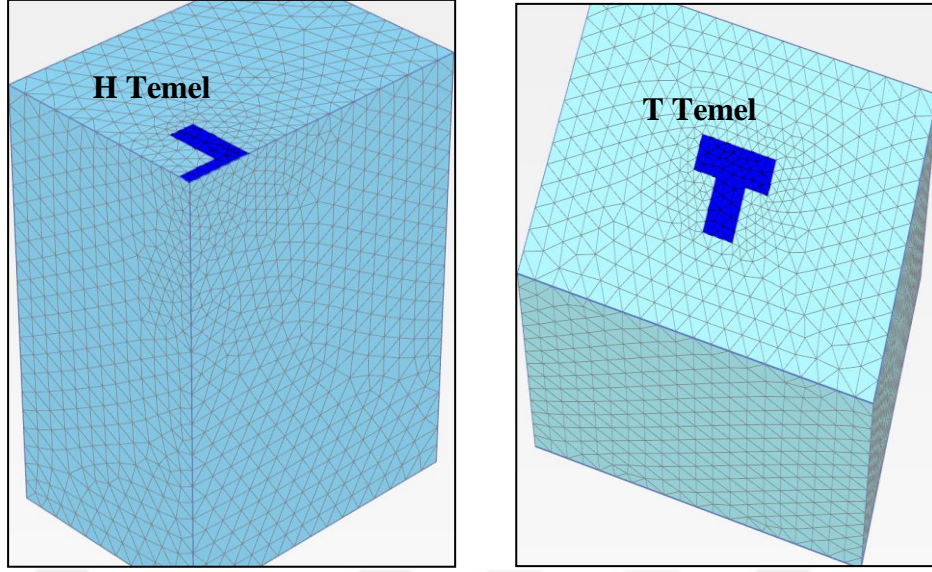
Bu çalışmada gevşek ve sıkı zemine oturan farklı geometriye sahip çok kenarlı temeller (H, T, +, kare) temellerin taşıma gücü, oturma ve gerilme davranışı analiz edilmiştir. Analizlerin doğruluğunu ve geçerliliğini belirlemek amacıyla Davarcı (2013) tarafından İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnaşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmış olan deneyler modellenmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan zemine ait değerler izelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Kum zemin için model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m ³	15.44
Üç eksenli yükleme rijitliği	E ₅₀	kN/m ²	10000
Üç eksenli yükleme boşaltma rijitliği	E _{ur}	kN/m ²	10000
Ödometre yükleme rijitliği	E _{oed}	kN/m ²	24000
Kohezyon	c	kN/m ²	1.0x10 ⁻⁵
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	36.500
Poisson oranı	ν	-	0.200
Zemin basınç katsayısı	K _o	-	0.412

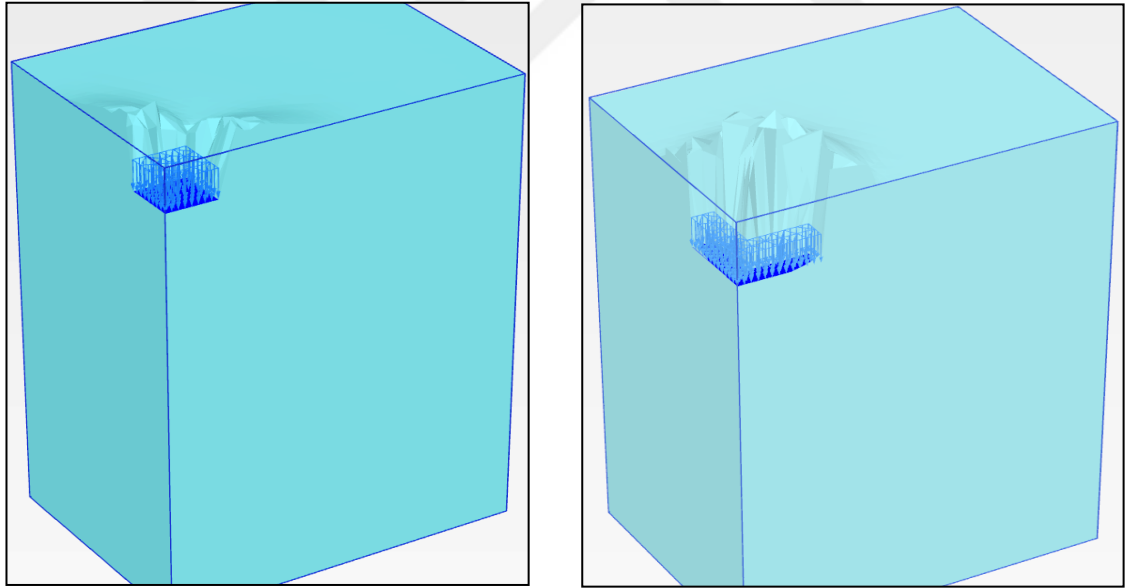
Deneylerde kullanılan temel modeller simetrik olduğundan dolayı analiz süresini kısaltmak için kare, H ve + temellerin 1/4'ü, T temellerin ise tamamı modellenmiştir (Şekil 2.22). Kullanılan temel modelinin elastisite modülü E=21x10⁷ dir.





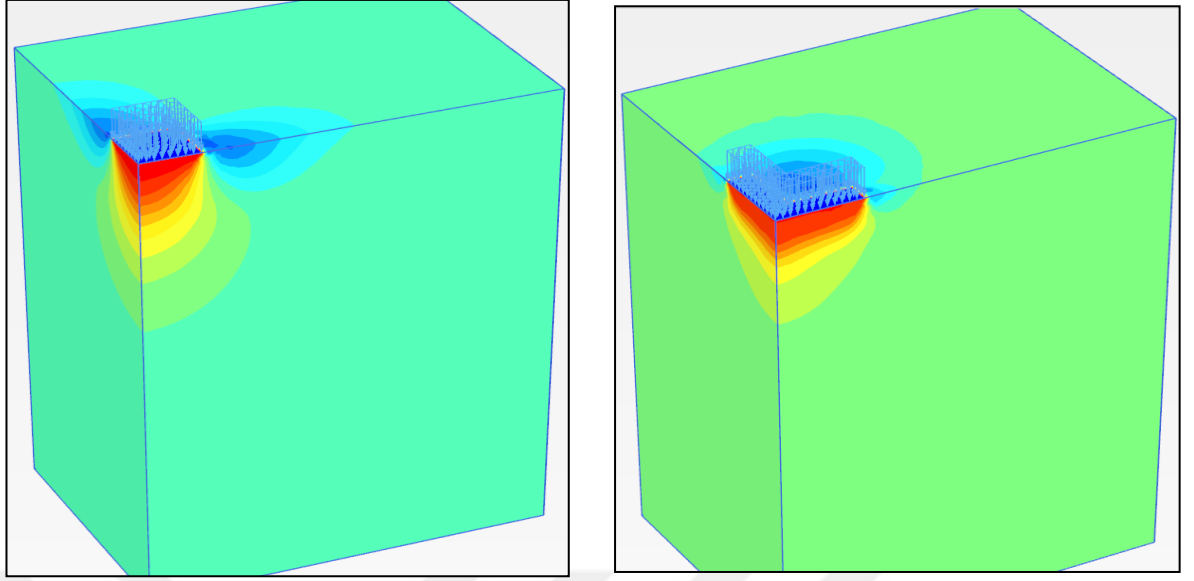
Şekil 2.22. Model temellere ait zemin ortamının sonlu elemanlara bölünmesi

Sayısal analizlerde yükleme sonucu oluşan deformasyonlar aşağıda görülmektedir (Şekil 2.23).



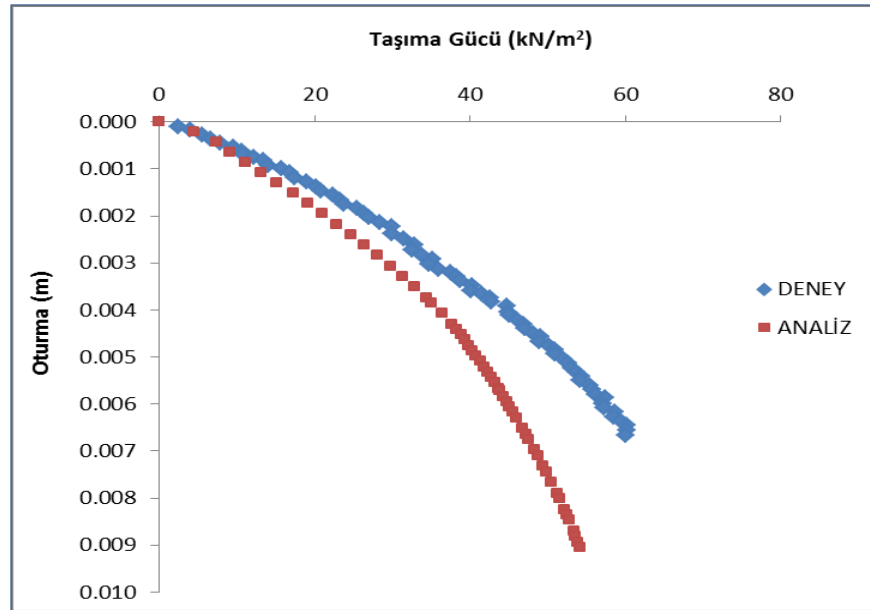
Şekil 2.23. Yükleme sonucunda zeminde oluşan deformasyon görünümleri

Analizler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada zemin ağırlığından dolayı oluşan başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş, ikinci aşamada ise temel plakası ve yük aktif hale getirilerek plastik çözüm yapılmıştır. Şekil 2.24'te meydana gelen oturmalar gösterilmektedir.

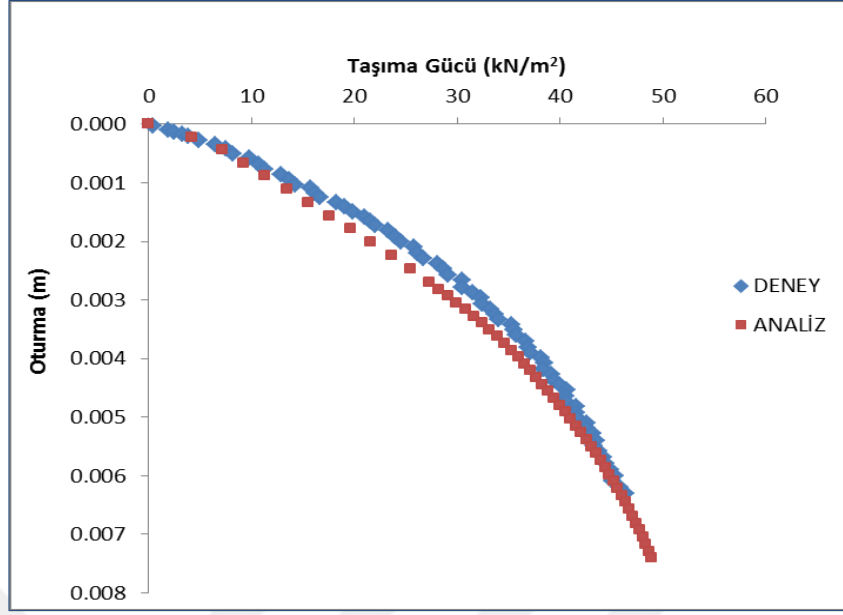


Şekil 2.24. Oturma dağılımları

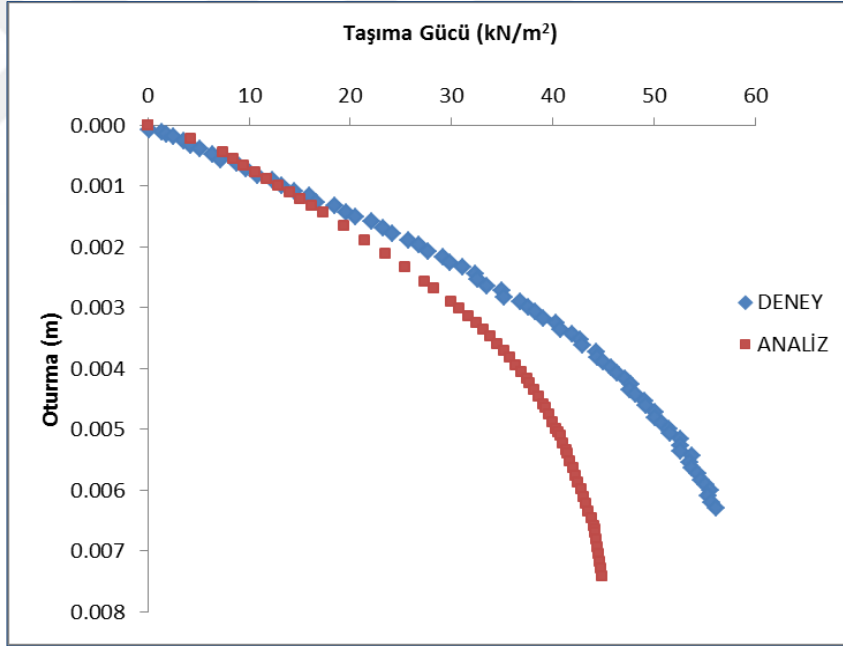
Kılıçel (2014) tarafından, Plaxis 3D Foundation bilgisayar programı kullanılarak çok kenarlı model temeller için elde edilen sayısal sonuçlar, Davarcı (2013) tarafından yapılan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Gevşek kum zeminde farklı geometriye sahip model temellere ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.25 ve Şekil 2.28 arasındaki grafiklerde gösterilmektedir.



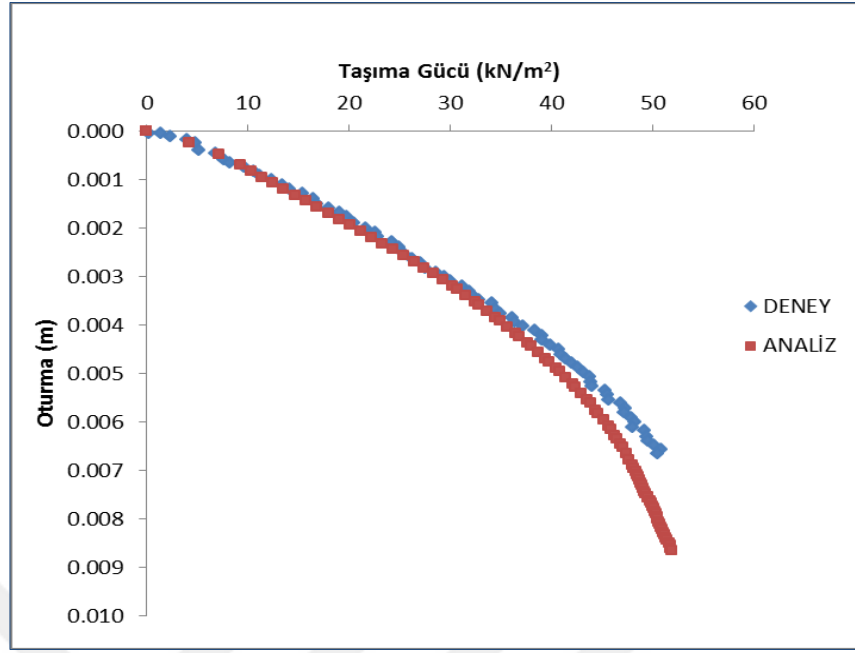
Şekil 2.25. Kare temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 2.26. (+) temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması



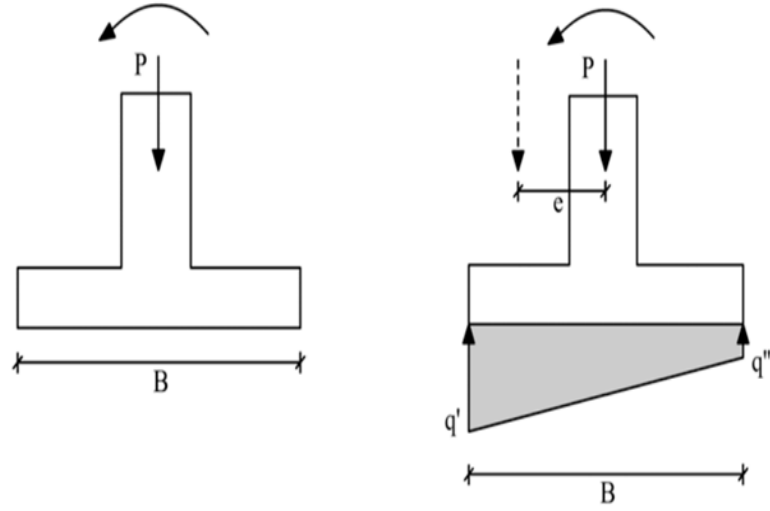
Şekil 2.27. H temele ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 2.28. T temeale ait deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması

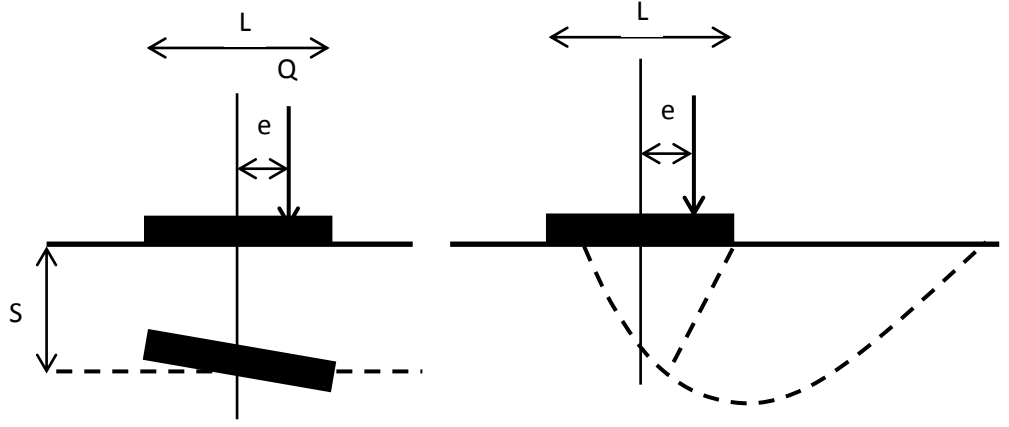
Yapılan tüm kıyaslamalarda; deney ve sayısal analiz sonuçlarına ait eğrilerin birbirleriyle uyumlu oldukları ve zemin davranışının benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Binalarda mimari özellikler ve deprem, rüzgar yükü vb dış etkenler sebebiyle yapıdan temele sadece eksenel düşey yük aktarılmamaktadır. Düşey yük, yatay yük ve moment etkileri yapılarda temellere ‘eksantriklik’ denilen yükleme koşullarını ortaya çıkarmaktadır. Bu yüklerin hesaplamalarını elle yapmak mümkün değildir. Çözümlerde genelde sonlu elemanlar gibi sayısal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. T-kesitli temelerde yatay yönün yanı sıra düşey ve yatay yönde çıkma olan diş veya topuk, eksantrik yük uygulandığında zeminin yanal deplasmanını karşılayarak taşıma gücünü artırma amaçlı uygulanmaktadır. Şekil 2.29’da eksantrik yük altındaki temel örneği gösterilmektedir.



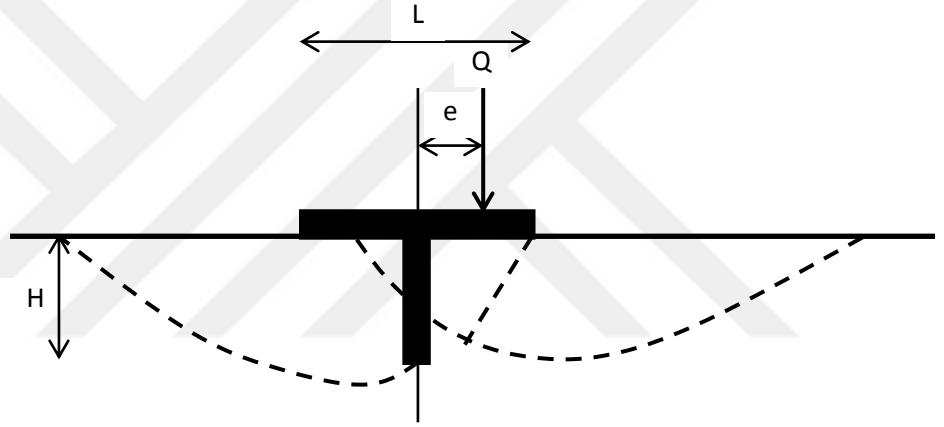
Şekil 2.29. Eksantrik yük etkisi altındaki temel

Kum zemin üzerine oturan T-kesitli yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi Kaya ve Örnek (2013) tarafından araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda eksantrik yükleme ve T-kesit yükleme durumlarında elde edilen oturma değişimleri ve göçme mekanizmaları incelenmiş ve temelin yükün uygulandığı tarafa doğru eğildiği ve zemindeki göçmenin, yükün uygulandığı tarafta olduğu gözlenmiştir. T-kesit ilavesiyle yükün uygulandığı taraftaki göçme yüzeyi derinliği azalmakta, T-kesitin arka tarafında ise ilave pasif bölgeleri oluşmaktadır. Bu ilave pasif basınç artışı taşıma gücünün de artmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda ilave edilen T-kesitin uzantısı arttıkça taşıma gücü de artmakta, kesit arkasında oluşan pasif bölge de genişlemektedir (Kaya ve Örnek, 2013). Elde edilen göçme mekanizmaları aşağıda verilmiştir (Şekil 2.30).

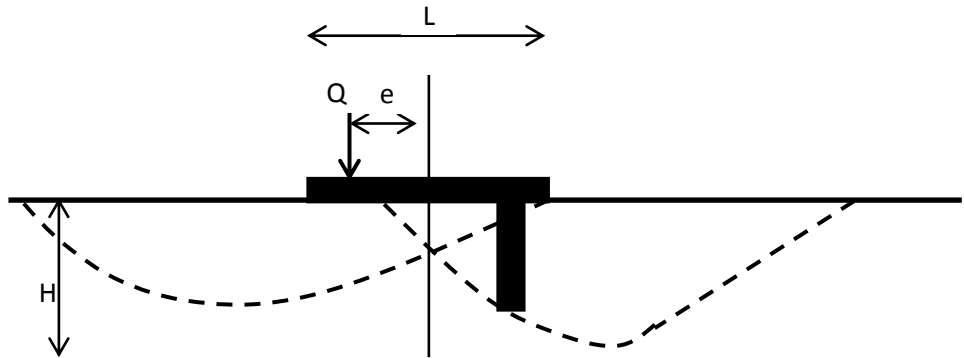


a) Eksantrik yükleme altında

b) Eksantrik yükleme altında göçme mekanizması



c) T-kesitli temelde eksantrik yükleme altında göçme mekanizması



d) T-kesitli temelde eksantrik yükleme altında göçme mekanizması

Şekil 2.30. Göçme mekanizmaları

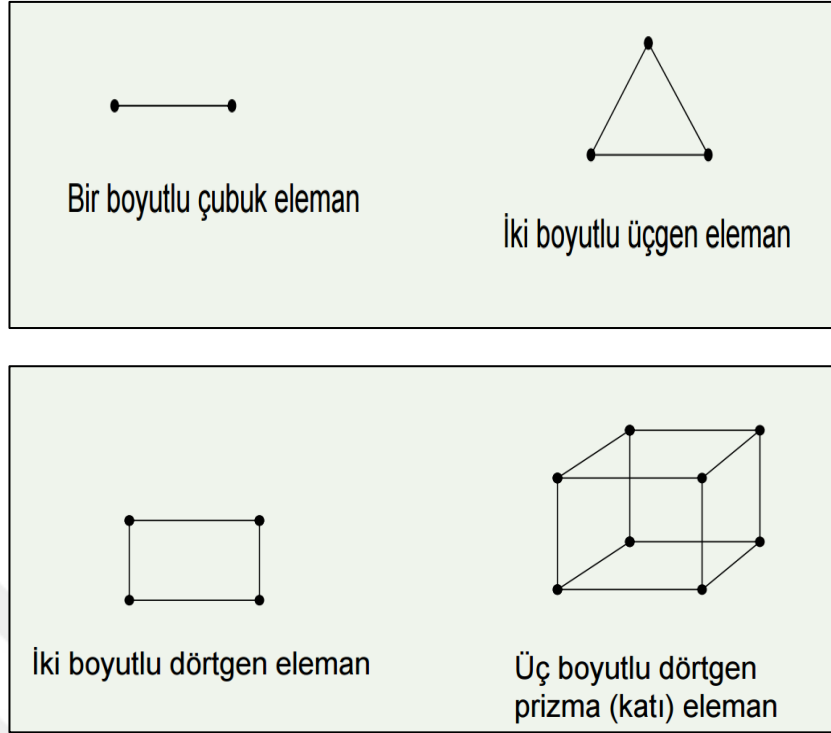
3. SAYISAL ANALİZ

Bu çalışmada, gevşek ve sıkı kum zemine oturan farklı eksantrisite ve farklı yüklemelere sahip T-kesitli temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları Plaxis sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Analizlerin doğruluğu ve tutarlılığını belirleyebilmek için Kaya ve Örnek (2013) tarafından İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmış olan deneyler modellenmiştir.

Kum zemine oturan bir şerit temel modeli oluşturularak iki boyutlu Plaxis 2D bilgisayar programı ve literatürdeki mevcut teorik yöntem (Terzaghi Yöntemi) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde, farklı sıklıkta zemin koşullarında farklı eksantrisite ve farklı açılarda yüklemelerle sayısal analizler yapılmıştır. Analizlerde Mohr-Coulomb teorisi esas alınmış ve drenajlı zemin koşullarında incelemeler yapılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde temel altında ağ sıklaştırması yapılarak daha hassas çözümler elde edilmiştir. Sınır koşulları olarak deneyde kullanılan mevcut sınır koşulları uygulanmıştır.

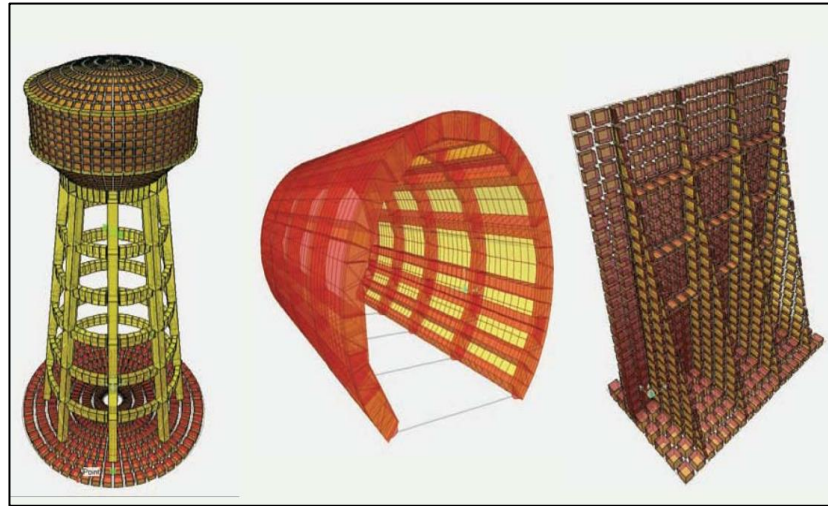
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi kısaca, analitik olarak hesaplanması zor, karmaşık problemlerin belirli kabuller yapılarak sayısal yöntemler ile çözülmesidir. Pek çok mühendislik problemi sonlu elemanlar yöntemiyle rahatlıkla çözülebilmektedir. Bu yöntemde ilk adım problemi sonlu elemanlar olarak adlandırılan küçük alt yapılara ayırmaktır. Bu işlem, ağ yapısı örme olarak adlandırılmaktadır. Ağ yapısı düğüm noktaları ve bunları birleştiren elemanlardan oluşmaktadır. Problem çözümünde hesaplanmak istenen büyüklük, düğüm noktalarındaki değerler kullanılarak interpolasyon yöntemiyle elde edilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlar bir boyutlu çizgisel elemanlar, iki boyutlu kabuk elemanlar ve üç boyutlu katı elemanlar olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Sonlu eleman yönteminde çizgisel elemanlar

Şekil 3.2’de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılabilen modellemeler sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Sonlu eleman yönteminde modelleme örnekleri

Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemler içerisinde önemi gittikçe artan ve mühendisler tarafından her geçen gün daha yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yönteminin statik analiz, akışkanlar mekaniği, ısı transferi,

elektromanyetik analiz ve akustik gibi pek çok fiziksel olayın çözümünde uygulama alanı bulması ve bilgisayara uyarlanabilir kolay bir algoritmaya sahip olması problem çözümünde yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilecek analizlerden bazıları aşağıda yer almaktadır.

- Yapısal Analizler
- Mukavemet Analizleri
- Titreşim Analizleri
- Dinamik ve Şok Dayanım Analizleri
- Çarpışma Testleri
- Mekanizma Simülasyonları
- Isıl Analizler
- Yorulma Analizleri
- Burkulma Analizleri
- Tek Fazlı Akım Analizleri
- Çift Fazlı Akım Analizleri
- Potansiyel Akım Analizleri
- Akışkan-Yapı Etkileşimi
- Hidroelastik Titreşim Analizleri
- Akışkan İçinde Katı Dinamiği
- Sualtı Patlama (UNDEX) Analizleri

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizlerdeki işlem adımları aşağıda sıralanmaktadır.

İlk İşlem Adımı: İlk aşamada, analizi yapılacak geometrik yapı ele alınarak modelde gerekli sadeleştirmeler yapılmaktadır. Geometrik model üzerinden, incelenmek istenmeyen veya sonuçlara daha az etkisi olacak parçalar çıkartılmakta ve yapılan bu sadeleştirme işleminin ardından kullanılacak eleman tipi seçilerek ağ yapısı oluşturulmaktadır. Daha sonra da geometrik özellikleri (kalınlık, uzunluk, atalet momenti vb.), malzeme özellikleri ve sınır koşulları tanımlanmaktadır.

Çözüm Adımı: Bu adımda düğüm noktasındaki değerler ve ardından elemanlardaki sonuçlar hesaplanmakta ve gerilme deformasyon kuvvet gibi bağıntılar çıkartılmaktadır.

Son Adım: Bu adımda sonuçlar incelenmektedir.

Ağ (mesh) oluşturma işleminde, düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturulmaktadır. Sonlu elemanlar analizinde oluşturulan ağ yapısı, analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Burada önemli olan, geometriyi olabildiğince temsil edebilecek bir ağ yapısının seçilmesidir. Ağ oluşturmada modeller sonlu sayıda elemanlara bölünmekte ve ardından cismin nereden sabitlendiği ve kuvvetin nereden uygulandığını gösteren sınır şartları belirlenmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi yaklaşık çözümler üreten bir metottur. Eleman sayısı arttırılarak, eleman tipi değiştirilerek, ağ üretim yöntemi değiştirilerek veya ağ üzerinde özel veriler girilerek çözüm tekrarlanabilmektedir. Böylece sonuçlar arasındaki fark ta rahatlıkla gözlenebilmektedir. Yöntemin uygulanması günümüzde hazır paket programlar sayesinde de mümkün olabilmektedir. Bu tez kapsamında bir sayısal analiz programı olan Plaxis 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) paket programı kullanılmıştır.

4. PLAXIS SAYISAL ANALİZ PROGRAMI

Mühendislik problemlerinin çözümünde, diferansiyel denklem takımlarıyla tanımlanabilen fiziksel problemleri cebrik denklem takımlarına dönüştürerek çözen sonlu elemanlar yöntemi son yıllarda yaygın bir sayısal analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Plaxis, geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar yazılımıdır.

Plaxis sayısal analiz programı, 1987 yılında Hollanda'nın Delft Teknik Üniversitesi'nde geliştirilmiş, geoteknik mühendisliği projelerindeki karmaşık problemleri sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çözebilmeye yarayan, deformasyon

analizleri, stabilite analizleri, dinamik analizler, zamana bağılı davranış analizleri yapan ve yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi modelleyen bir sayısal analiz programıdır.

Tez kapsamında kullanılan bu paket program 4 uygulama kısmından oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; i) input: Tüm geometrik girişlerin yapılıp, sisteme ait parametrelerin verildiği kısım; ii) calculations: Hesap yöntemi ile ilgili parametrelerin girildiği ve analizin başlatıldığı kısım, iii) output: Analiz sonucu sistemdeki deformasyon, gerilme vb. bilgilerin grafiksel olarak görüntülediği kısım ve iv) curves: Çözümlenen sistemden çeşitli eğrilerin elde edilebileceği kısımdır.

Programda ilk olarak input kısmında New project seçilerek yeni bir projeye başlanmaktadır. General settings (Genel ayarlar) penceresinden Project ve Dimension ile ölçülendirme ayarları yapılabilmektedir. Malzeme özelliklerini tanımlamak için Material Sets arayüzünde yer alan Soil&Interfaces penceresi kullanılmaktadır. Veri girişleri yapıldıktan sonra analiz kısmına geçilmektedir.

Analizin yapılmasını sağlayan öğeler; noktalar, çizgiler, elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktalarıdır. Bir modeldeki hücre ve çizgilerle oluşturulan bir sonlu eleman ağının içindeki elemanlar, gerilme noktaları ve düğüm noktalarından oluşmaktadır. Program sonucunu etkilememesi için seçilen modelin sınırları olabildiğince geniş olmalıdır.

4.1. Zemin Modelleri

Sayısal analizlerde yaygın olarak kullanılan zemin modelleri Lineer Elastik Zemin Modeli, Mohr-Coulomb Zemin Modeli, Pekleşen Zemin Modeli ve Yumuşak Zemin Modelleridir.

Lineer elastik zemin modelinde, zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve zeminin izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilmektedir. Zemini tanımlamak için elastisite modülü, E ve poisson oranı, μ değerleri kullanılmaktadır. Bu model, kaya gibi rijit ve büyük zemin kütlelerini modellemek için daha elverişlidir (Demir, 2006).

Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli'nde zeminin, elastisite modülü, E, poisson oranı, ν , kohezyonu, c, sürtünme açısı, ϕ , ve dilatasyon açısı gibi 5 ayrı parametre kullanılmaktadır. Zemin rijitliği için kullanılan E parametresi, tüm zemin tabakaları için

sabittir. Hesaplamaların daha hızlı yapılabilmesi sebebiyle zeminde oluşabilecek deformasyonlar hakkında ilk izlenimleri elde etmek için kullanılmaktadır. Bu model elastoplastik bir zemin modelidir.

Pekleşen Zemin Modeli'nde farklı tipteki zemin davranışını modellemekte kullanılan bir zemin modelidir. MC modelinde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon, sürtünme açısı ve dilatasyon açısı ile sınırlandırılmıştır. HS modele göre zemin rijitliği basınçla birlikte artmaktadır (Yıldız, 2005).

Yumuşak Zemin Sünme (SSC) Modeli genellikle yumuşak zeminlerde kullanılmaktadır. Zemin mekaniğinde normal konsolide killer, killi siltler ve turba zeminler yumuşak zemin olarak kabul edilmektedir. Bu tür zeminler, yüksek mertebedeki sıkışabilirlik özelliğine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedirler. Pekleşen zemin modeli tüm zeminler için uygun bir model olmasına rağmen yumuşak zeminlerdeki büzülme ve gerilme gevşemesi gibi viskoz etkiler ile normal konsolide killerde gözlenen zamana bağlı sıkışma davranışını dikkate almamaktadır. Bu nedenle, bu tür zeminlerde SSC modeli kullanılmaktadır. Yumuşak Zemin Sünme modeli denilen bu modelde, temel ve dolgulardaki zamana bağlı oturma problemleri ile tüneller ve derin kazı gibi zemindeki yük boşalması problemleri rahatlıkla modellenebilmektedir (Yıldız, 2005).

4.2.Sayısal Analiz Veri Girişleri

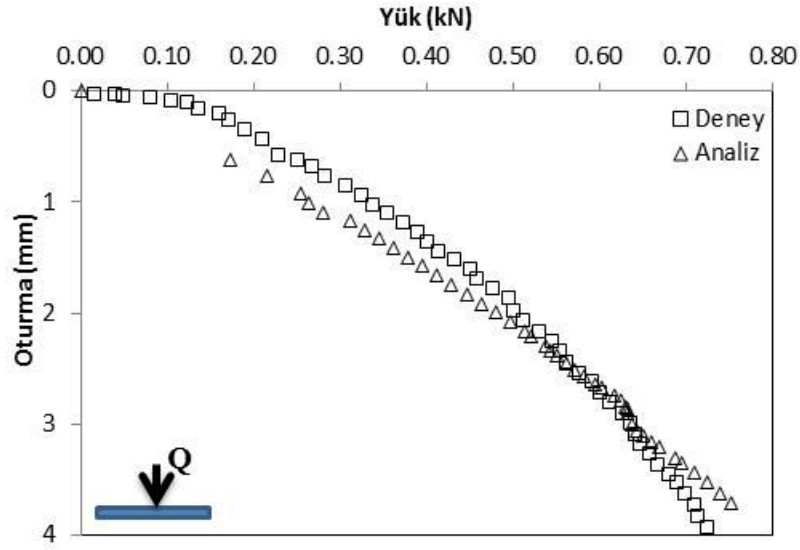
Sonlu elemanlar analizinde, Kaya (2013) tarafından sunulan deneysel veriler kullanılmış ve analizlerde, farklı geometrilerdeki T-kesitli temellerin, gevşek ve sıkı zeminlerde farklı yükleme koşullarında taşıma kapasitesi ve oturma karakteristikleri incelenmiştir. Programda model deneylerin yapıldığı kasa (70cm x 100cm x 100cm) (uzunluk, genişlik, derinlik) ebatlarında kullanılmıştır. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Deney ortamı sonlu elemanlara ayrılırken medium ağ modeli seçilmiştir. Analizlerde kum zeminin davranışı Mohr-Coulomb zemin modeliyle modellenmiştir. Plaxis programına veri girişinde deneyde kullanılan zemin parametreleri esas alınmıştır. İlk aşamada T-kesitli yüzeysel temele gevşek ve sıkı zeminde Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılarak temele merkezi yük etki ettirilirken daha sonraki analizlerde de eksantrik yük yüklenmesi sonucu taşıma gücü değişimleri

analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan çeşitli mühendislik parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Gevşek zemin ortamında ve merkezi ile eksantrik yükleme koşullarında model temellere ait deney ve analiz sonuçları karşılaştırması Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

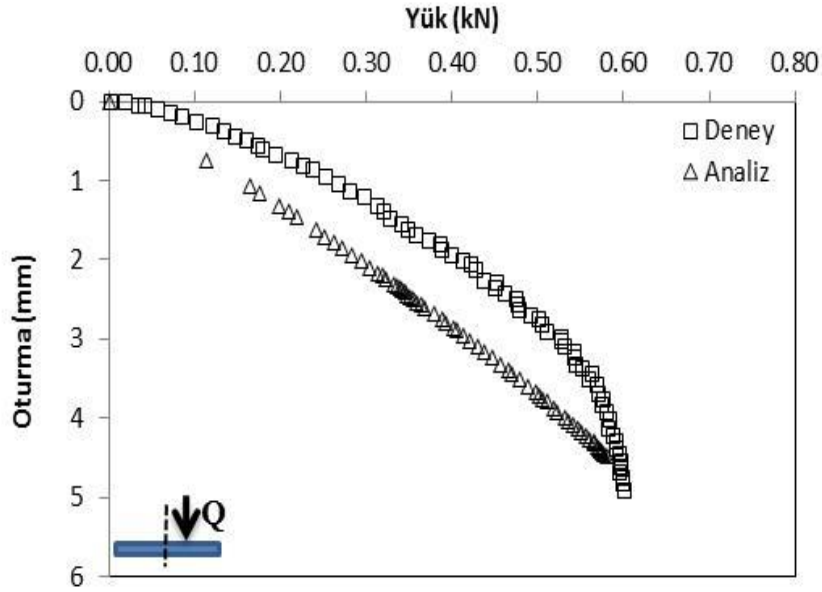
Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan kumun çeşitli mühendislik parametreleri

Özellik	Değer
Kaba dane miktarı (%)	0.00
Orta büyüklükteki dane miktarı (%)	65.00
İnce dane miktarı (%)	35.00
D10 (mm)	0.13
D30 (mm)	0.28
D60 (mm)	0.58
Üniformluk katsayısı, C_u	4.46
Derecelenme katsayısı, C_c	1.04
Özgül ağırlık	2.75
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m^3)	17.11
Minimum kuru birim ağırlığı (kN/m^3)	15.44
Deneyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m^3)	15.84
Kohezyon, c (kPa)	0.01
Kayma mukavemeti açısı, ϕ (derece)	38.00
Poisson oranı, ν	0.3
Elastisite modülü, E (kN/m^2)	1.3
Sınıfı (USCS)	SP

Sayısal analizlerde düzlem birim deformasyon (plane strain) koşulları esas alınmış ve çözümlenmeler drenajlı (drained) durum için yapılmıştır. Ağ sıklığı, çok sıkı(very fine) olarak seçilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan eleman sayısı 1000-1500 aralığında, düğüm sayısı da 500-600 aralığındadır.



Şekil 4.1. Gevşek kum zeminde merkezi yükleme etkisinde deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.2. Gevşek kum zeminde eksantrik yükleme etkisinde deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması

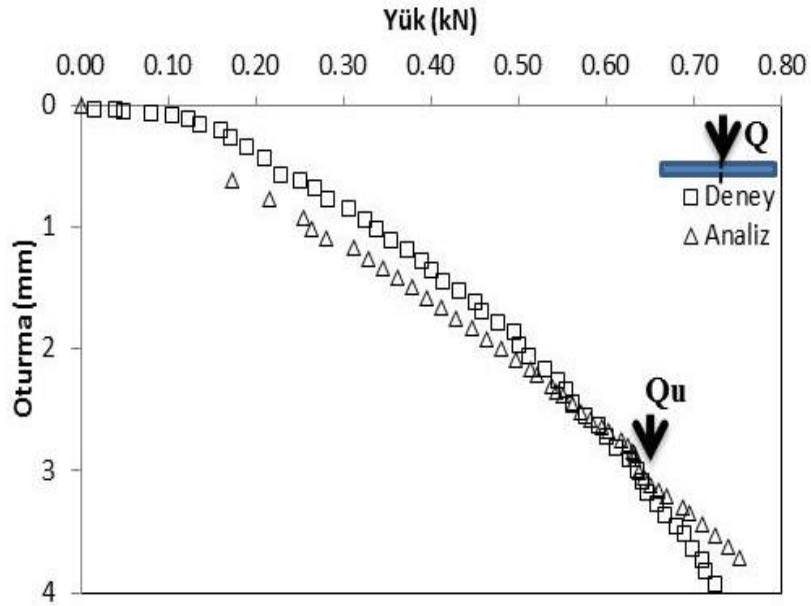
Yapılan karşılaştırmalarda, merkezi ve eksantrik yükleme ($e=0.2$) halinde deney ve sayısal analiz sonuçlarına ait eğrilerin birbirleriyle uyumlu oldukları ve zemin davranışının benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu uyumun sağlanmasının ardından parametreler değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Merkezi ve eksantrik yükleme altında diş etkisi ve topuk etkisi irdelenecektir.

4.3. Deney ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sayısal analizler dört seri halinde gerçekleştirilmiştir. Birinci seride şerit temelin gevşek ve sıkı zeminde merkezi ve eksantrik yük altında taşıma kapasitesi incelenmiştir. İkinci seride şerit temele dış eklenerek oluşturulan T-kesitli temelin gevşek ve sıkı zeminde merkezi ve eksantrik yük altında taşıma kapasitesi incelenmiştir. Üçüncü seride ise şerit temele dış ve topuk eklenerek elde edilen temelin merkezi ve eksantrik yük etkisi altında gevşek ve sıkı zeminde taşıma kapasitesi incelenmiştir. Dördüncü seride açı etkisi ele alınmış, belirli bir açıyla verilen yük altında gevşek ve sıkı zeminde temelin taşıma kapasitesi incelenmiştir. Grafikler aşağıda sırasıyla 1. Seri, 2. Seri, 3. Seri ve 4. Seri şeklinde verilmiştir.

4.3.1. SERİ 1- Şerit Temelde Eksantrisite Etkisi

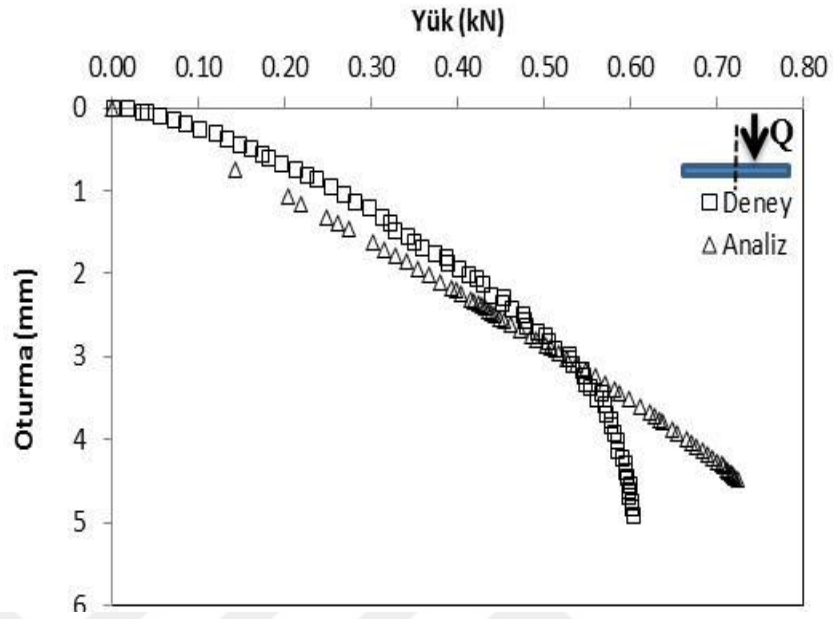
Şekil 4.3'te gevşek zeminde merkezi yük ($e/B=0.0$) etkisinde deney ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3. Seri I merkezi yükleme durumu

Merkezi yükleme durumunda deney ve analiz sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar gözlenmiştir. Deney ve analizlerde nihai taşıma kapasitesi yaklaşık 0.1 kN olup bu değere karşılık gelen oturma miktarı ise 4mm'dir.

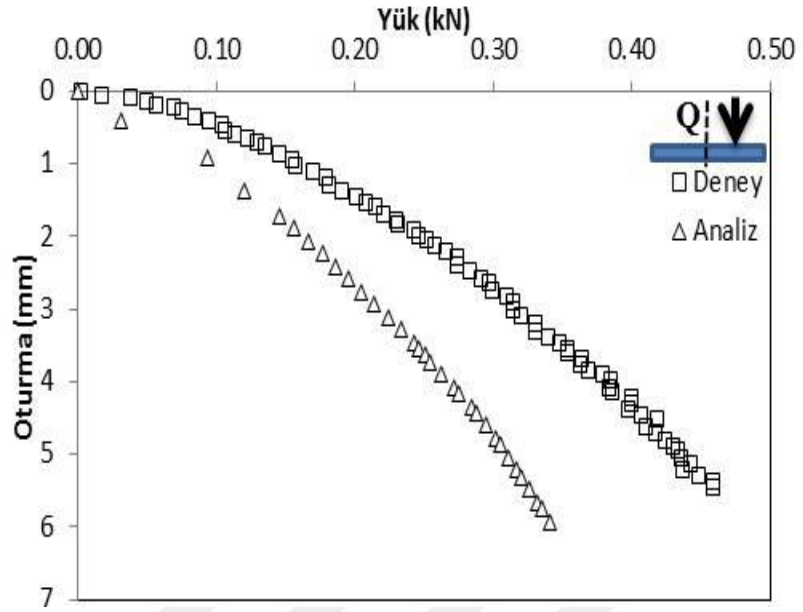
Gevşek zeminde eksantrik yük ($e/B=0.1$) etkisinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.4. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$)

Şekil 4.4 ele alındığında gevşek kum zeminde yüzeysel temele merkezinden 3cm uzaklıkta yük uygulandığında deney ve sayısal analiz sonuçlarında taşıma gücü değeri yaklaşık 0.6kN olurken oturma değeri de yaklaşık 5mm olarak gözlenmiştir.

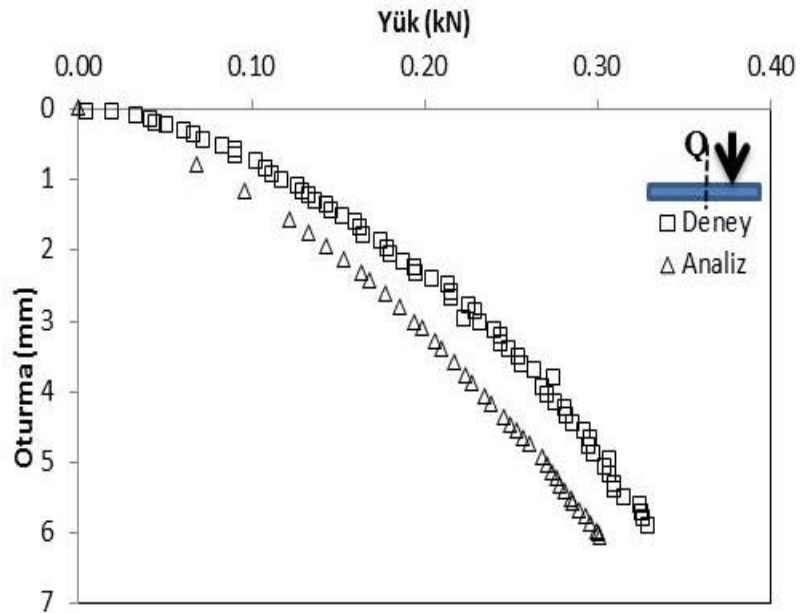
Gevşek zeminde eksantrik yük etkisinde deneysel veriler ve sayısal analiz verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.5'te yer almaktadır.



Şekil 4.5. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$)

Gevşek kum zeminde temel merkezinden 6cm uzaklıkta temele yük uygulandığında deney sonuçlarına göre taşıma gücü yaklaşık 0.5kN olurken sayısal analiz sonuçlarına göre bu değer 0.3kN'dur. Oturma değerleri için deney ve sayısal analizlerde benzer sonuçlar elde edilmiş olup bu değer de yaklaşık 6mm'dir.

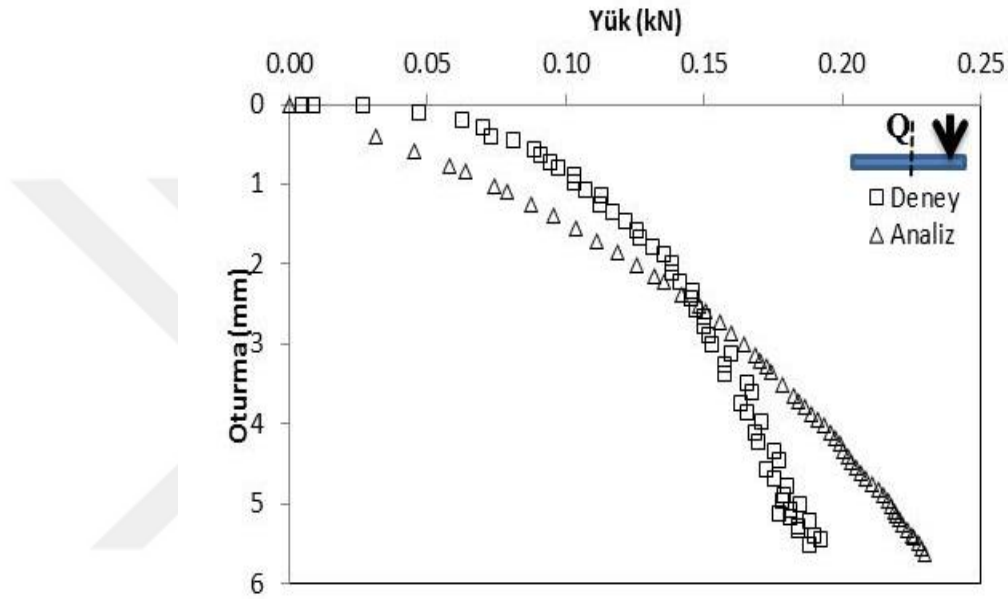
Şekil 4.6'da gevşek zeminde eksantrik yük etkisinde deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırması verilmiştir. Bu analizde eksantrisite bir önceki deneye göre 1cm daha arttırılmıştır.



Şekil 4.6. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$)

Şekilden de görüleceği üzere temel merkezinden 9cm uzaklıkta yük uygulanması halinde deney ve analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Taşıma gücü kapasitesi deney sonuçlarında yaklaşık 0.35kN, analizlerde ise 0.25kN'dur. Oturma değerleri incelendiğinde deney ve analiz sonuçlarında ise benzer değerler elde edilmiş olup yaklaşık 6mm'dir.

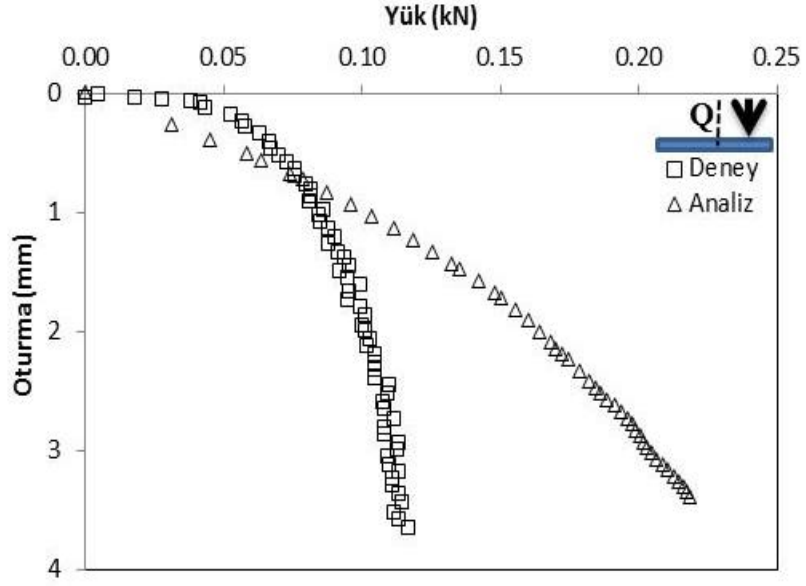
Gevşek zemin koşullarında eksantrik yük etkisinde elde edilen yük-oturma eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$)

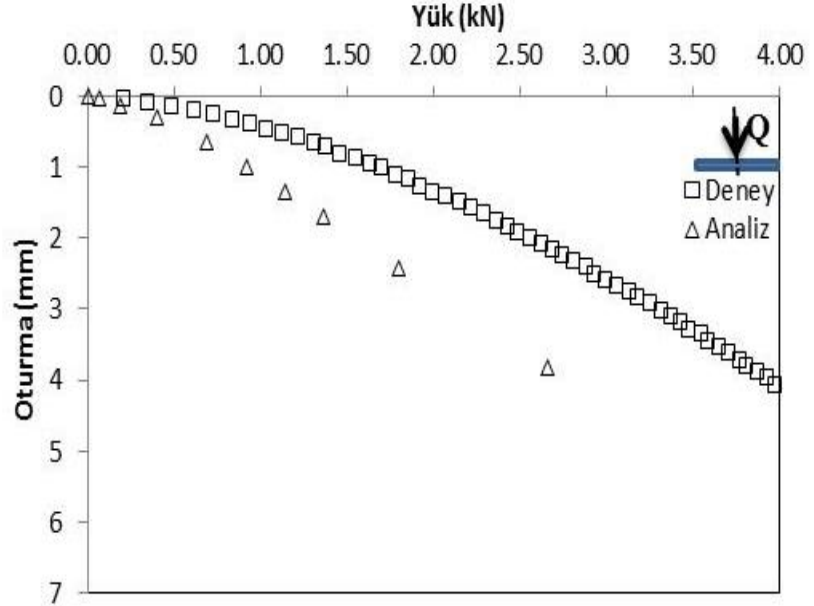
Şekilde de görüldüğü üzere temel merkezinden 12cm uzaklıkta yük uygulanması halinde deney sonuçlarına göre taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 0.15kN'dur. Analizlerde bu değer 0.25kN olurken oturma değeri deneylerde 5mm analizlerde ise 6mm olarak gözlenmiştir. Buradan, eksantrisite arttıkça taşıma kapasitesinin düştüğü sonucu çıkarılabilmektedir.

Şekil 4.8'de gevşek zeminde eksantrik yük etkisinde elde edilen deney ve sayısal analiz sonuçları yer almaktadır. Grafikten de görüldüğü üzere düşük yük seviyelerinde oturma değerleri nispeten birbirine yakın iken yük miktarları arttıkça deneysel ve sayısal verilerin uyumu da azalmaktadır.



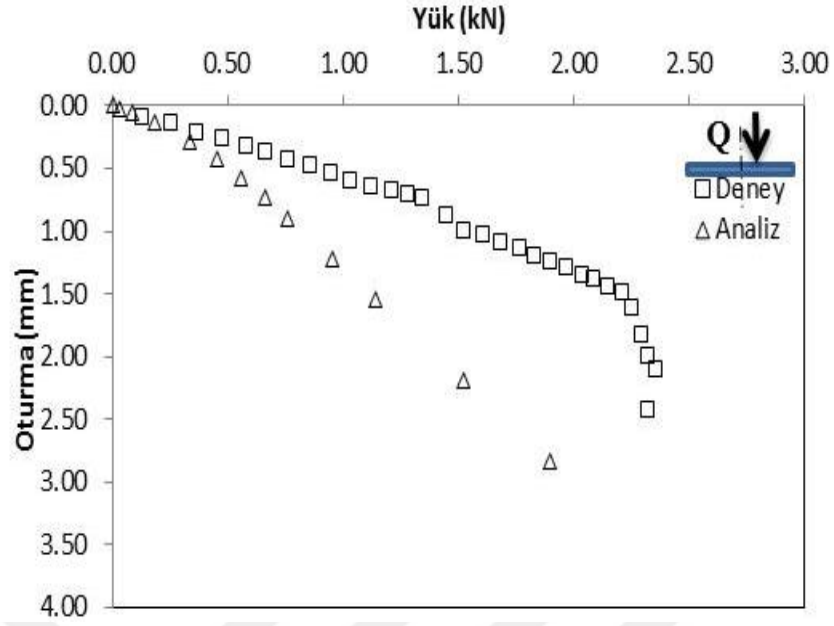
Şekil 4.8. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$)

Bu serilerde sıkı zeminde yapılan sayısal analizlere yer verilmiştir. Sıkı kum zeminde merkezi yük etkisinde sonuçlar ($e/B=0$) Şekil 4.9'daki grafikte yer almaktadır. Merkezi yüklemelerde yapılan deneylerde taşıma kapasitesi 4kN'a çıkarken sayısal analizlerde bu değer yaklaşık 2.5kN'dur.



Şekil 4.9. Seri I merkezi yükleme durumu

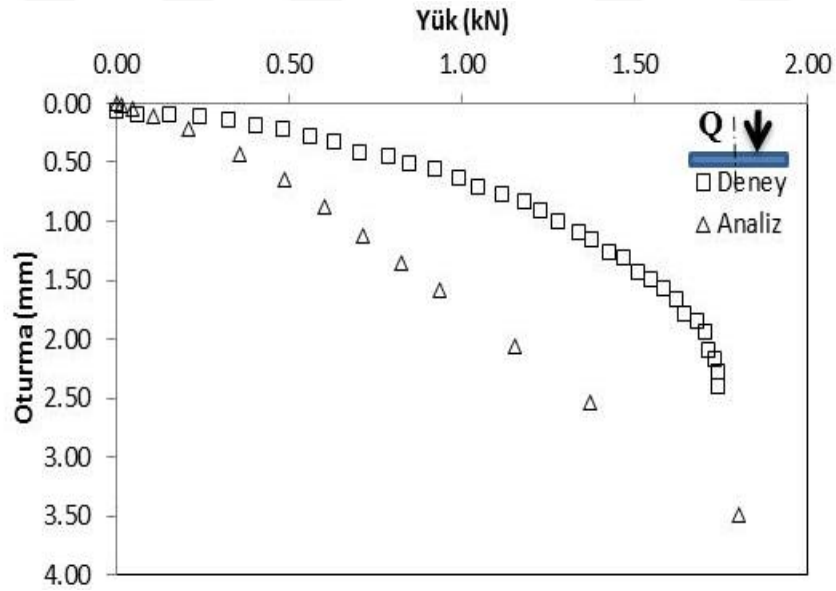
Sıkı zeminde eksantrik yük ($e/B=0.1$) etkisinde sonuçlar aşağıdaki grafikte yer almaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$)

Sıkı kum zeminde yapılan eksantrik yükleme halinde deneylerde taşıma kapasitesi 2.5kN olurken analizlerde bu değer yaklaşık 1.5-2kN'dur.

Sıkı zeminde eksantrik yük ($e/B=0.2$) etkisinde sonuçlar ise Şekil 4.11'deki grafikte gösterilmiştir.

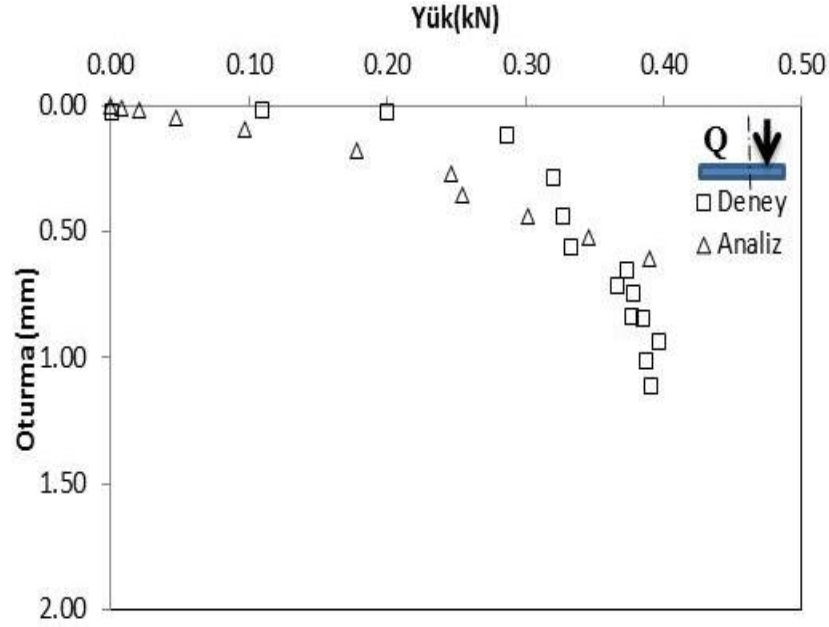


Şekil 4.11. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$)

Sıkı kum zeminde yapılan bu analizde eksantrik yükleme halinde deney sonuçlarında taşıma kapasitesi 1.5-2kN iken analizlerde bu değer 1.5kN'dur. Oturma

değerleri yapılan deneylerde 2 mm gözlenirken analizlerde bu değer 3.5 mm'ye kadar çıkmıştır.

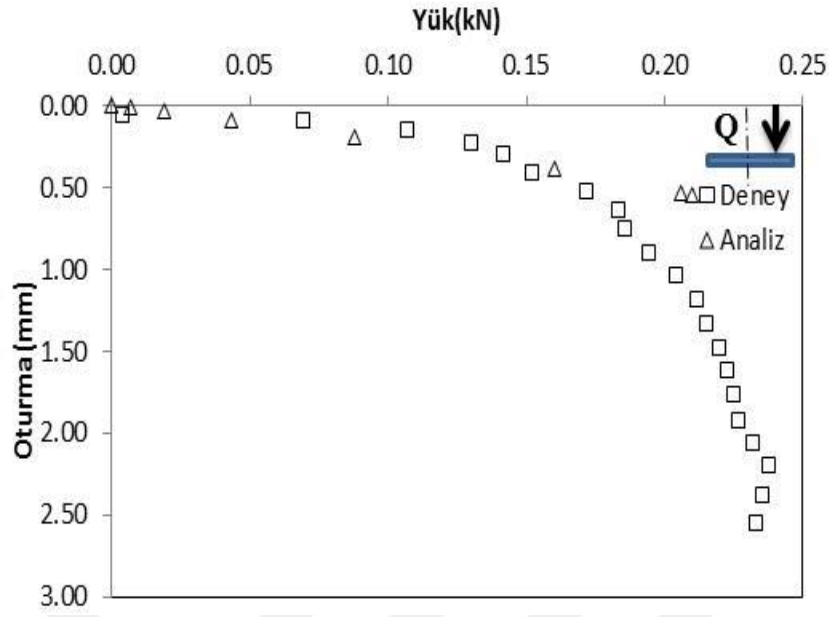
Sıkı zeminde eksantrik yük ($e/B=0.3$) etkisinde sonuçlar Şekil 4.12'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$)

Sıkı zeminde yapılan bu analizde temele merkezden 9cm uzaklıkta yük uygulandığında deney ve analizlerde taşıma kapasitesi değeri 0.4-0.5kN'a kadar düşmüş olup deney ve analiz sonuçları benzerlik göstermektedir.

Sıkı zeminde eksantrik yük ($e/B=0.4$) etkisinde sonuçlar Şekil 4.13'teki grafikte gösterilmiştir. Burada eksantrisite arttıkça taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık olarak yarı yarıya azaldığı gözlenmiştir. Oturma değeri ise 3mm'ye kadar çıkmıştır.

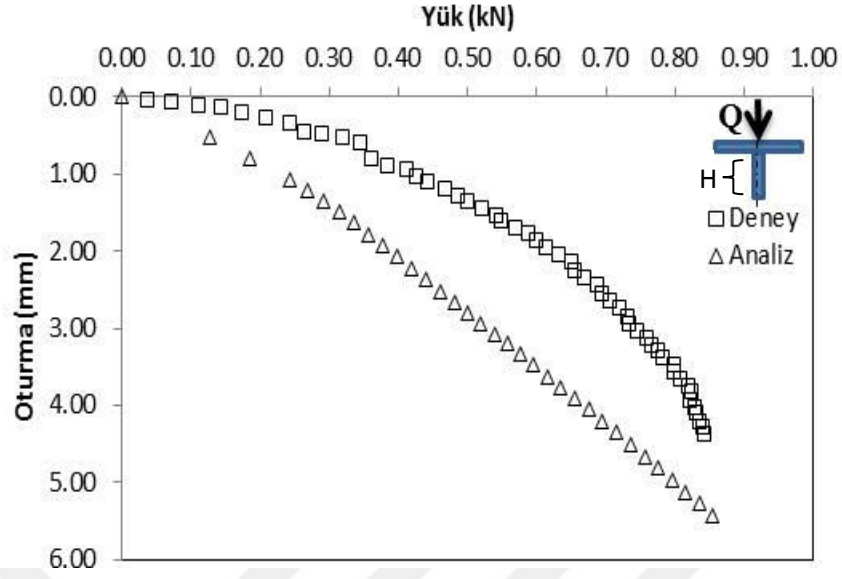


Şekil 4.13. Seri I eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$)

4.3.2. SERİ 2- Şerit Temelde Diş (H) Etkisi

Düşey yönde taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla şerit temele yapılan ilave “diş” olarak ifade edilmiştir. Bu seride merkezi ve eksantrik yükleme durumunda diş (H) ilaveli şerit temelde (Şekil 4.14) taşıma kapasitesi ve oturma değerleri irdelenmiştir. Gevşek ve sıkı zeminde önce merkezi yükleme yapılarak deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmış, ardından eksantrik yükleme yapılarak sayısal analizler deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

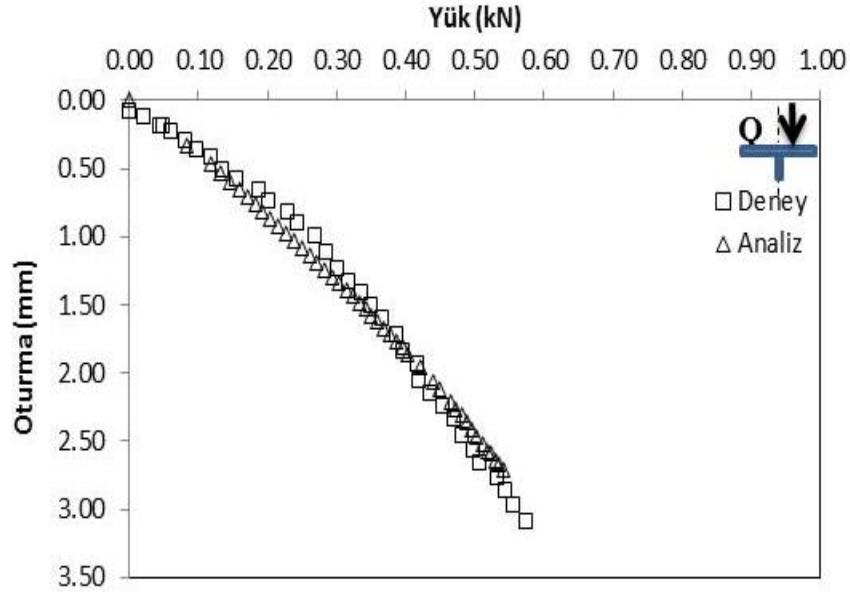
Gevşek zeminde merkezi yükleme durumunda sonuçlar Şekil 4.14'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Seri II merkezi yükleme durumu ($H/B=0.17, e/B=0$)

Gevşek kum zeminde $H=5\text{cm}$ dış ilaveli şerit temele merkezi yükleme yapılarak taşıma kapasitesi ve oturma değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında deney sonucunun 0.9kN , analiz sonucunun ise yaklaşık 0.8kN olduğu görülebilmektedir. Nihai taşıma gücüne karşılık gelen oturma değeri deneylerde yaklaşık 4mm iken analizlerde ise bu değer $5\text{-}6\text{mm}$ 'dir.

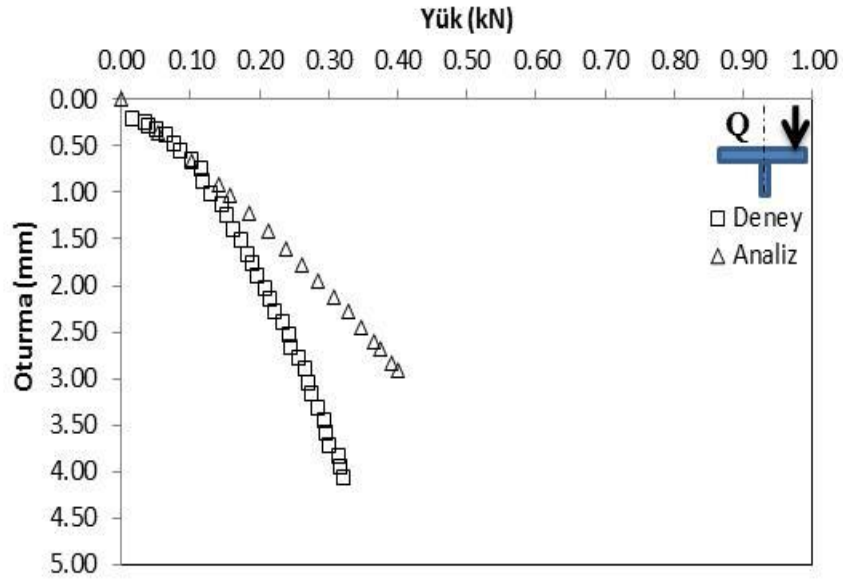
Gevşek zeminde H etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.2$) halinde sonuçlar Şekil 4.15'deki grafikte yer almaktadır.



Şekil 4.15. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2, H/B=0.17$)

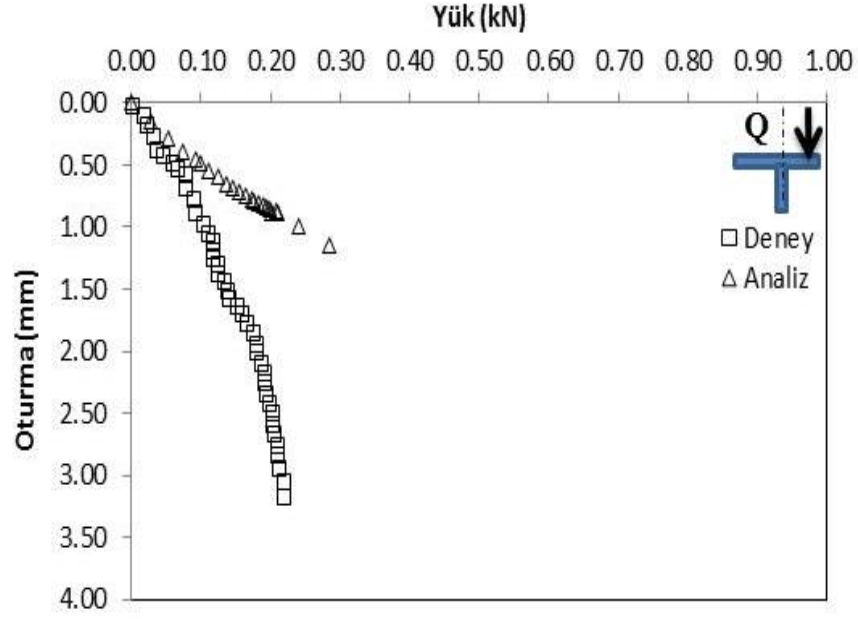
Gevşek kum zeminde T-kesitli temele merkezinden 6cm eksantrisitede yük uygulanması durumunda taşıma kapasitesi 0.9kN iken sayısal analizlerde bu değer 0.8kN'dur. Nihai taşıma kapasitelerinde oturma değerleri deneylerde 4.5mm iken analizlerde bu değer yaklaşık 5mm'dir. Deney ve sayısal analiz sonuçlarında birbirine yakın sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Gevşek zeminde H etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.3$) halinde sonuçlar Şekil 4.16'daki grafikte de görüleceği üzere deney sonuçlarında taşıma kapasitesi değeri 0.35kN iken analizlerde bu değer 0.4kN'dur. Oturma değeri ise deney sonuçlarında 4mm civarında iken sayısal analizlerde bu değer yaklaşık 3mm civarındadır.



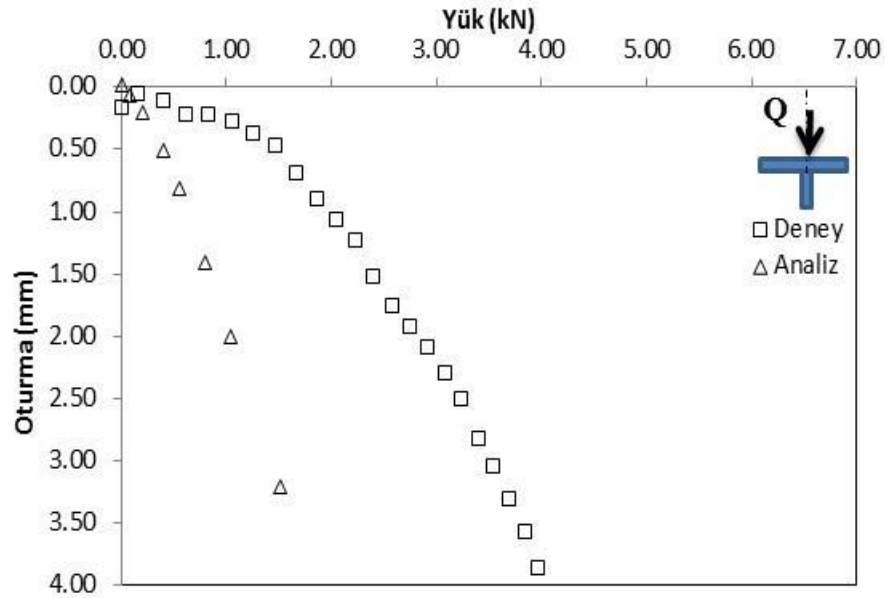
Şekil 4.16. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.17$)

Gevşek zeminde H etkisinde eksantrik yükleme halinde ($e/B=0.4$) sonuçlar Şekil 4.17'de gösterilmiştir. T-kesitli dış ilaveli temele merkezinden 12cm uzaklıkta yükleme yapıldığında deneylerde taşıma kapasitesi 0.4kN olurken sayısal analizlerde bu değer 0.2kN'a kadar düşmüştür. Oturma değerleri ise deneylerde 1mm iken sayısal analizlerde bu değer 3mm civarındadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi eksantriklik arttıkça temelin taşıma kapasitesi ters orantılı şekilde düşerken oturma değeri ise artmıştır.



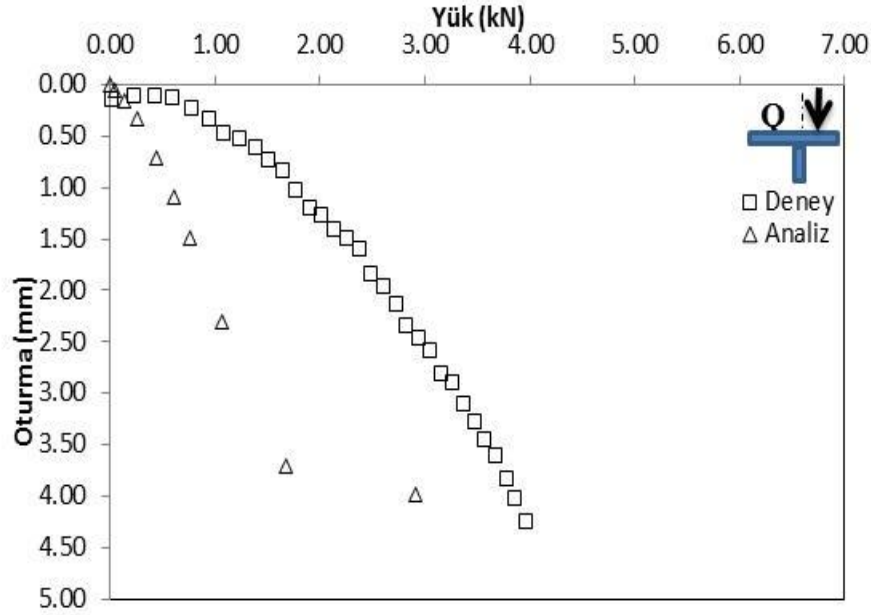
Şekil 4.17. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.17$)

Sıkı kum zeminde H etkisinde merkezi ve eksantrik yükleme durumlarında sayısal analizler tekrarlanmıştır. Şekil 4.18’de grafikte de görüldüğü üzere deney sonuçlarında nihai taşıma kapasitesi 4kN iken sayısal analizlerde bu değer yarı yarıya düşerek 2kN olmuştur. Oturma değeri deney ve analizlerde birbirine nispeten benzer değerler görülmekte olup bu değer yaklaşık 3.5-4mm’dir.



Şekil 4.18. Seri II merkezi yükleme durumu ($e/B=0$, $H/B=0.17$)

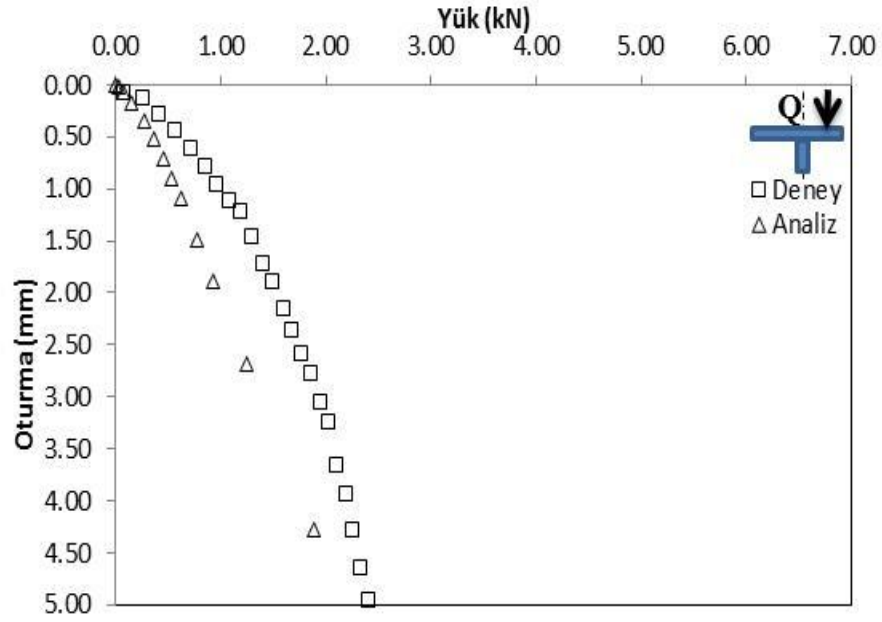
Sıkı kum zeminde H etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.2$) halinde sonuçlar aşağıda Şekil 4.19'daki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.19. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.17$)

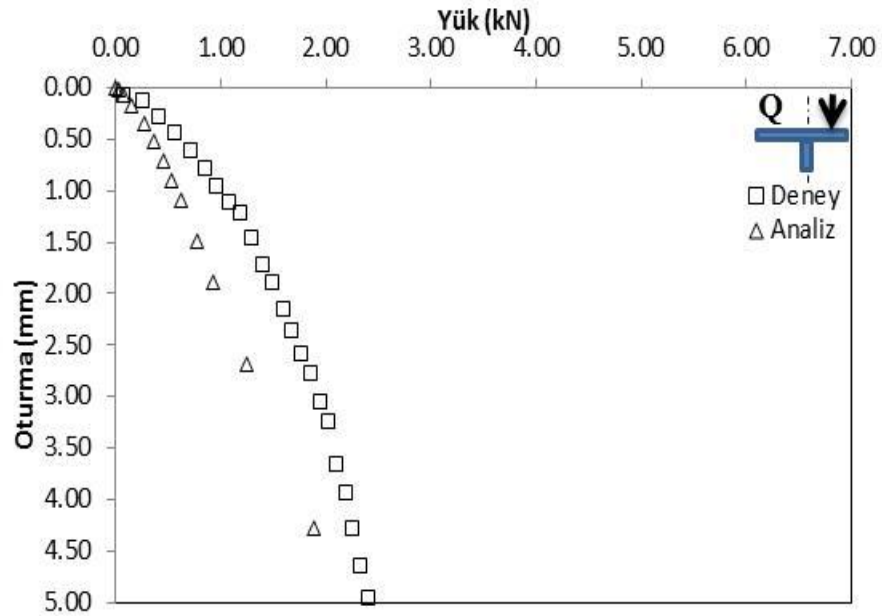
Deney sonuçları incelendiğinde nihai taşıma kapasitesi değeri 4kN iken sayısal analizlerde max. 3kN'a çıktığı gözlenmiştir. Oturma değeri ise deney ve analiz sonuçlarında birbirine nispeten yakın değerler elde edilmiş olup bu değer yaklaşık 4mm'dir.

Sıkı zeminde H (diş) etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.3$) durumunda sayısal analiz ve deney sonuçları karşılaştırması Şekil 4.20'de verilmiştir. T-kesitli temele eksantrik yük uygulandığında taşıma kapasitesinde deney ve analizlerde birbirine yakın değerler elde edilmiş olup bu değer 2.5kN'dur. Oturma değerleri ise deneylerde 5.5mm iken sayısal analizlerde ise 4.5mm'dir.



Şekil 4.20. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $H/B=0.17$)

Sıkı zeminde H etkisinde temele eksantrik yük uygulandığında Şekil 4.21'deki grafikte de görüldüğü üzere deney ve sayısal analiz sonuçlarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Taşıma kapasitesi değeri deney ve analizlerde 2.5kN iken oturma değeri ise deneylerde 5.5mm analizlerde 4.5mm değerini almıştır.

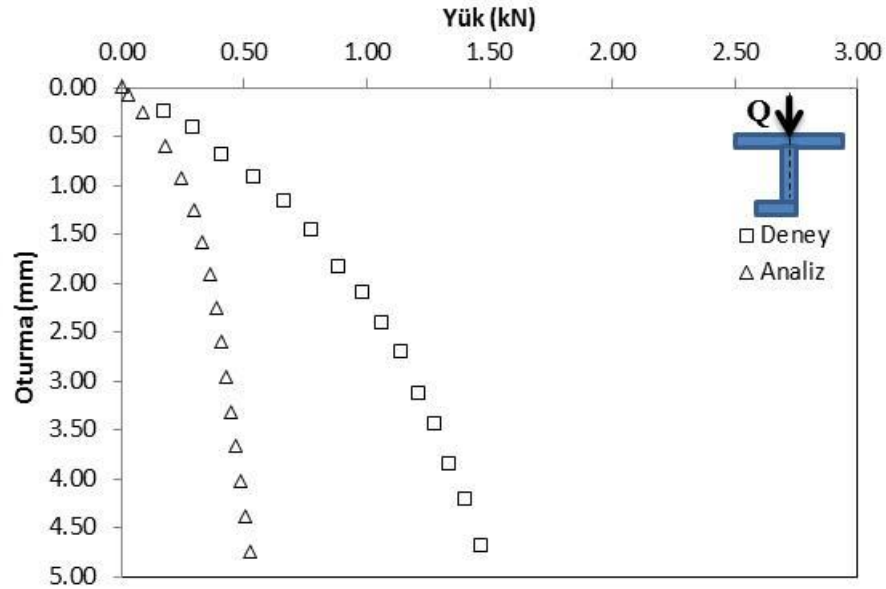


Şekil 4.21. Seri II eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.17$)

4.3.3. SERİ 3- Şerit Temelde Topuklu Dış Etkisi

Bir önceki seride T-kesitli temele dış ilavesinin etkilerini incelenmiştir. Bu analiz serilerinde ise T-kesitli dış ilaveli temele yatay yönde yapılan ve ‘topuk’ olarak adlandırılan ilavenin taşıma kapasitesi ve oturmaya etkileri incelenmiştir. Gevşek ve sıkı zeminde yatayda $-x$ ve $+x$ yönlerinde yapılan topuk ($l=6\text{cm}$) ilaveli temelde merkezi ve eksantrik yükleme halinde deney ve sayısal analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

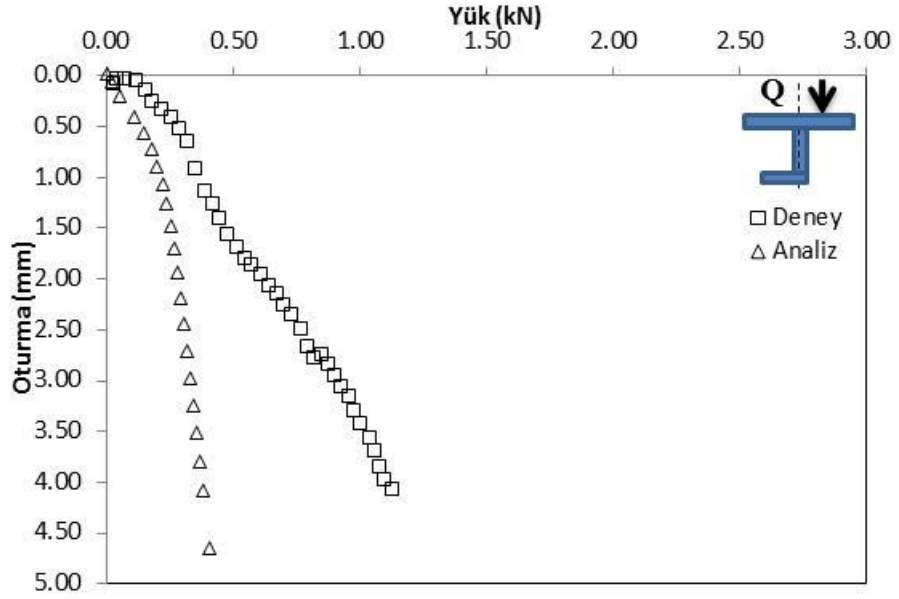
Gevşek zeminde $H=10\text{cm}$ ve $l=6\text{cm}$ etkisinde şerit temele merkezi yükleme durumunda sonuçlar Şekil 4.22’de yer almaktadır. Burada topuk ilavesi $-x$ doğrultusunda yapılmıştır.



Şekil 4.22. Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.33$, Topuk yönü $-x$)

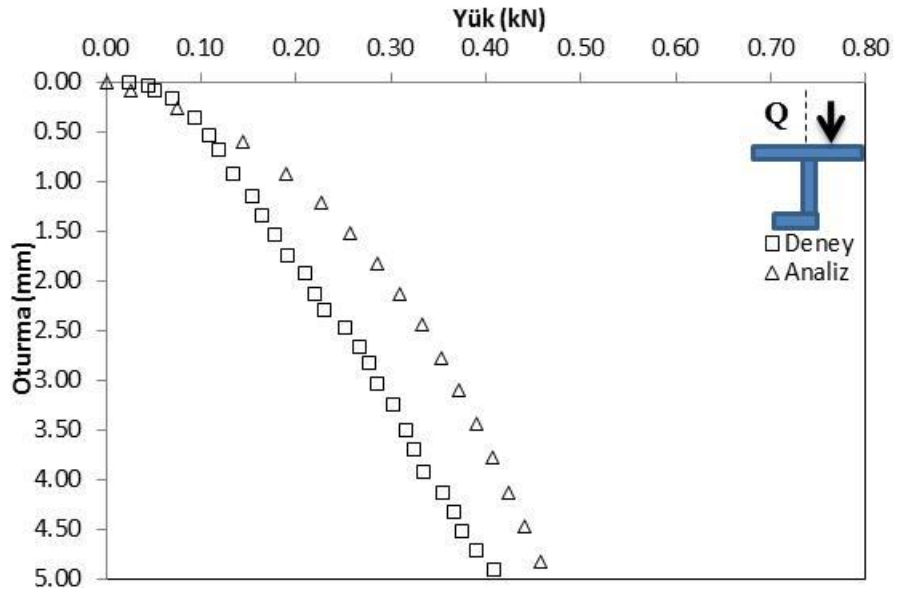
Şekildeki grafikte görüleceği üzere, deneylerde nihai taşıma kapasitesi 1.5kN iken sayısal analizlerde bu değer 0.5kN 'a kadar düşmüştür. Oturma değerleri ise deneylerde ve analizlerde $4.5-5\text{mm}$ olup birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Gevşek zeminde H ve l etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.1$) durumunda sonuçlar Şekil 4.23'teki grafikte verilmiştir. Eksantrik yükleme topuk yönüne zıt yönde yapılmıştır. Deneylerde nihai taşıma kapasitesi değeri 1kN olurken analizlerde ise bu değer yaklaşık 0.5kN 'dur.



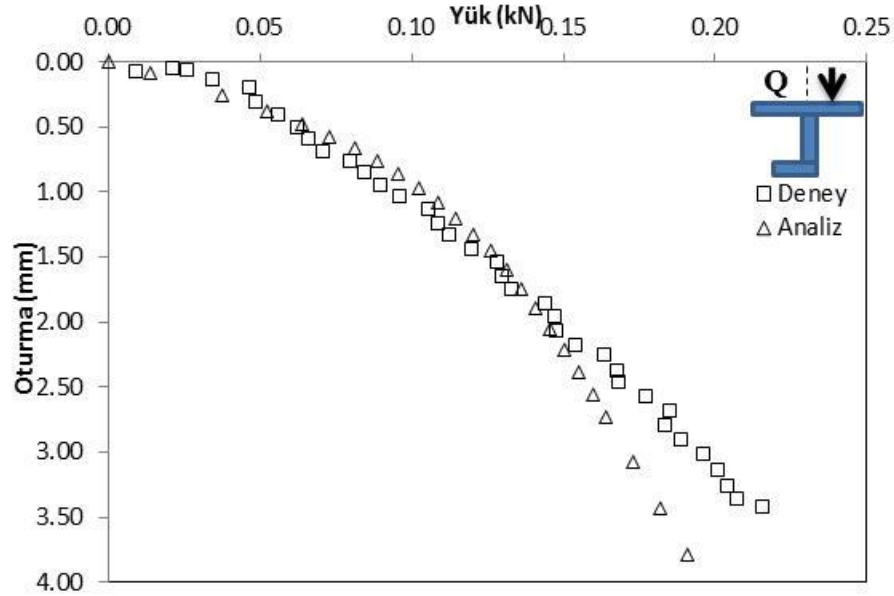
Şekil 4.23. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, $H/B=0.33$, topuk yönü -x)

Gevşek zeminde H ve I etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.2$) durumunda görüldüğü üzere deney ve sayısal analiz sonuçlarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.24). Sayısal analizlerde nihai taşıma kapasitesi değeri 0.4kN iken deneylerde bu değer 0.35kN 'dur. Nihai taşıma kapasitesine karşılık gelen oturma değeri ise analizlerde $4.5\text{-}5\text{mm}$ iken deneylerde benzer şekilde olup 5mm 'dir.



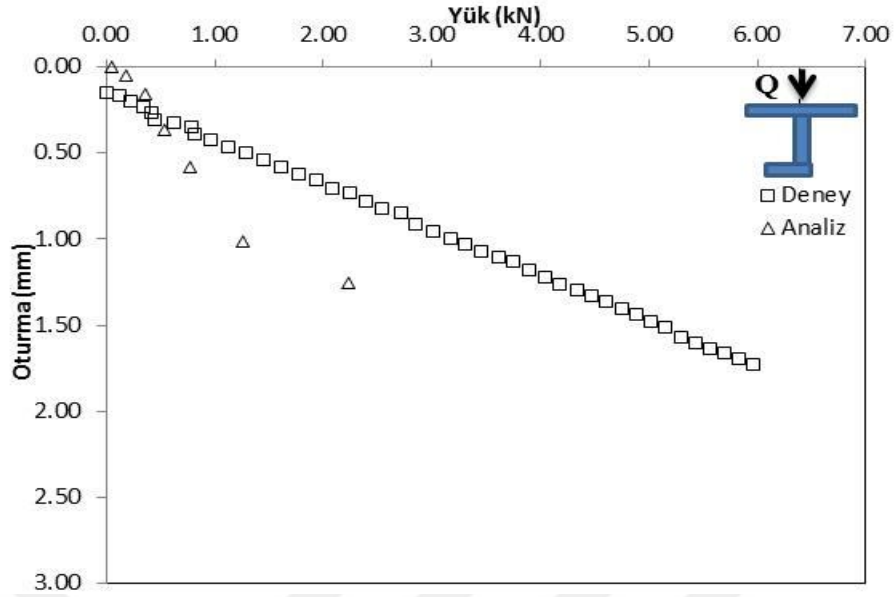
Şekil 4.24. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$ $H/B=0.33$, topuk yönü -x)

Gevşek zeminde H ve l etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.3$) halinde sonuçlar Şekil 4.25'teki grafikte yer almaktadır. Şerit temele topuğun (l) olduğu yöne (-x) zıt yönde yük uygulandığında temelin taşıma gücünde değişim gözlenmezken oturma değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Nihai taşıma kapasitesi ve oturma değerleri deney ve analizlerde nispeten birbirine yakın değerler elde edilmiş olup bu değer taşıma kapasitesi için 0.2kN olup oturma değeri için ise 3-3.5mm'dir.



Şekil 4.25. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$ $H/B=0.33$, topuk yönü -x)

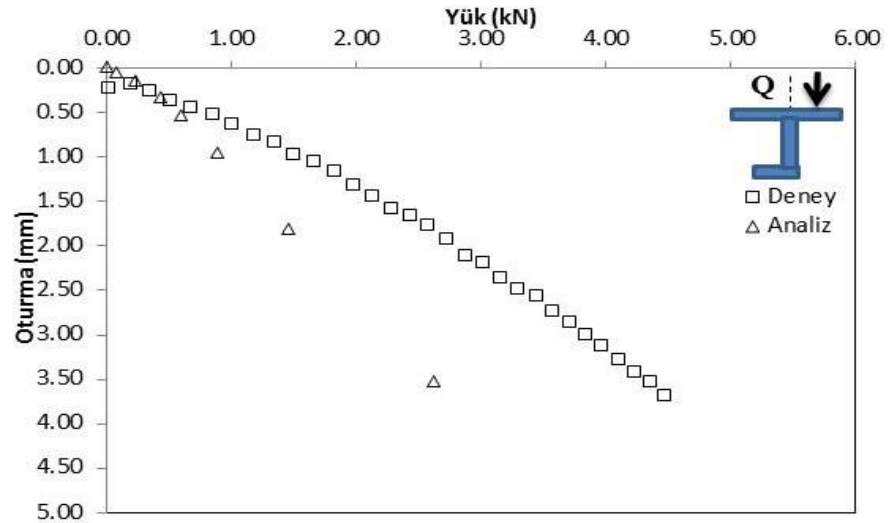
Sıkı zeminde T-kesitli topuk ve diş ilaveli temele sayısal analizler önce merkezi yükleme halinde, daha sonra eksantrik yükleme halinde yapılmıştır. Deney sonuçları sayısal analiz sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Merkezi yükleme durumunda sayısal analiz sonuçları Şekil 4.26'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Seri III merkezi yükleme durumu ($H/B=0.33$, topuk yönü $-x$)

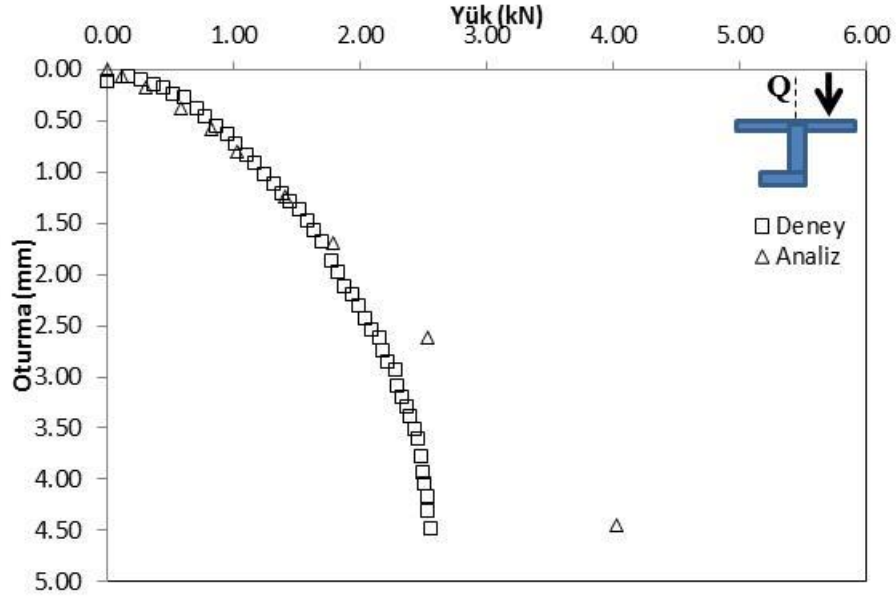
Sıkı zeminde deney sonuçlarına göre nihai taşıma kapasitesi değeri 6kN 'a kadar çıkarken sayısal analizlerde bu değer 2kN 'dur. Oturma değerleri ise deneylerde 1.5mm iken sayısal analizlerde 2.5mm civarındadır.

Sıkı zeminde H ve l etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.1$) durumunda deney ve sayısal analiz karşılaştırması Şekil 4.27'de yer almaktadır. Deneylerde taşıma kapasitesi 5kN iken analizlerde bu değer yaklaşık 2.5kN 'dur. Oturma değerleri ise sayısal analiz ve deneylerde benzer sonuçlar elde edilmiş olup yaklaşık 3.5mm 'dir (Şekil 4.27). Sıkı zemin koşullarında da eksantriklik topuk yönüne zıt yönde uygulanmıştır.



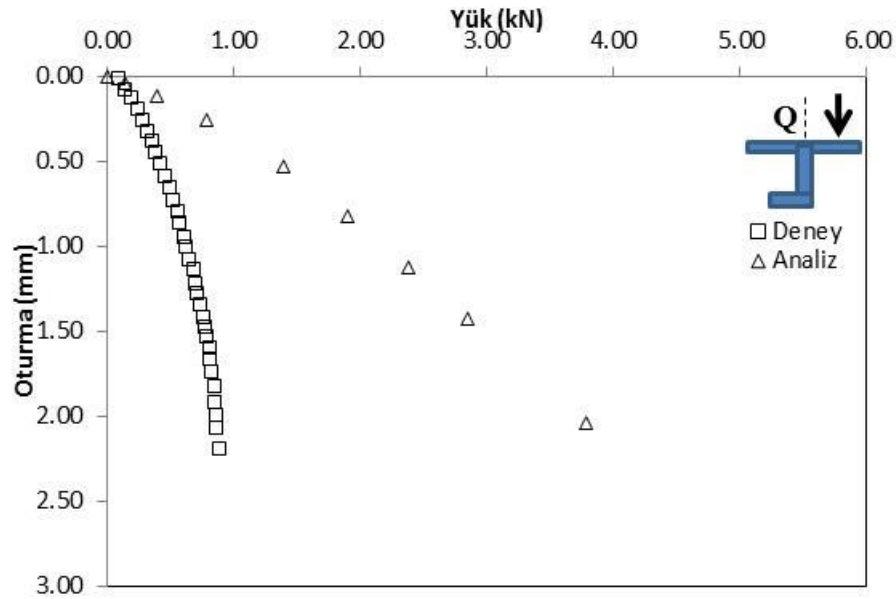
Şekil 4.27. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$ $H/B=0.33$, topuk yönü $-x$)

Sıkı zeminde H ve I etkisinde eksantrik ($e/B=0.2$) yükleme halinde sayısal analiz ve deney sonuçları kıyaslandığında deney ve analizlerde birbirine yakın değerler elde edildiği gözlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre taşıma kapasitesi değeri 2.5kN'dan 4kN'a kadar çıkmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$ $H/B=0.33$)

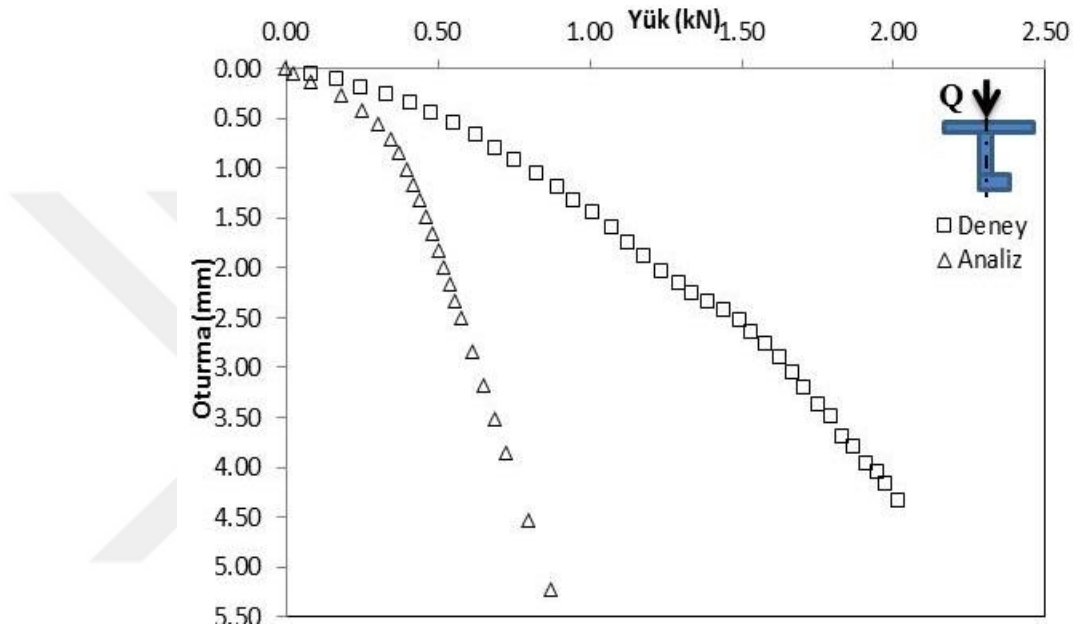
Sıkı zeminde H ve I etkisinde eksantrik ($e/B=0.3$) yükleme halinde sonuçlar Şekil 4.29'daki grafikte yer almaktadır. Sayısal analizlerde temelin nihai taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 4.5kN değerindedir.



Şekil 4.29. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$ $H/B=0.33$, topuk yönü -x)

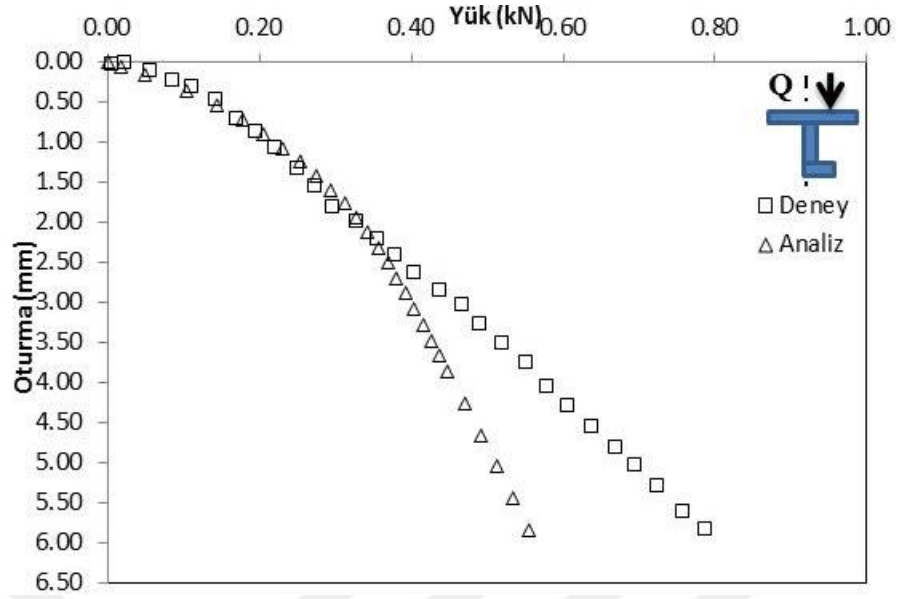
Gevşek zeminde T-kesitli dış ilaveli temele +x yönünde topuk (I) ilavesi halinde deney ve sayısal analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Temelin merkezi ve eksantrik yükleme durumlarında taşıma kapasitesi ve oturma değerleri incelenmiştir.

Gevşek zeminde H ve I etkisinde merkezi yükleme halinde sonuçlar Şekil 4.30'da verilmiştir. Buna göre deneylerde nihai taşıma kapasitesi 2kN iken analizlerde yaklaşık 1kN'dur. Oturma değerleri ise deneylerde 4mm iken analizlerde ise 5-5.5mm değeri gözlenmiştir.



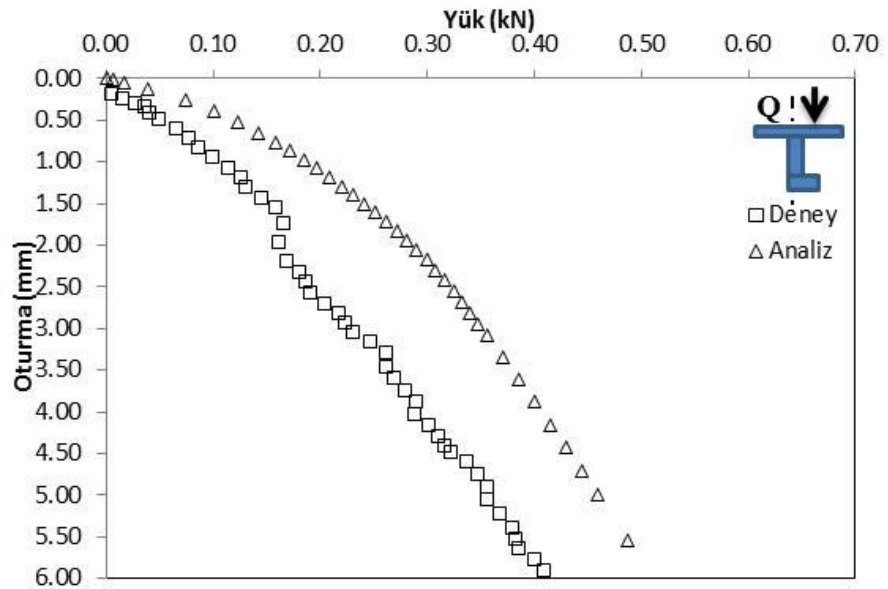
Şekil 4.30. Seri III merkezi yükleme durumu (H/B=0.33, topuk yönü +x)

Gevşek zeminde T-kesitli temele H ve I etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.2$) halinde sayısal analiz ve deney sonuçları kıyaslandığında nispeten benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Deneylerde nihai taşıma kapasitesi 0.8kN iken sayısal analizlerde 0.6kN, oturma değerleri ise deneylerde ve analizlerde 5mm değerini almıştır (Şekil 4.31).



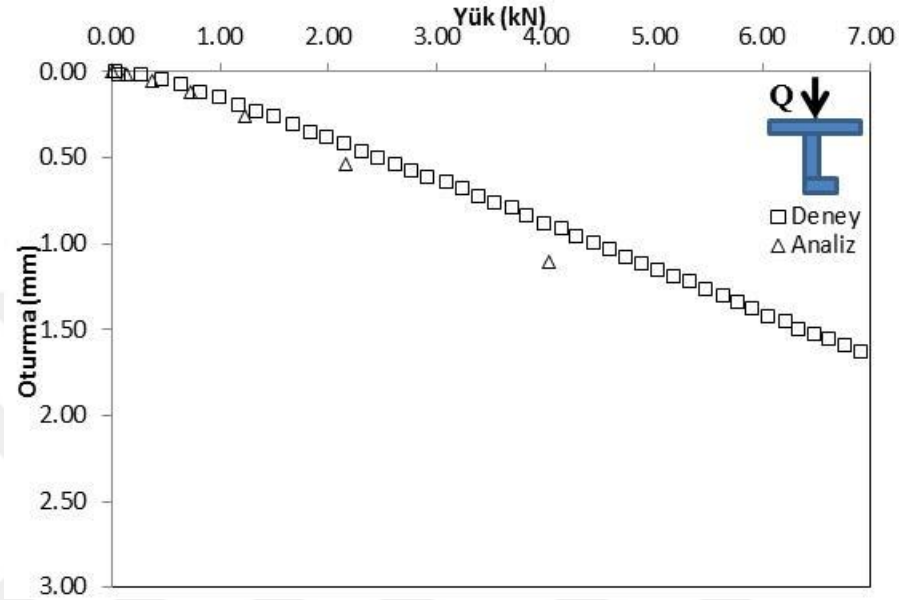
Şekil 4.31. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.2$, $H/B=0.33$, topuk yönü $+x$)

Gevşek zeminde H ve I etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.4$) durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.32'deki grafikte sunulmuştur. Deneysel nihai taşıma kapasitesi 0.5kN ve analizlerde 0.3kN , bunlara karşılık gelen oturma değeri ise deneylerde 5mm ve analizlerde 5.5mm 'dir. Buna göre topuğun (I) olduğu yöne ($+x$) yönünde eksantrisite arttırıldığında taşıma kapasitesinin düştüğü gözlenmiştir.



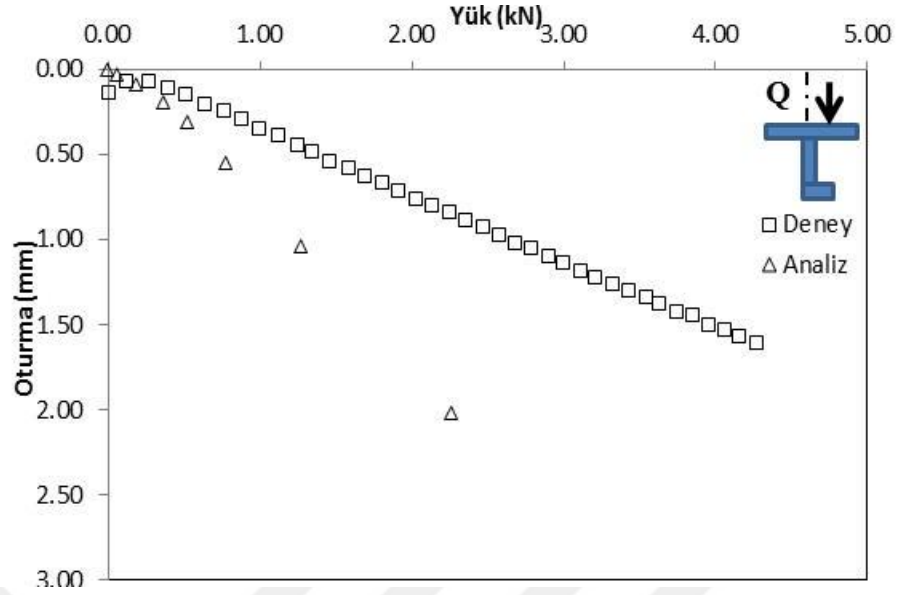
Şekil 4.32. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.33$, topuk yönü $+x$)

Gevşek zeminde yapılan incelemeler sıkı zeminde de yapılmıştır. Sıkı zeminde merkezi yüklemde Şekil 4.33'te verilen grafikte de görüleceği üzere nihai taşıma kapasitesi gevşek zemin durumuna göre yaklaşık 5 katına artarken oturma değeri de yarı yarıya düşmüştür. Deney ve sayısal analizlerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 4.33).



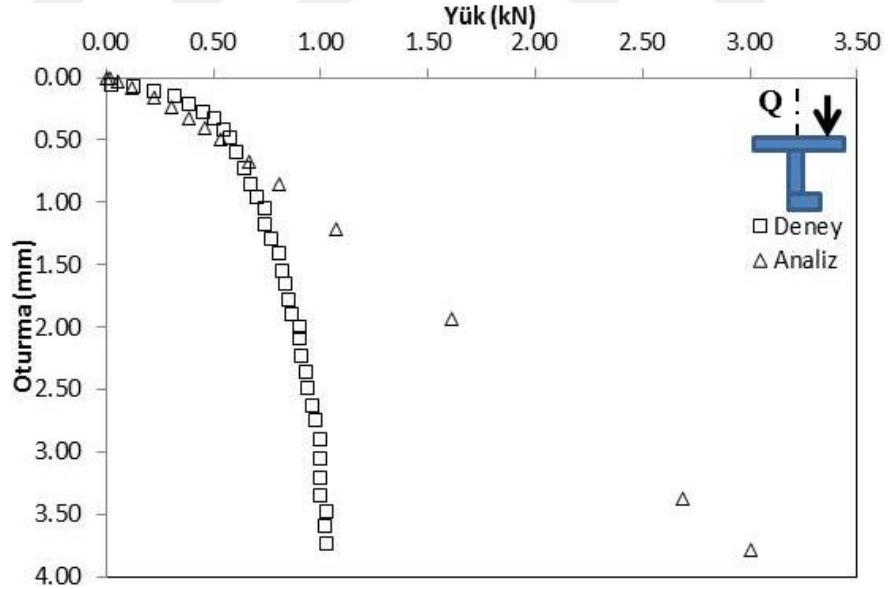
Şekil 4.33. Seri III merkezi yüklem durumu ($e/B=0$, $H/B=0.33$, topuk yönü $+x$)

Sıkı zeminde H ve I etkisinde eksantrik yüklem durumunda deney ve sayısal analiz sonuçları Şekil 4.34'te gösterilmiştir. Buna göre eksantrisite arttıkça taşıma kapasitesi düşmüştür. Deneylerde nihai taşıma kapasitesi değeri 4kN iken sayısal analizlerde bu değer 3kN'dur. Oturma değerleri ise deneylerde 1.5mm, analizlerde yaklaşık 2mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.34. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.1$, $H/B=0.33$, topuk yönü $+x$)

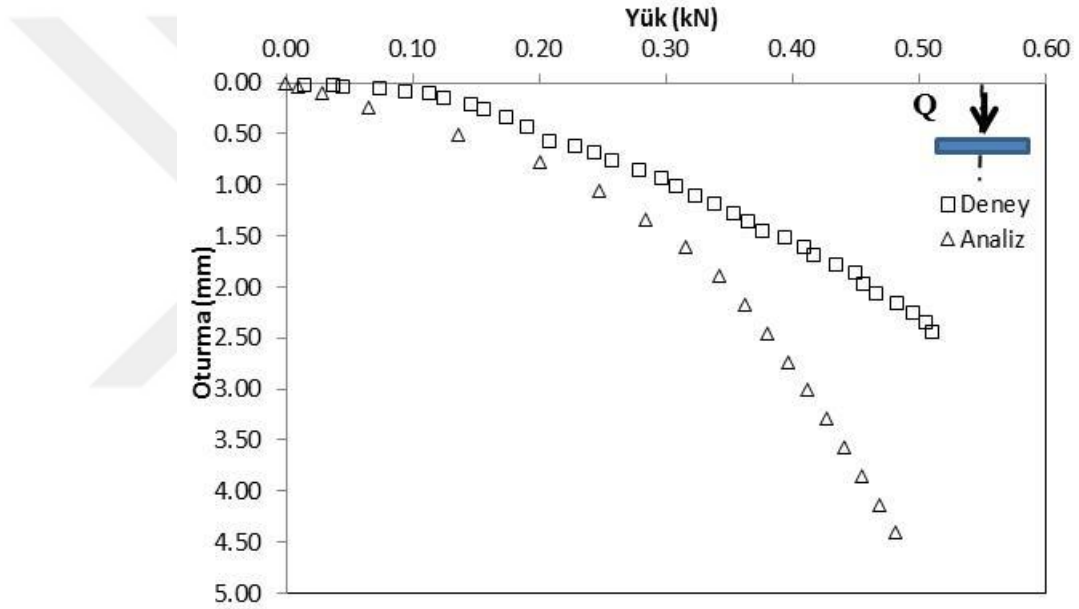
Sıkı zeminde H ve I etkisinde eksantrisite arttırıldığında ($e/B=0.4$) taşıma kapasitesi ve oturma değerlerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 4.35’eki grafiğe göre deneylerde taşıma kapasitesi 1kN’a kadar düşerken sayısal analizlerde bu değer 2-2.5kN’dur. Oturma değerleri deneylerde 3mm ve sayısal analizlerde 3.5mm’dur.



Şekil 4.35. Seri III eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.4$, $H/B=0.33$, topuk yönü $+x$)

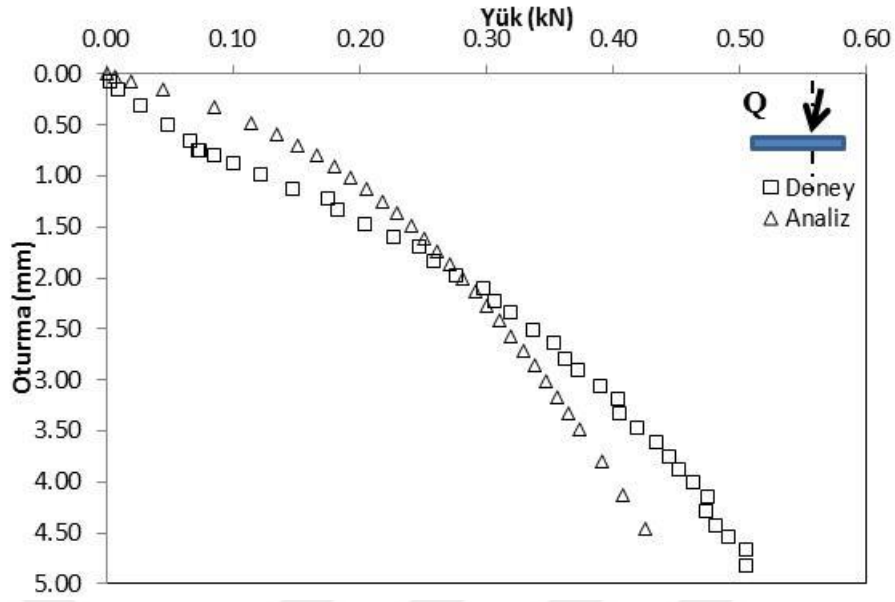
4.3.4. SERİ 4- Şerit Temelde Eksantrik Eğik Yükleme Etkisi

Bu serilerde T-kesitli diş ve topuk ilavesi olmayan temele belirli bir açıda merkezi ve eksantrik yükleme yapılarak temelin taşıma kapasitesi-oturma değerleri incelenmiştir. Açı (β) şeklinde gösterilmek üzere önceki serilerde olduğu gibi gevşek ve sıkı zeminde kıyaslamalar yapılmıştır. Merkezi yükleme halinde gevşek zeminde sonuçlar Şekil 4.36'daki grafikte yer almaktadır. Sayısal analizlerde nihai taşıma kapasitesi değeri 0.5kN olup, deneylerde de aynı şekilde 0.5kN değeri alınırken, oturma değeri deneylerde 2mm'ye sayısal analizlerde de 4.5mm'ye kadar çıkmıştır. Burada β açısı yükleme doğrultusunun düşeyle yaptığı açıdır.



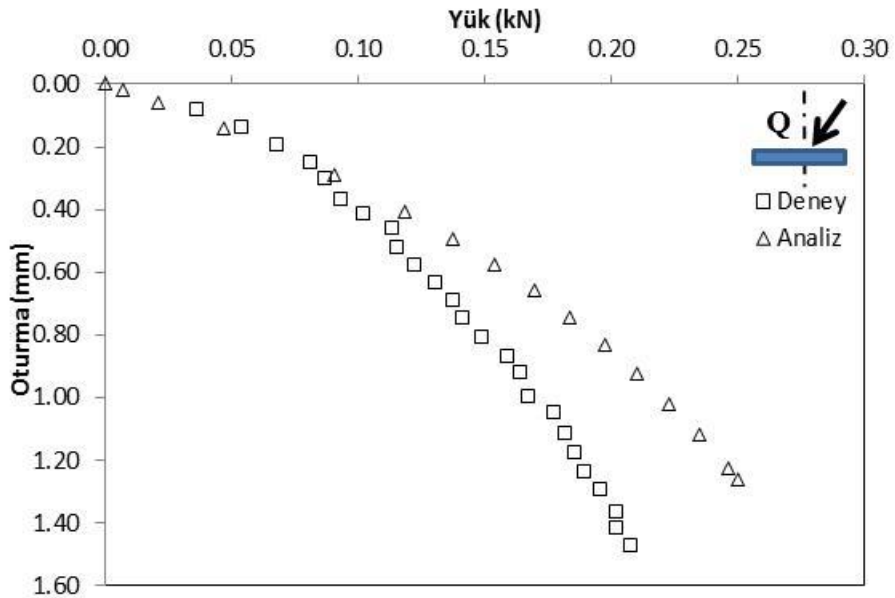
Şekil 4.36. Seri IV merkezi yükleme durumu ($e/B=0$, $\beta=0^\circ$)

Gevşek zeminde eksantrik eğik yükleme halinde sonuçlar Şekil 4.37'de yer almaktadır. $\beta=15^\circ$ ve $e/B=0.3$ olması durumunda sayısal analiz ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi deney ve analiz sonuçlarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir.



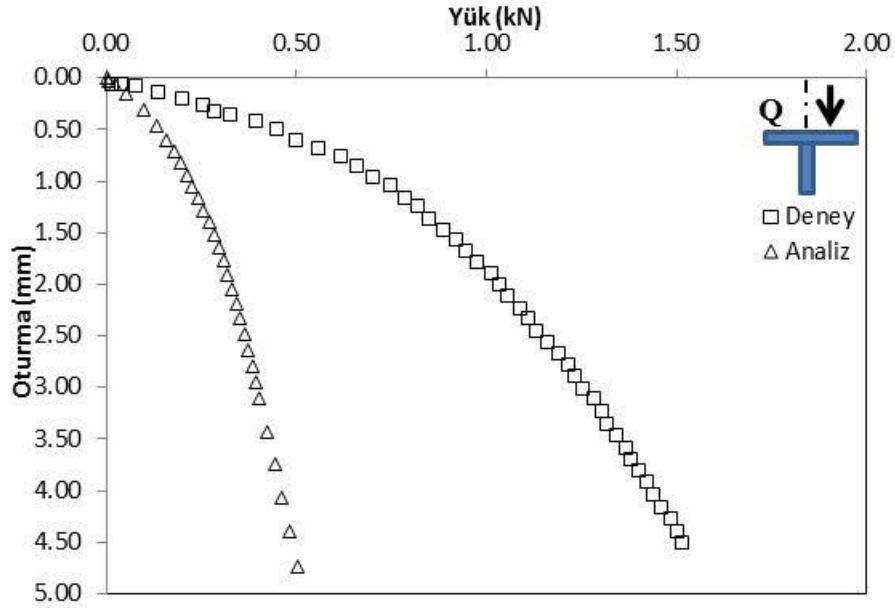
Şekil 4.37. Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=15^\circ$)

Gevşek zeminde eksantrik eğik yükleme halinde sonuçlar Şekil 4.38'deki grafikte verilmiştir. Grafikte görüleceği üzere $\beta=25^\circ$ ve $e/B=0.3$ olması durumunda deneylerde taşıma kapasitesi değeri 0.15kN olurken analizlerde bu değer 0.25kN 'a kadar çıkmıştır. Oturma değerleri ise deneylerde ve analizlerde $1.2-1.4\text{mm}$ arasında olup birbirine yakın değerler elde edildiği görülmektedir.



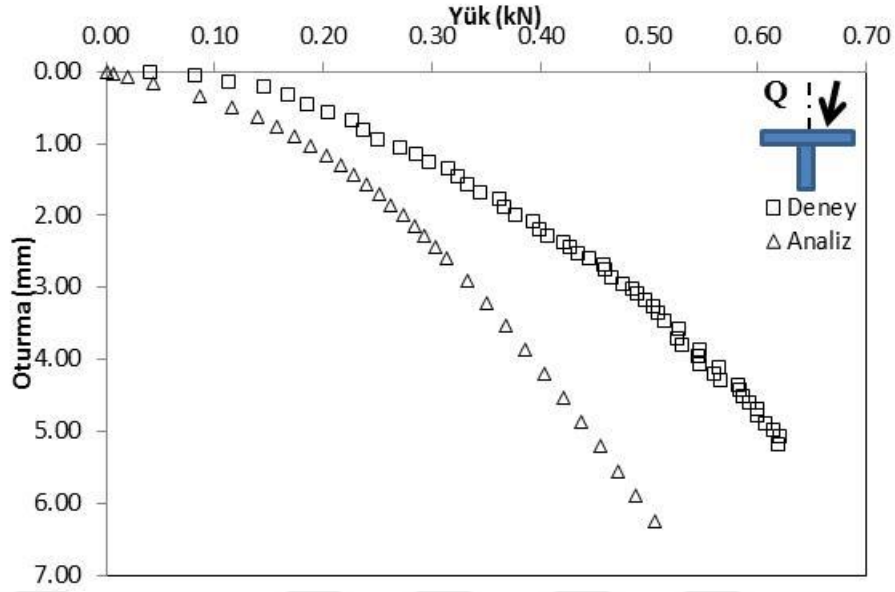
Şekil 4.38. Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=25^\circ$)

Gevşek zeminde şerit temele merkezi ve eksantrik yükleme halinde deney ve sayısal analiz sonuçları kıyaslandıktan sonra H (diş) etkisinde normal ve eğik yükleme yapılarak taşıma kapasitesi ve oturma değerleri incelenmiştir. Şekil 4.39'daki grafiğe göre şerit temele diş ilavesi taşıma kapasitesi değerini deney ve analizlerde yaklaşık 2 katına çıkarmıştır. Oturma değerleri deneylerde ve analizlerde 4.5mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.39. Seri IV eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=0$, $H/B=0.17$)

Gevşek zeminde şerit temele Şekil 4.39'dakinden farklı olarak hem eksantrik hem eğik ($\beta=15^\circ$) yükleme yapılması halinde sonuçlar Şekil 4.40'teki grafikte verilmiştir. Buna göre deneylerde nihai taşıma kapasitesi değeri 1.4kN'dan 0.6kN'a kadar düşerken oturma değerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.



Şekil 4.40. Seri IV eksantrik eğik yükleme durumu ($e/B=0.3$, $\beta=15^\circ$, $H/B=0.17$)

Grafikler incelendiğinde deney ve sayısal analiz sonuçlarında uyum olduğu ve birbirine yakın değerler elde edildiği gözlenmiştir. Bu uyumun sağlanmasının ardından parametrik çalışmalara geçilmiştir.

5. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR

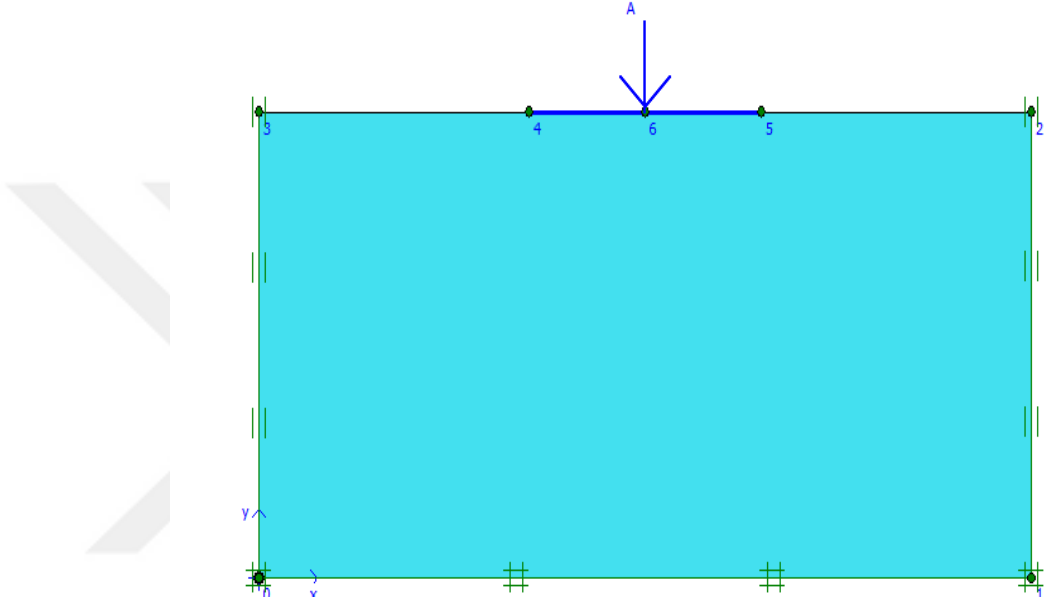
Parametrik çalışmalarda, model deneylerin yapıldığı kasa boyutları değiştirilerek (100cm x 200cm x 200cm) (uzunluk, genişlik, derinlik) analizler yapılmıştır. Benzer şekilde model temelin boyutları değiştirilerek sayısal analizler tekrarlanmıştır. Kum zeminde yapılan analizler kil zeminde de uygulanmıştır. Ayrıca düz zeminde yapılan analizler şevli zeminde de uygulanmış, böylece yapılan çalışmaların tutarlılığı desteklenmiştir. Her bir analiz sonunda taşıma gücü-oturma grafikleri çizilmiş, bu grafiklerde yapılan değişikliklerin taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir.

Parametrik çalışmalar kısmında yapılanlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

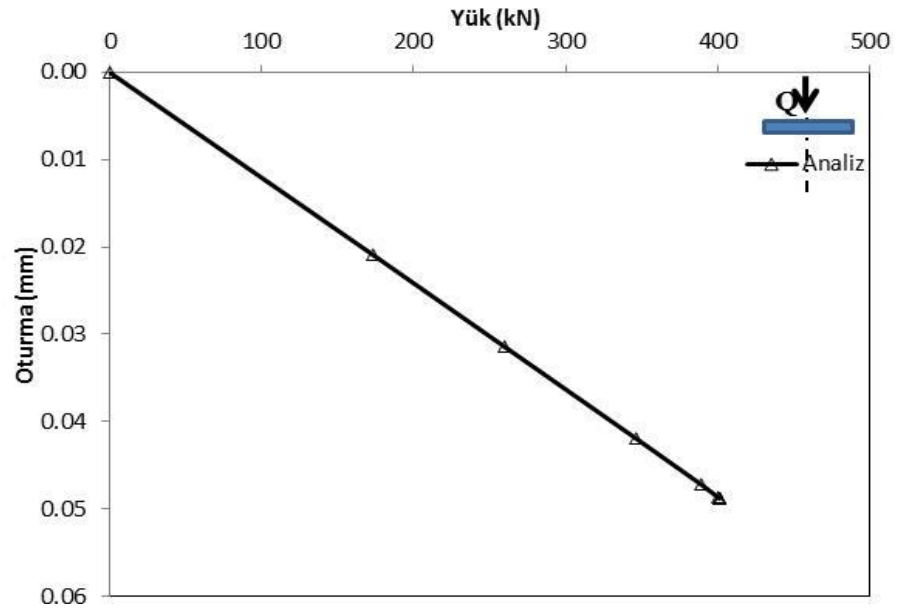
- 1- Kasa boyutları değiştirilmiştir (200cm x 100cm x 100cm)
- 2- Temel boyutu 30cm iken 60cm'e çıkarılmıştır.
- 3- Eksantrisite etkisi incelenmiştir.
- 4- Kum ve kil zeminlerde analizler yapılmıştır.
- 5- Şevli zemin ortamında analizler yapılmıştır.

5.1. SERİ A – Şerit Temelde Eksantrisite Etkisi

Şerit temele kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumunda sayısal analizler yapılmıştır. Değişen kasa ve temel boyutlarında taşıma gücü-oturma değeri incelenmiştir. Şekil 5.1’de sayısal analiz şematik gösterimi, Şekil 5.2’de ise taşıma kapasitesi-oturma grafiği verilmiştir. Merkezi yükleme halinde taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 450kN’dur.

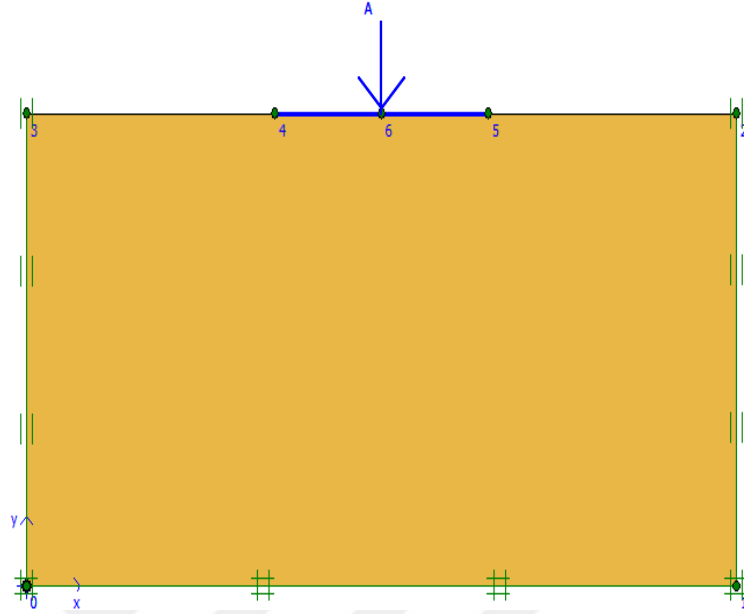


Şekil 5.1. Kum zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi



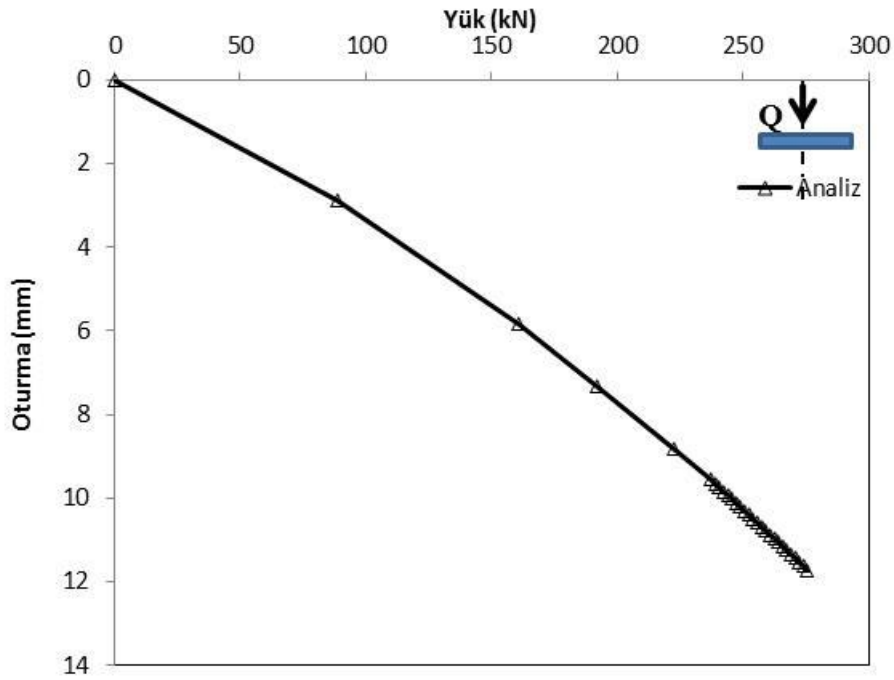
Şekil 5.2. Kum zeminde yükleme durumu

Kum zeminde yapılan sayısal analizler kil zeminde de tekrarlanmıştır. Sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.3'te verilmiştir.



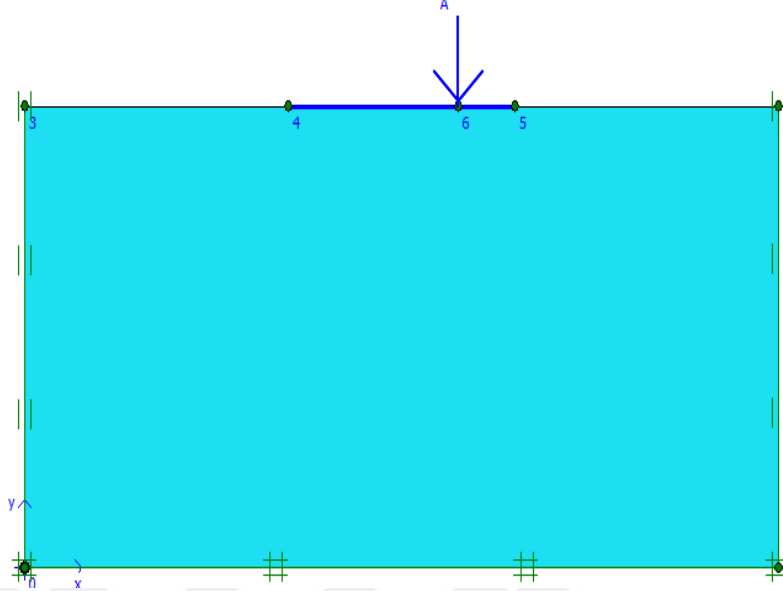
Şekil 5.3. Kil zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi

Şekil 5.4'teki yük-oturma grafiğine göre taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 300kN olurken oturma değeri 12mm'dir.

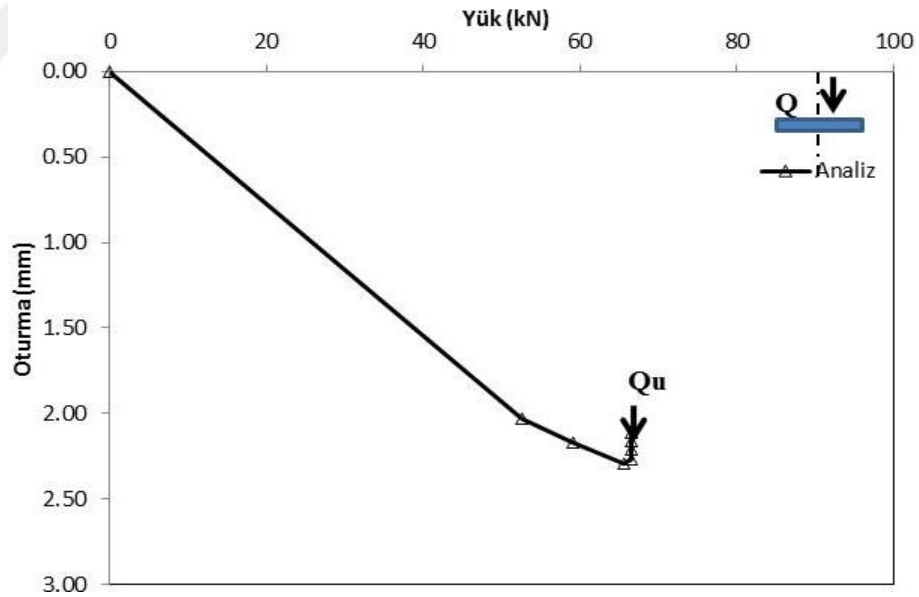


Şekil 5.4. Kil zeminde merkezi yükleme durumu ($e/B=0$)

Kum zeminde eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.25$) sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.5'te verilmiştir. Taşıma kapasitesi-oturma grafiği Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



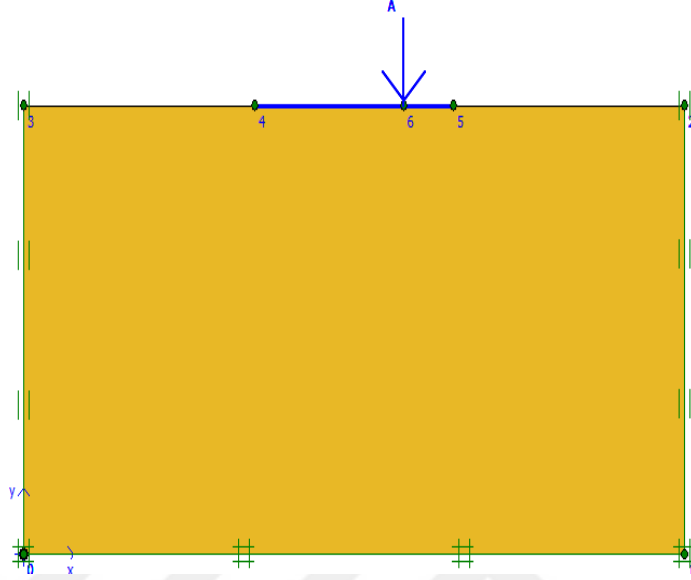
Şekil 5.5. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi



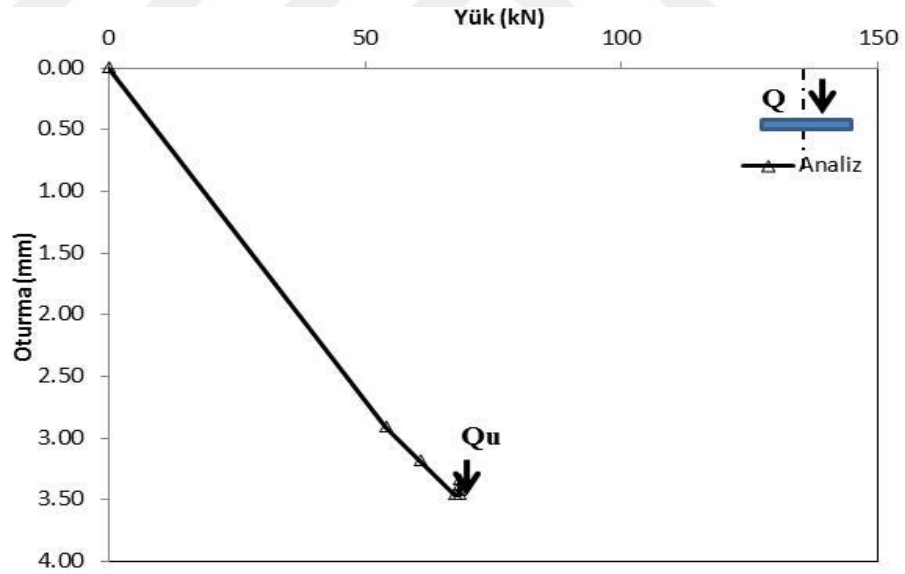
Şekil 5.6. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$) taşıma kapasitesi-oturma grafiği

Analiz görüntüsü Şekil 5.5'te verilen bu seride kum zeminde temele eksantrik yükleme yapıldığında taşıma kapasitesi Q_u yaklaşık 80kN olurken oturma değeri 2mm gözlenmiştir.

Kil zeminde eksantrik yükleme halinde sayısal analiz gösterimi Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.8’de verilen yük-oturma ilişkisine göre taşıma kapasitesi yaklaşık 75kN olurken oturma değeri 3.5mm değerindedir.

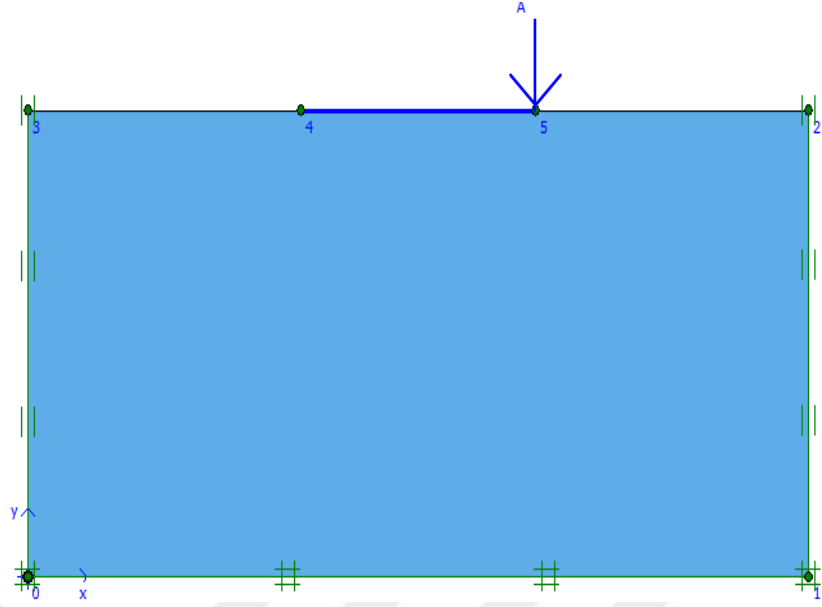


Şekil 5.7. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi



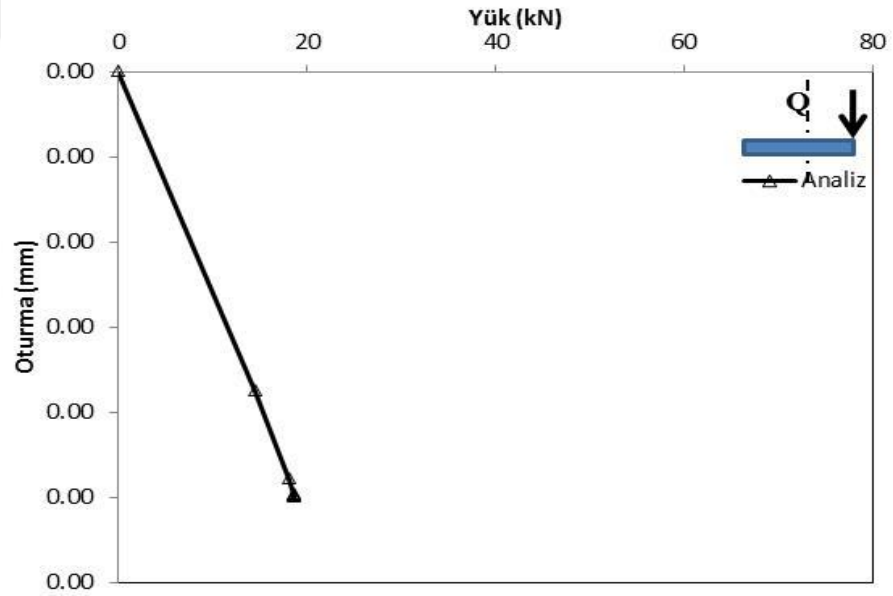
Şekil 5.8. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$)

Kum zemin eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.5$) sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.9’da yer almaktadır.



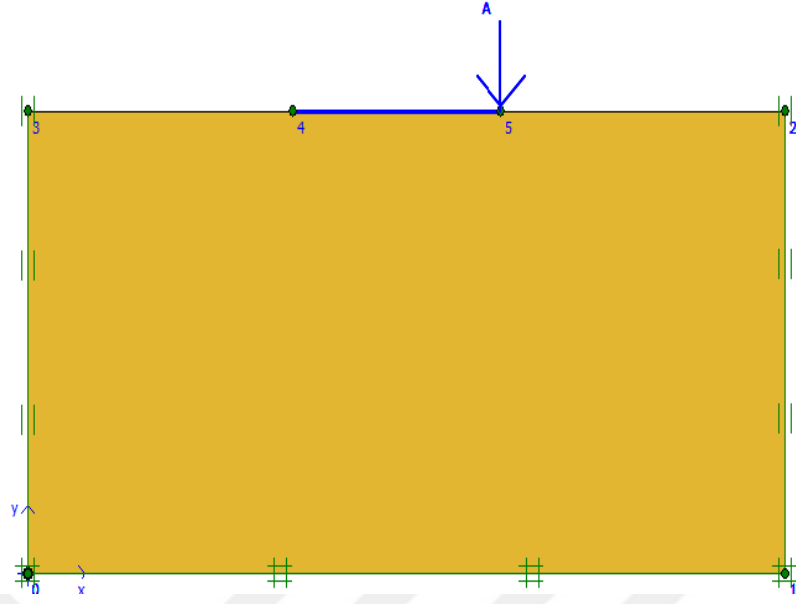
Şekil 5.9. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5$)

Kum zeminde sayısal analiz sonuçlarına göre şerit temelin taşıma kapasitesi 20kN olurken, zeminde oturma ve kabarma meydana gelmiştir (Şekil 5.10).



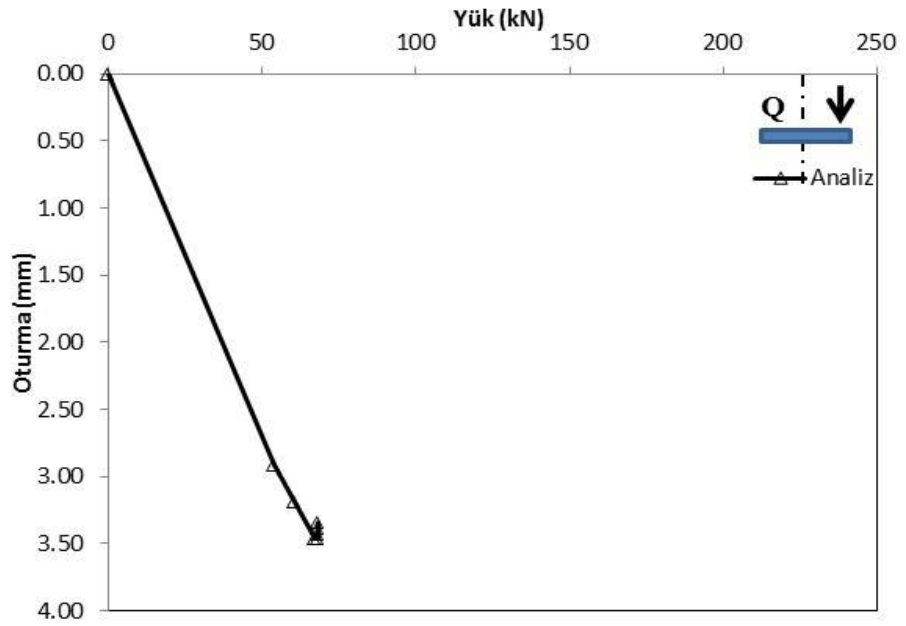
Şekil 5.10. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$)

Benzer şekilde kil zeminde eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.5$) sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.11'de yer almaktadır.



Şekil 5.11. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5$)

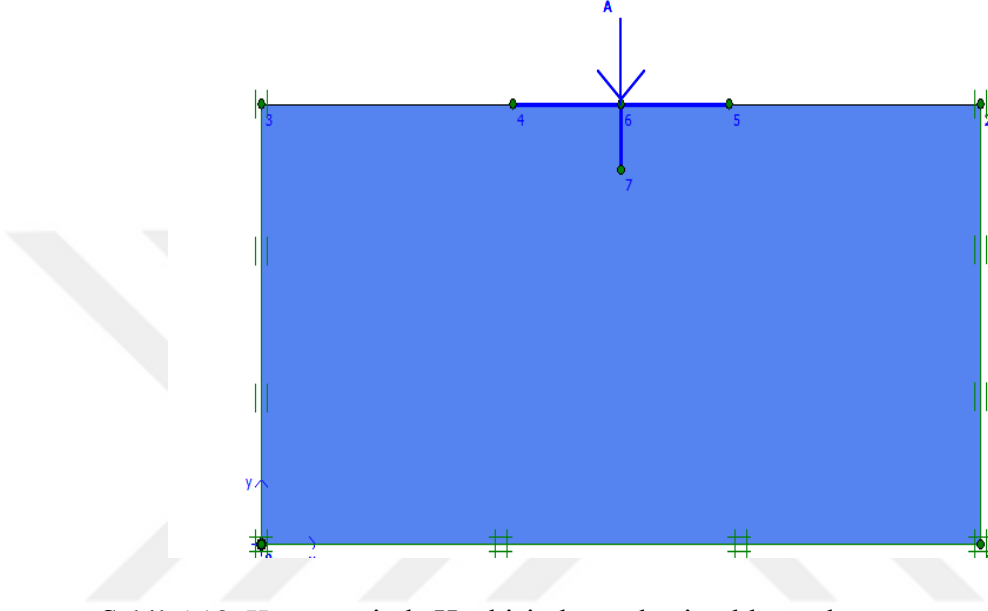
Kil zeminde şerit temele merkezinden 30cm uzaklıkta yük uygulanması durumunda sayısal analiz sonuçları incelendiğinde Şekil 5.12'deki grafikte taşıma kapasitesi değeri 60kN iken oturma değeri yaklaşık 3mm'dir.



Şekil 5.12. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$)

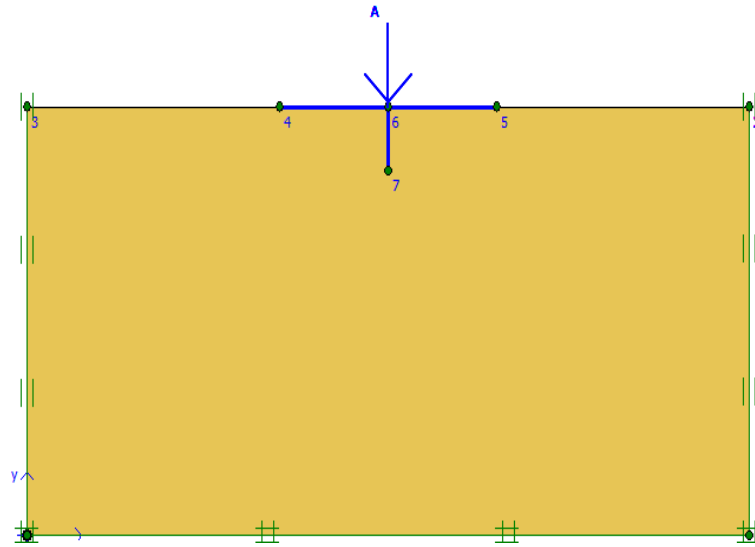
5.2. SERİ B – Şerit Temelde Diş (H) Etkisi

Bu seride $H=15\text{cm}$ diş etkisinde kum ve kil zeminlerde sayısal analizler yapılmıştır. Kum zeminde merkezi yükleme durumunda sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.13'te yer almaktadır. Bu seride de şerit temelin uzunluğu 60cm olarak alınmıştır.



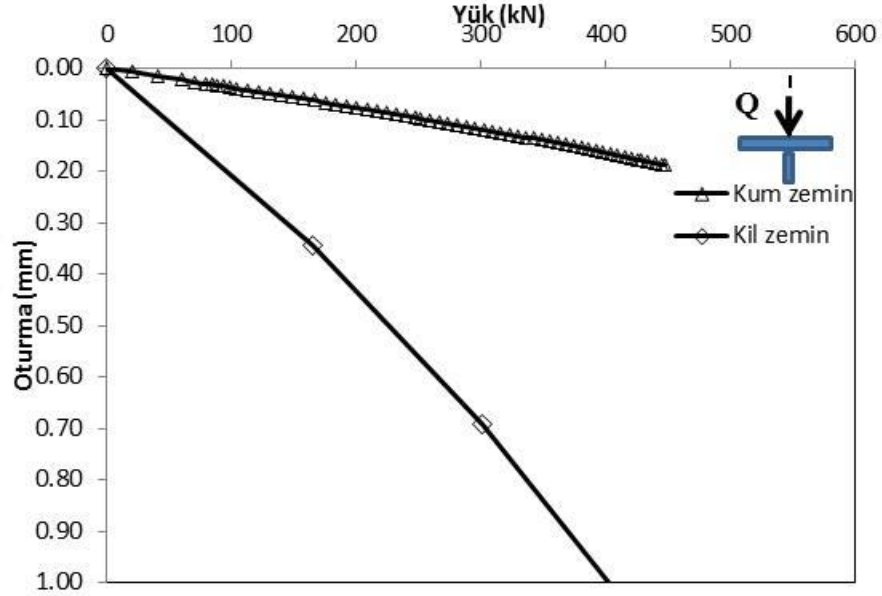
Şekil 5.13. Kum zeminde H etkisinde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi

Kil zeminde benzer şekilde merkezi yükleme durumunda sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.14'te yer almaktadır.



Şekil 5.14. Kil zeminde H etkisinde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi

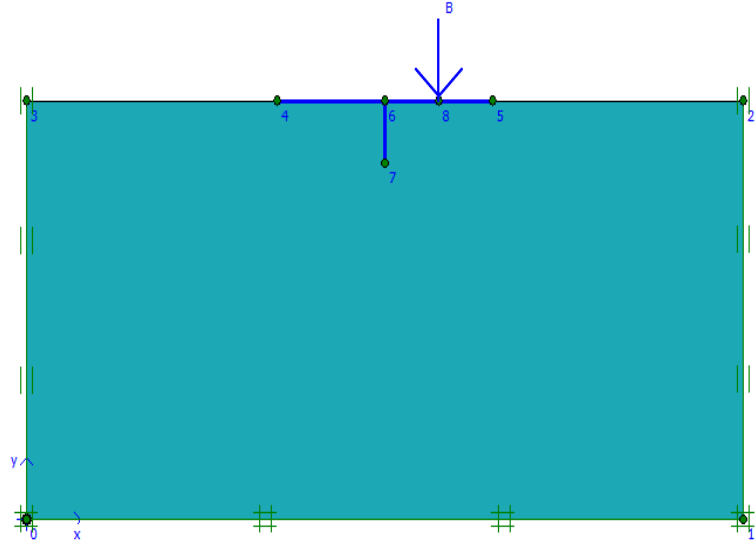
Kum ve kil zeminde H etkisinde ($H/B=0.25$) sayısal analiz sonuçları aynı grafikte kıyaslanmıştır. Şekil 5.15'te görüldüğü üzere kum zeminde şerit temelin taşıma kapasitesi yaklaşık 500kN iken, kil zeminde bu değer 350kN civarındadır. Burada dış ilavesinin kum zeminde taşıma kapasitesi değerini 100kN artırdığı gözlenmiştir. Oturma değerleri ise kum zeminde 0.2mm iken kil zeminde bu değer yaklaşık 1mm'dir.



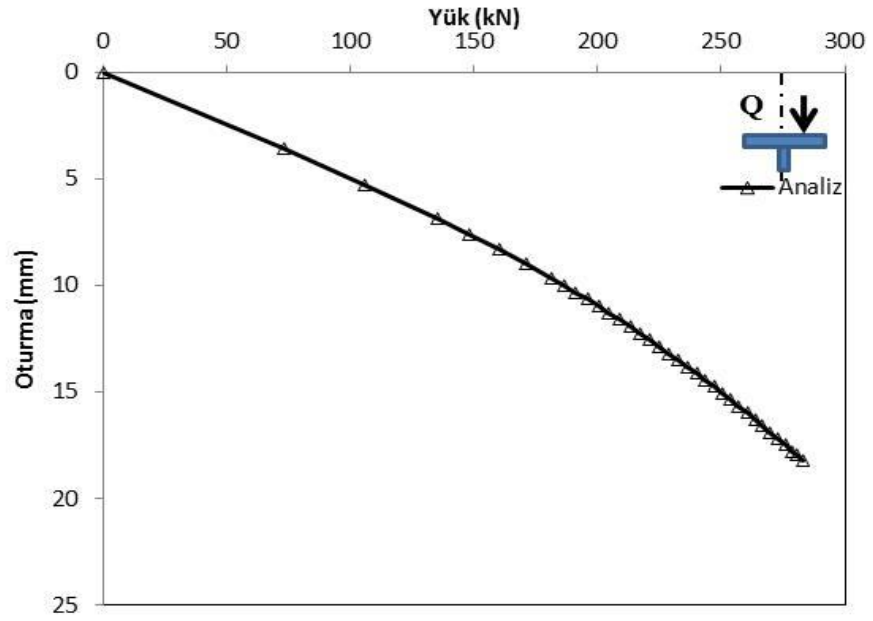
Şekil 5.15. Kum ve kil zemin merkezi yükleme durumu ($e/B=0$, $H/B=0.25$)

Kum zeminde dış etkisinde merkezi yüklemeden sonra eksantrik yükleme ($e/B=0.25$) olması halinde sayısal analizler yapılmıştır (Şekil 5.16).

Kum zeminde dış etkisinde +x yönünde eksantrik yükleme uygulandığında sayısal analiz sonuçları Şekil 5.17'de yer almaktadır. Buna göre taşıma kapasitesi değerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken oturma değerinin 15mm'ye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, eksantrisite arttıkça kum zeminde meydana gelen oturmanın da arttığını göstermiştir.

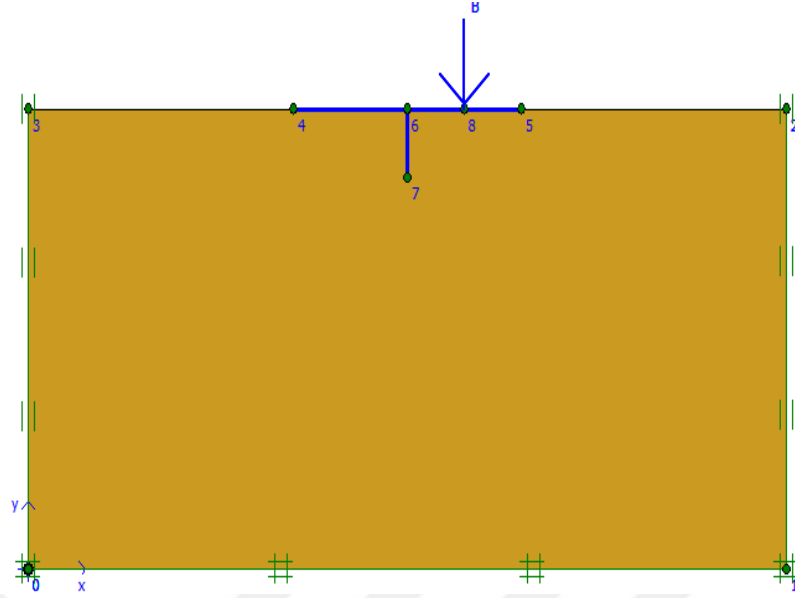


Şekil 5.16. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi ($e/B=0.25$)

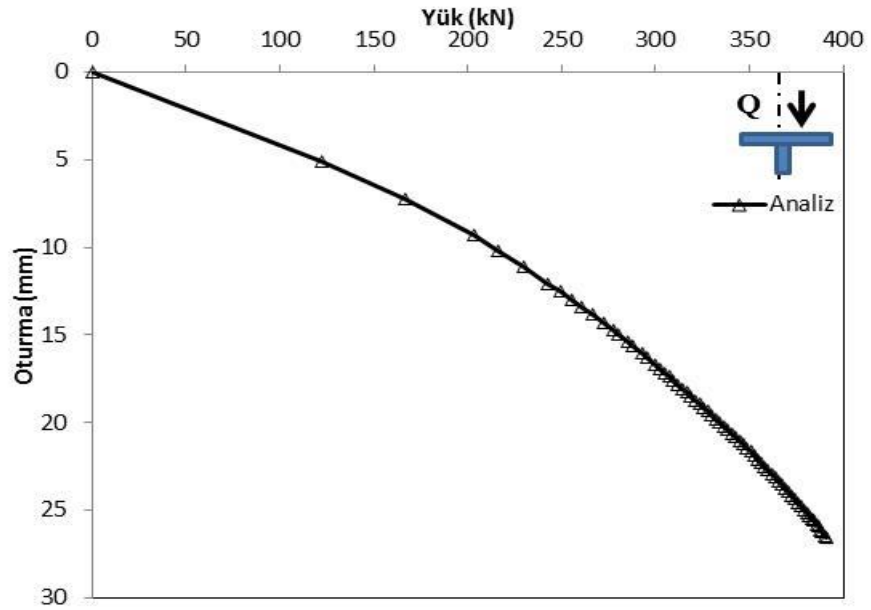


Şekil 5.17. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$ $H/B=0.25$)

Kil zeminde dış etkisinde ($H/B=0.25$) eksantrik yükleme halinde sayısal analiz yapılmıştır. Şekil 5.18'de sayısal analiz şematik gösterimi yer almaktadır. Şekil 5.19'da ise bu koşullar altında elde edilen yük-oturma eğrisi verilmiştir.



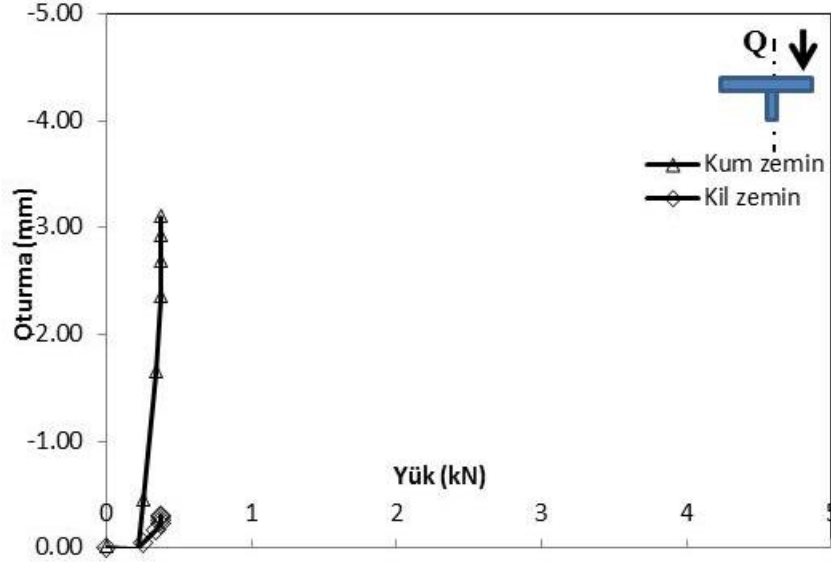
Şekil 5.18. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu analiz gösterimi
($e/B=0.25$ $H/B=0.25$)



Şekil 5.19. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$ $H/B=0.25$)

Şekil 5.19'daki grafikte de görüleceği üzere kil zeminde dış etkisinde +x yönünde eksantrik yükleme uygulandığında taşıma kapasitesi değeri 400kN'a çıkarken oturma değeri 25mm olduğu gözlenmiştir. Kil zeminde şerit temelin kum zemine göre taşıma kapasitesi ve oturma değeri yüksektir.

Kum ve kil zeminde H etkisinde eksantrik yükleme ($e/B=0.5$) durumunda Şekil 5.20'deki grafikte kum ve kil zeminde taşıma kapasitesi-oturma değerleri karşılaştırılmıştır.



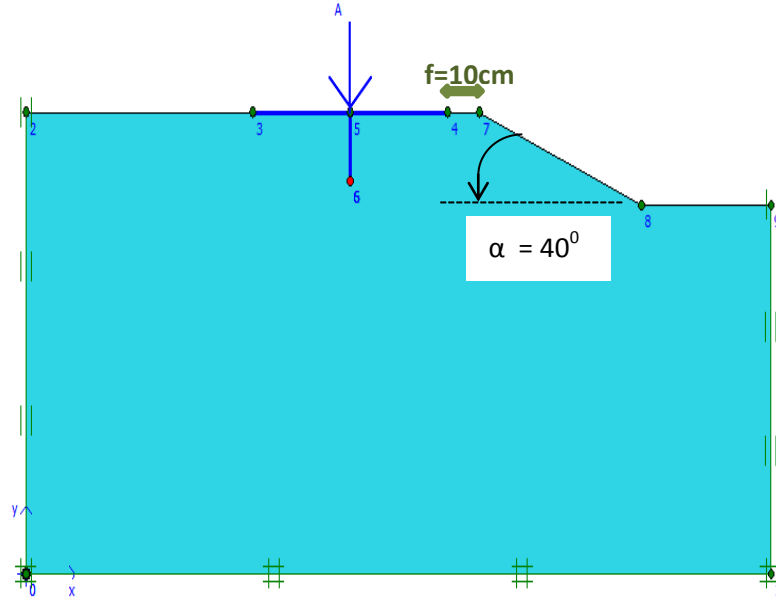
Şekil 5.20. Kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$ $H/B=0.25$)

Grafiğe göre kum ve kil zeminde taşıma kapasitesi değerleri oldukça düşerken zeminde kabarmalar meydana gelmiştir.

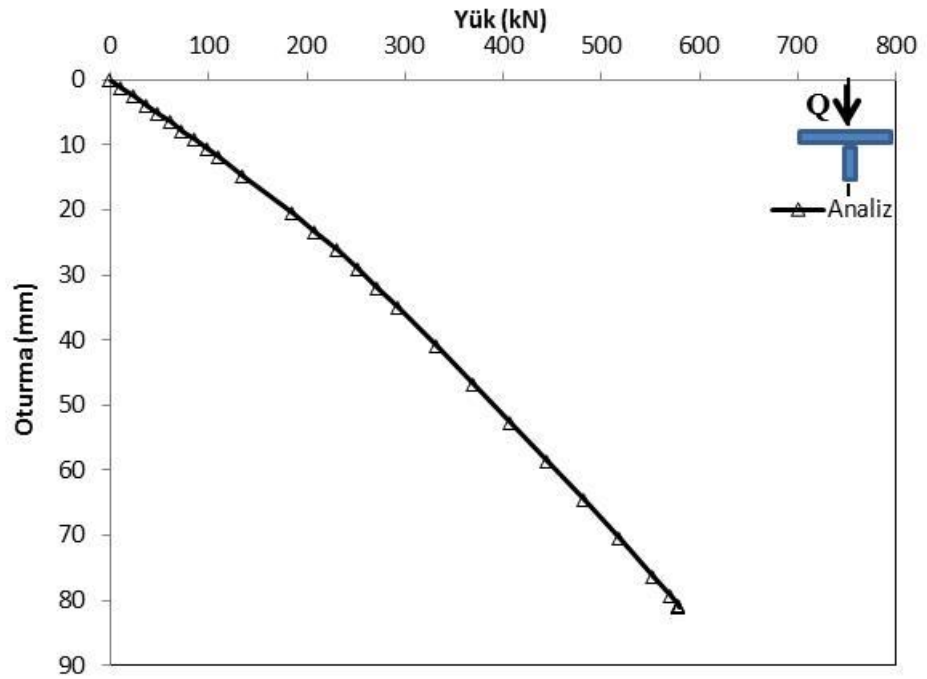
5.3. SERİ C – Şerit Temelde Şevli Durumda Dış (H) Etkisi

Bu seride şevli zeminlerde analizler yapılmıştır. Şev açısı 40° , 45° ve 60° olan kum zemin ve kil zeminde önce merkezi yükleme durumunda, daha sonra eksantrik yükleme durumunda sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Şev etkisinin taşıma kapasitesine etkileri araştırılmıştır.

İlk olarak T-kesitli temele şevli kum zeminde merkezi yükleme yapılmıştır. Şev açısı 40° olup, şev tepesi temelden 10cm uzaklıktadır (Şekil 5.21). Bu durumda elde edilen yük-oturma eğrisi Şekil 5.22'de verilmiştir. Temelin taşıma kapasitesi değeri 600kN olup, oturma değeri yaklaşık 80mm'dir.

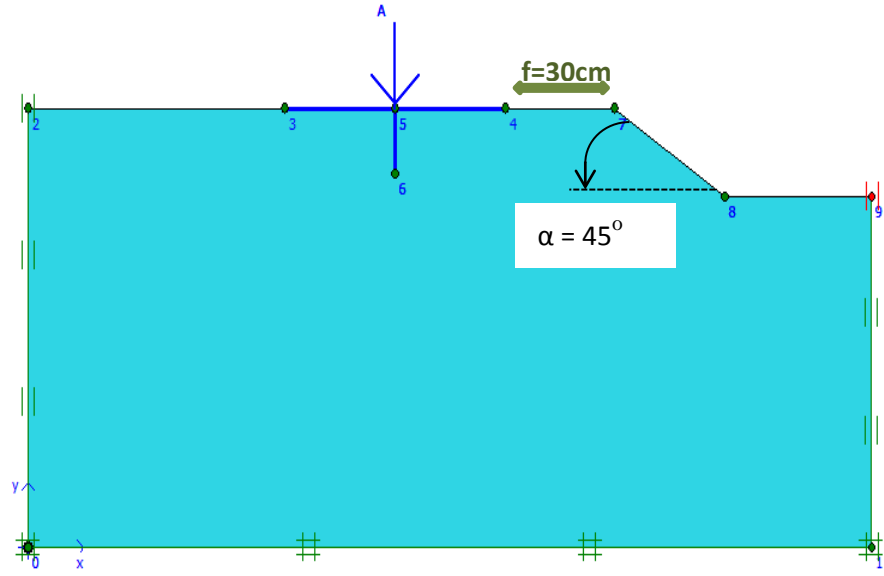


Şekil 5.21. Şevli kum zeminde T-kesitli temel merkezi yükleme durumu şematik gösterimi

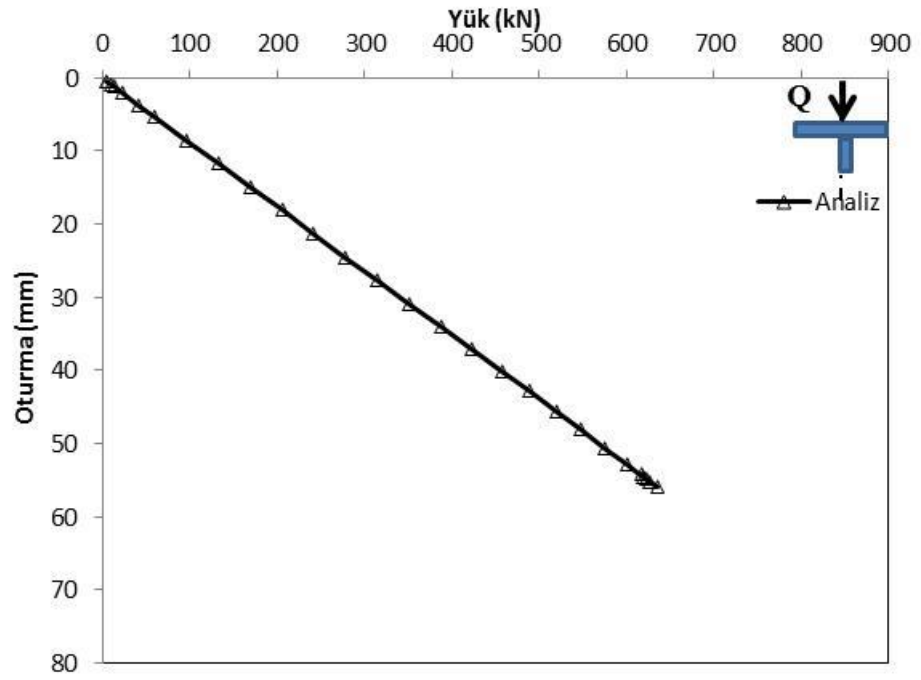


Şekil 5.22. Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=40^\circ$)

Şevli kum zeminde şev açısı 45 dereceye çıkartılmış ve şev başlangıcı temelden 30cm uzaklıkta olması halinde ($f=30\text{cm}$) sayısal analiz yapılmıştır (Şekil 5.23). Bu yükleme durumunu temsil eden grafik Şekil 5.24'te yer almaktadır. Buna göre taşıma kapasitesi değeri artarak 650kN' a çıkarken, oturma değeri yaklaşık 60mm gözlenmiştir.

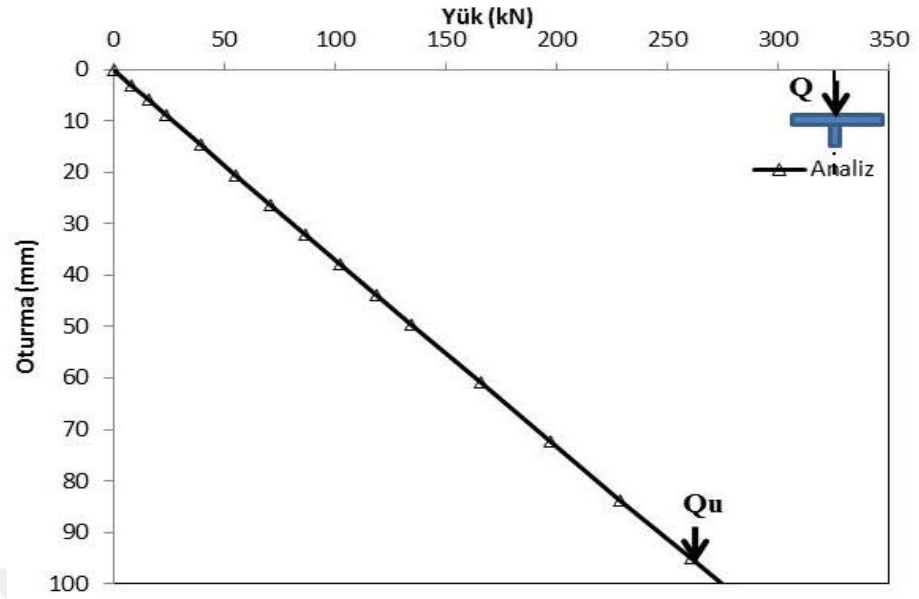


Şekil 5.23. Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu analiz gösterimi



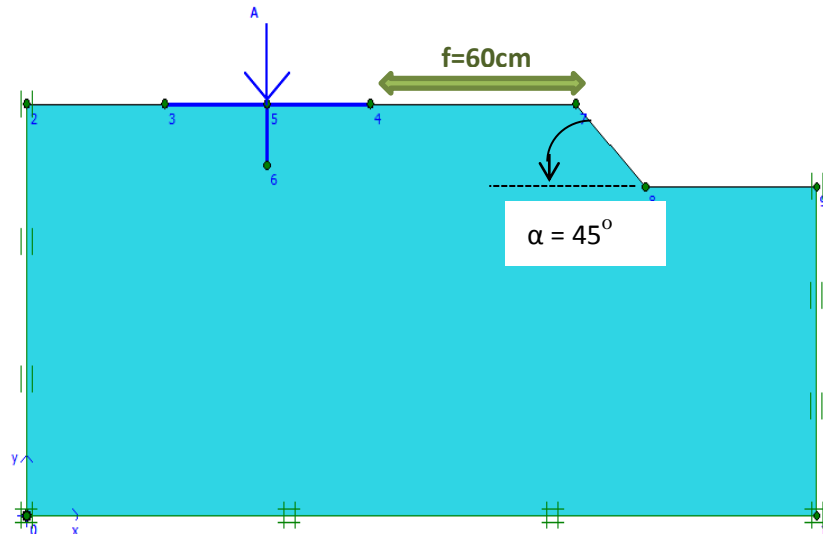
Şekil 5.24. Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Kum zeminde yapılan analizler kil zeminde de uygulandığında alınan sonuçlar Şekil 5.25'teki grafikte gösterilmektedir. Şerit temelin taşıma kapasitesi Q_u değeri yaklaşık 250kN olurken oturma değeri 90mm olarak belirlenmiştir.



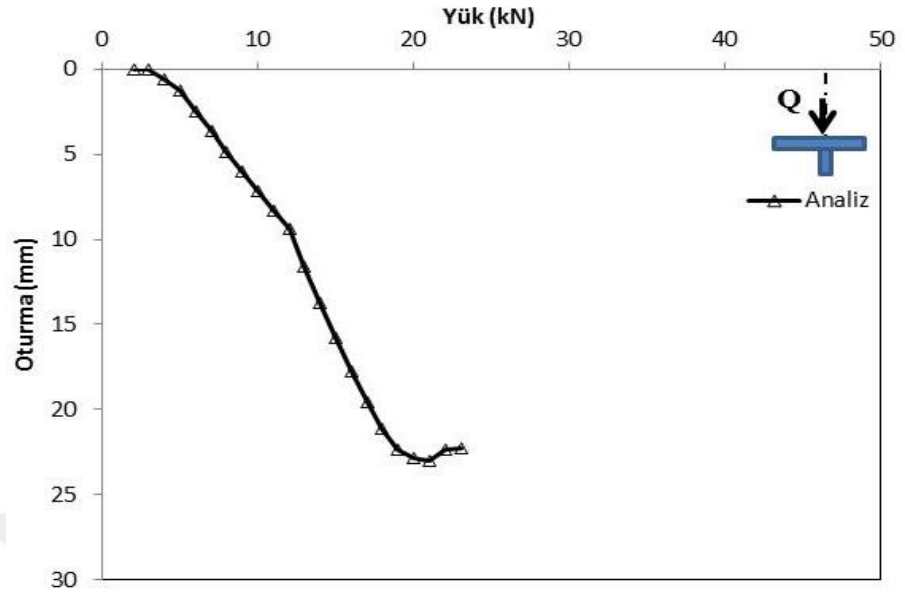
Şekil 5.25. Kıl zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Bu seri sayısal analizlerde şevli kum zeminde şev açısı ($\alpha=45^\circ$) sabit tutulmuş ancak şev tepesinin temele mesafesi 30cm'den 60cm'e çıkarılarak analizler tekrarlanmıştır (Şekil 5.26).



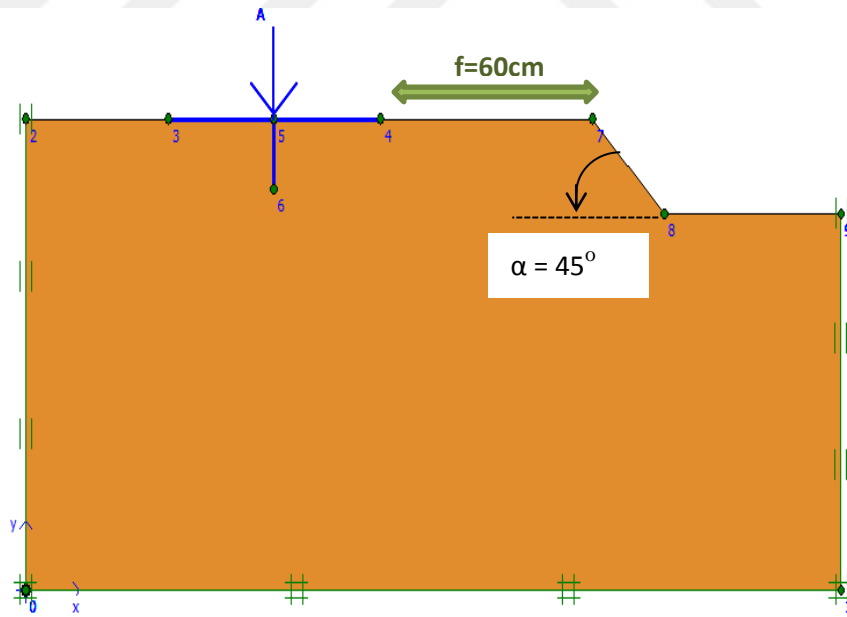
Şekil 5.26. Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şekil 5.27'de merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$) için yük-oturma eğrisi yer almaktadır. Bu grafiğe göre şevli kum zeminde şerit temelin taşıma kapasitesi 30kN ve zeminde oturma değeri yaklaşık 25mm'dir.



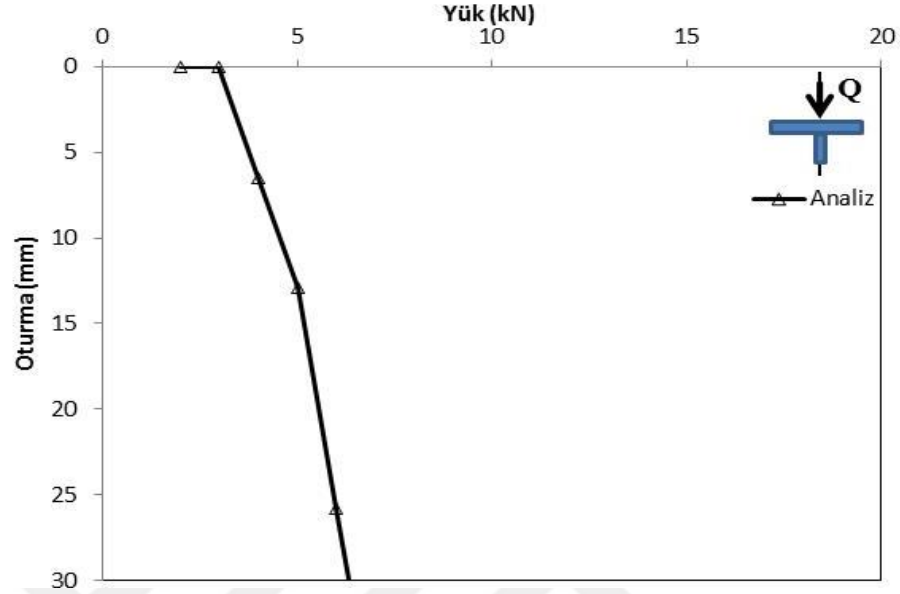
Şekil 5.27. Şevli kum zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Benzer şekilde yükleme durumu şevli kil zeminde uygulaması Şekil 5.28’de yer almaktadır.



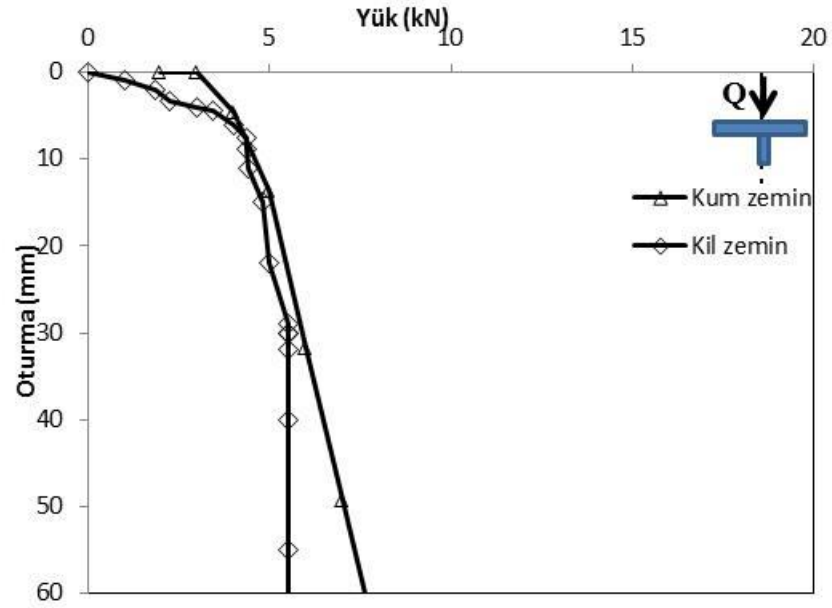
Şekil 5.28. Şevli kil zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şev tepesi uzaklığı kum zeminde olduğu gibi 60cm uzaklıkta alındığında sayısal analizlerde taşıma kapasitesi değerinin 10kN'a kadar düştüğü görülmektedir. Zemindeki oturma değeri de 90mm iken azalarak yaklaşık 30mm değerini almıştır. (Şekil 5.29).



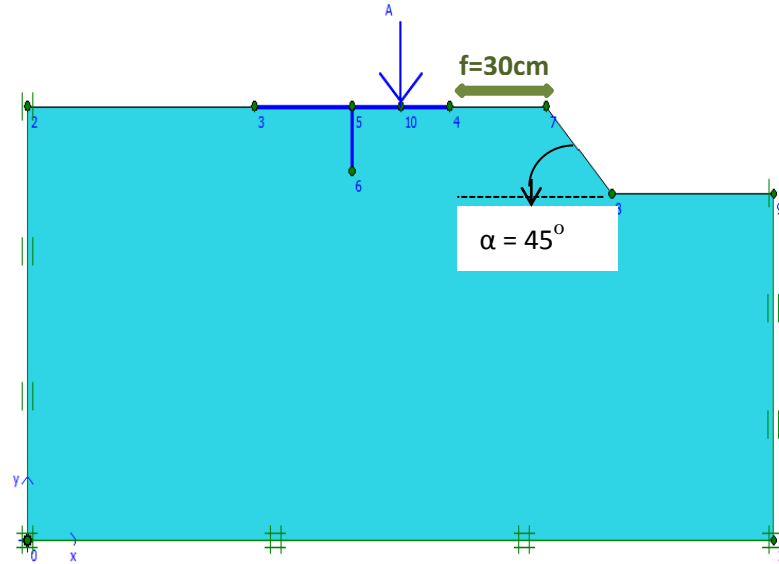
Şekil 5.29. Kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^0$)

Şev tepesi uzaklığı 60cm'den 120cm'e çıkarılarak kum ve kil zeminde merkezi yükleme halinde sayısal analizler yapılmıştır. Burada H ve α değeri sabit tutulmuştur. Sayısal analiz sonuçları Şekil 5.30'daki grafikte kum ve kil zemin için bir arada yer almaktadır. Buna göre taşıma kapasitesi değeri kum zeminde yarı yarıya düşerken kil zeminde bu değer 5kN'a kadar düşmüştür. Oturma değerleri kıyaslanacak olursa kum zeminde oturma değeri 60mm'ye kadar çıkmıştır. Kil zeminde ise bu değer 10mm artarak 40mm değerini almıştır (Şekil 5.30).



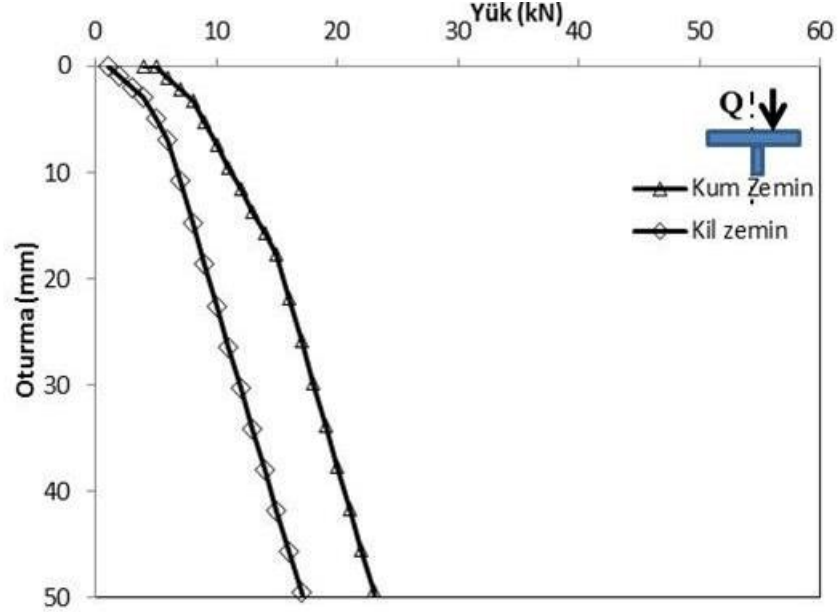
Şekil 5.30. Kum ve kil zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Bu seri analizlerde şevli kum ve kil zeminde H etkisinde T-kesitli temelin eksantrik yükleme durumunda taşıma gücü ve oturma değerleri incelenmiştir. Şekil 5.31'de sayısal analiz şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 5.31. Kum zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$)

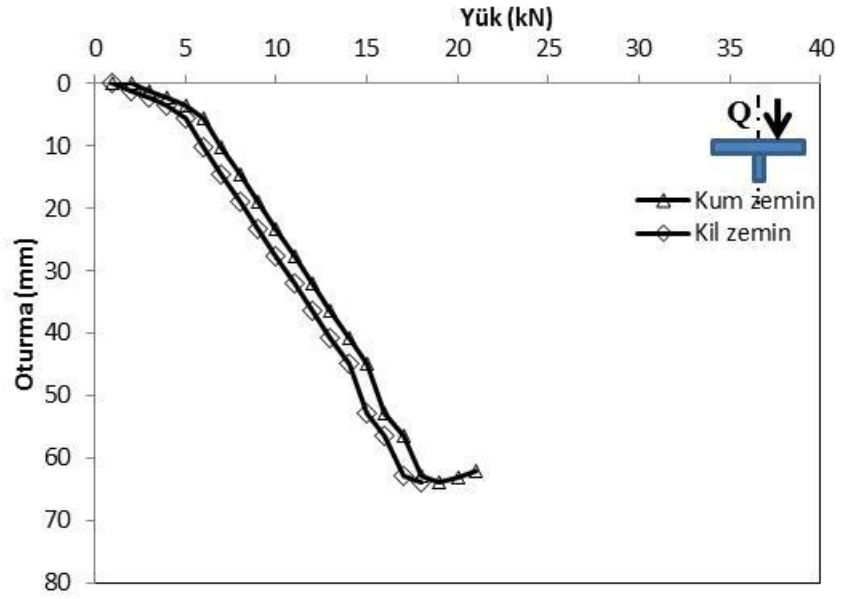
Şekil 5.32'deki grafikte kum ve kil zeminde sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.32. Şevli kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$)

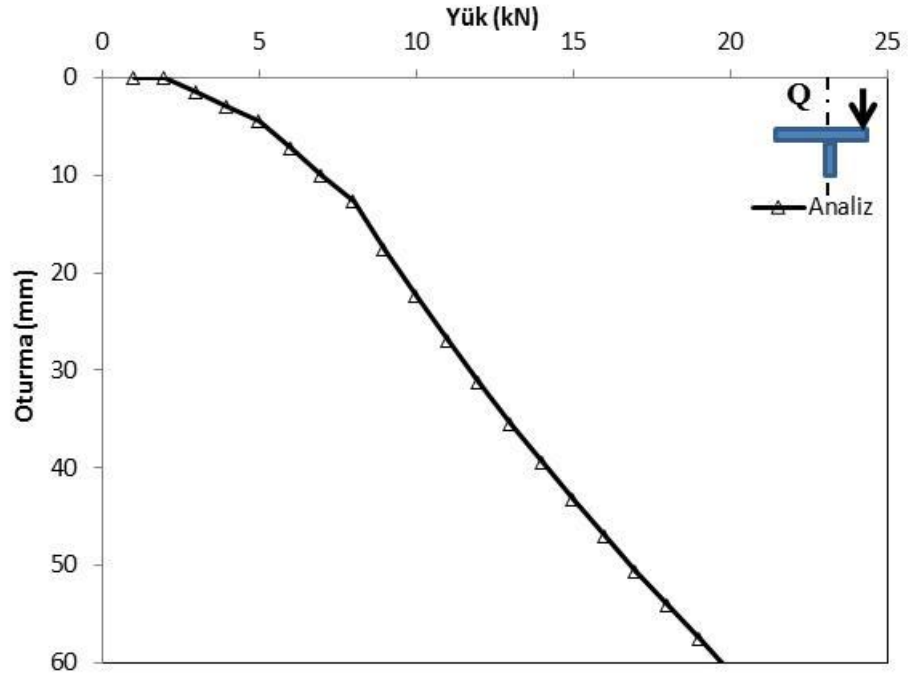
Şekil 5.32'ye göre kum zeminde taşıma kapasitesi değeri 25-30kN iken kil zeminde bu değer yaklaşık 15kN'dur. Oturma değeri kum zeminde 45mm'dir. Kil zemine eksantrik yük uygulandığında taşıma gücü yaklaşık 15kN olurken oturma değeri ise yaklaşık 40mm'dir.

Şevli kum ve kil zeminde H etkisinde eksantrik yüklemede ($e/B=0.25$) şev tepesi mesafesi 60cm'e çıkarılarak ($f=60cm$) sayısal analizler yapılmıştır. Şekil 5.33'teki grafiğe göre temelin taşıma kapasitesi değerleri kum ve kil zeminde 20-25kN civarındadır. Grafikte de görüldüğü üzere oturma değerinde kum ve kil zeminde birbirine yakın değerler elde edilmiş olup bu değer yaklaşık 60mm'dir.



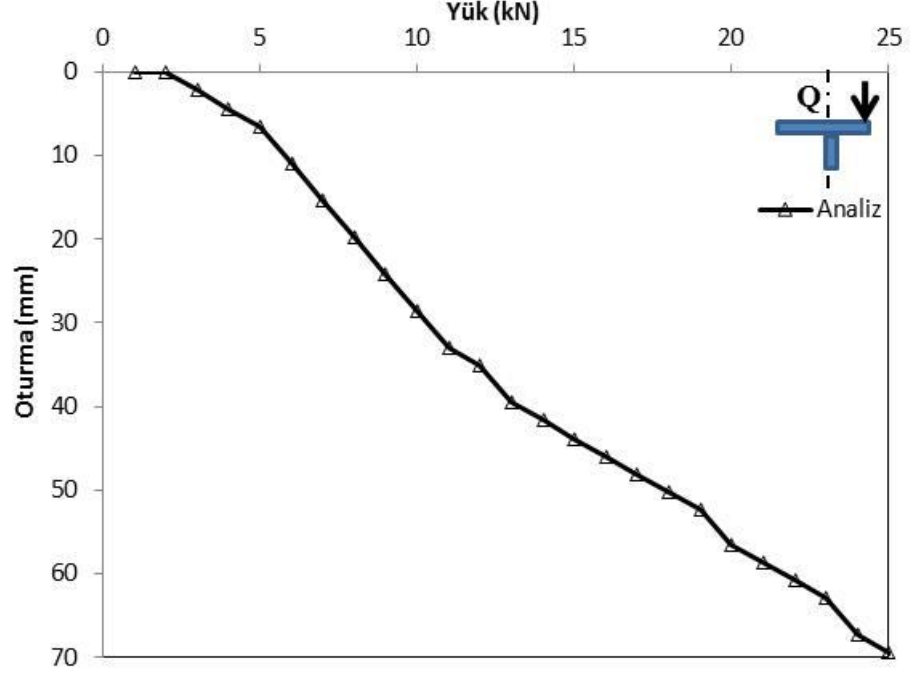
Şekil 5.33. Kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$)

Kum zeminde T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu için analiz edilmiştir. Bir önceki analizlere göre şev açısı ($\alpha=45^\circ$) ve dış yüksekliği ($H/B=0.25$) sabit tutulup eksantrisite ($e/B=0.5$) arttırıldığında Şekil 5.34'de görüldüğü gibi zeminde meydana gelen oturma 70mm'ye kadar çıkmıştır.



Şekil 5.34 Kum zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=45^\circ$)

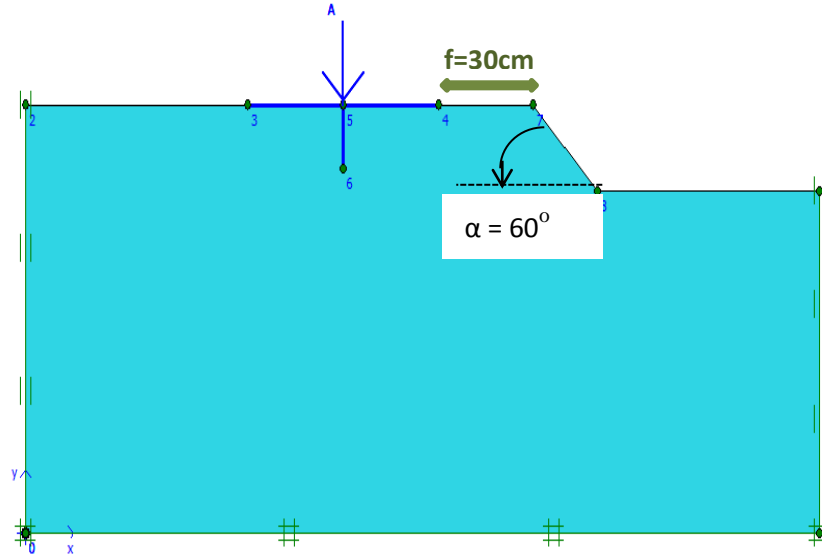
Kil zeminde eksantrik yükleme yapıldığında ise taşıma kapasitesi değerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken oturma değeri ise 90mm'ye kadar çıkmıştır (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. Kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

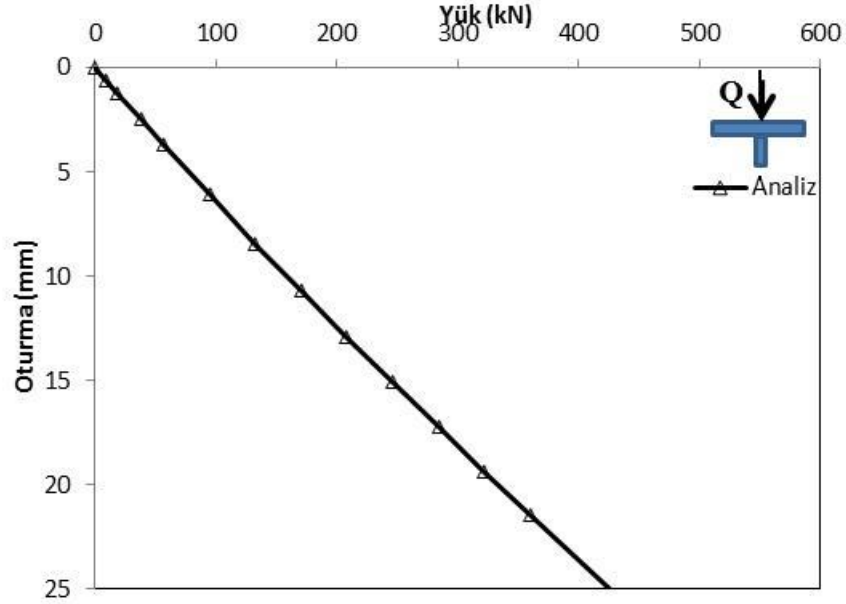
Grafikler incelendiğinde temelin nihai taşıma kapasitesine eriştikten sonra taşıma kapasitesinde bir değişikliğin olmadığı, ancak zemindeki oturma değerinin eksantrikliğe bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Bu bölüme kadar şev açısı sabit tutularak analizler yapılmıştır. Bu bölümde ise şevli kum ve kil zeminlerde şev açısı 45° den 60° ye çıkarılmıştır. Şerit temele önce merkezi yükleme, ardından eksantrik yüklemeler yapılarak taşıma kapasitesi-oturma değerleri incelenmiştir. Şekil 5.36'da şerit temel merkezi yükleme halinde sayısal analiz şematik gösterimi yer almaktadır.



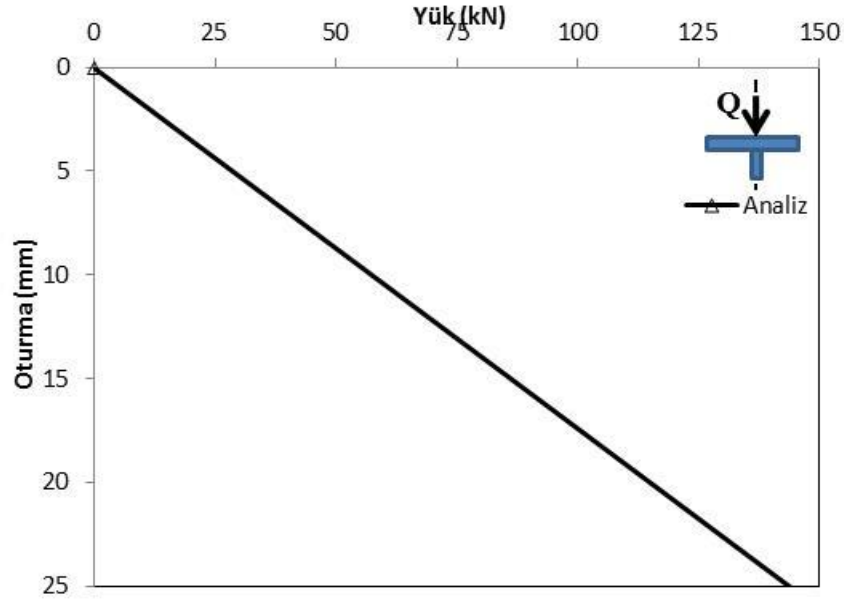
Şekil 5.36. Şevli kum zemin merkezi yükleme şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Sayısal analiz sonuçları Şekil 5.37'deki grafikte yer almaktadır. Buna göre temelin merkezi yükleme halinde taşıma kapasitesi 500kN'a kadar çıkarken oturma değeri yaklaşık 25mm olarak gözlenmiştir.



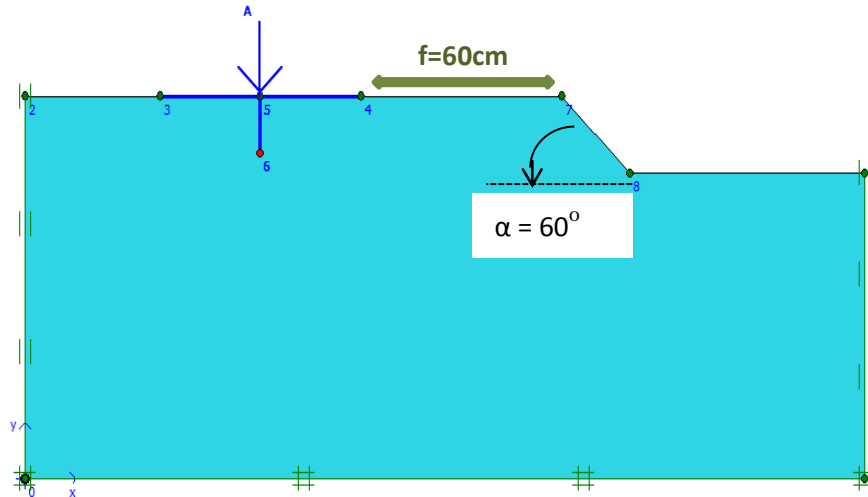
Şekil 5.37. Şevli kum zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Kum zeminde yapılan sayısal analiz kil zeminde uygulandığında alınan sonuçlar Şekil 5.38’de gösterilmiştir. Merkezi yükleme halinde taşıma kapasitesi 500kN’a kadar çıkarken oturma değeri yaklaşık 20mm olarak gözlenmiştir.



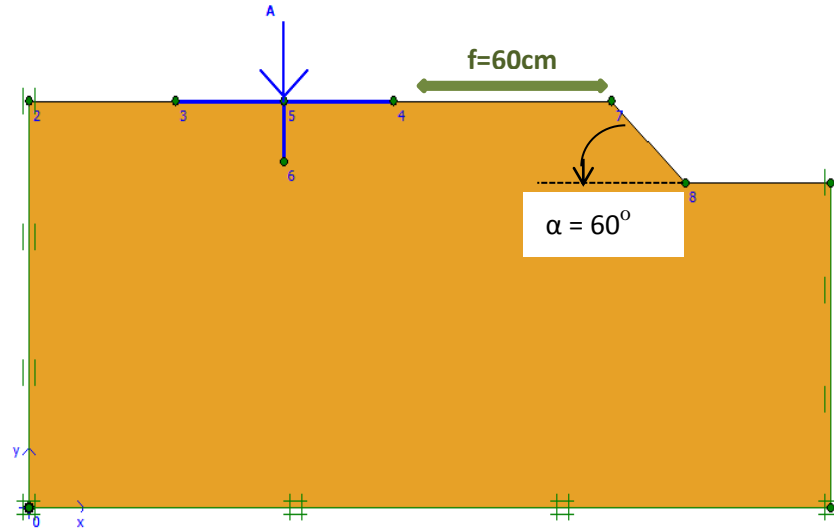
Şekil 5.38. Kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Bu seri analizin bir önceki sayısal analizden tek farkı şev tepesi uzaklığının 30cm’den 60cm uzaklığa çıkarılmış olmasıdır. Buna göre kum zemin sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.39’da gösterilmektedir.

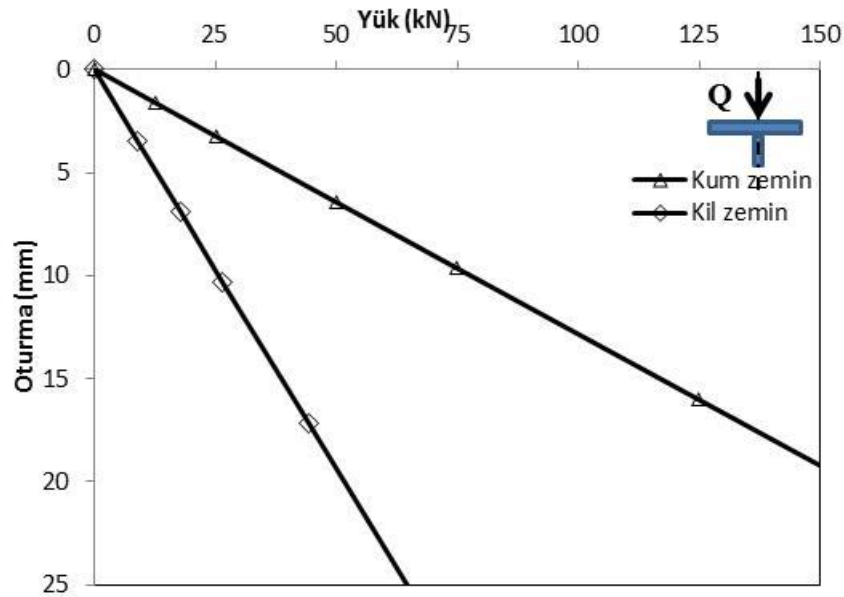


Şekil 5.39. Kum zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Kil zeminde merkezi yükleme halinde sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.40'ta ve sayısal analiz sonuçları ise Şekil 5.41'de yer almaktadır.



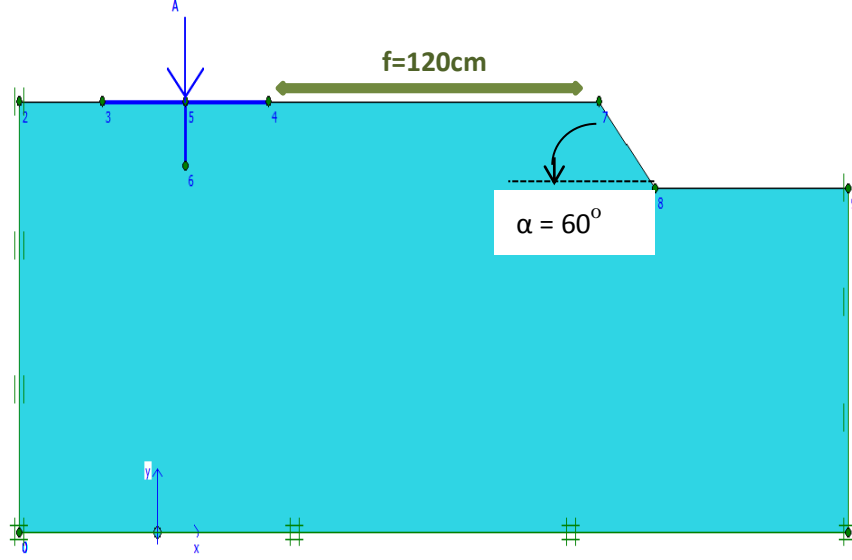
Şekil 5.40. Kil zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)



Şekil 5.41. Kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

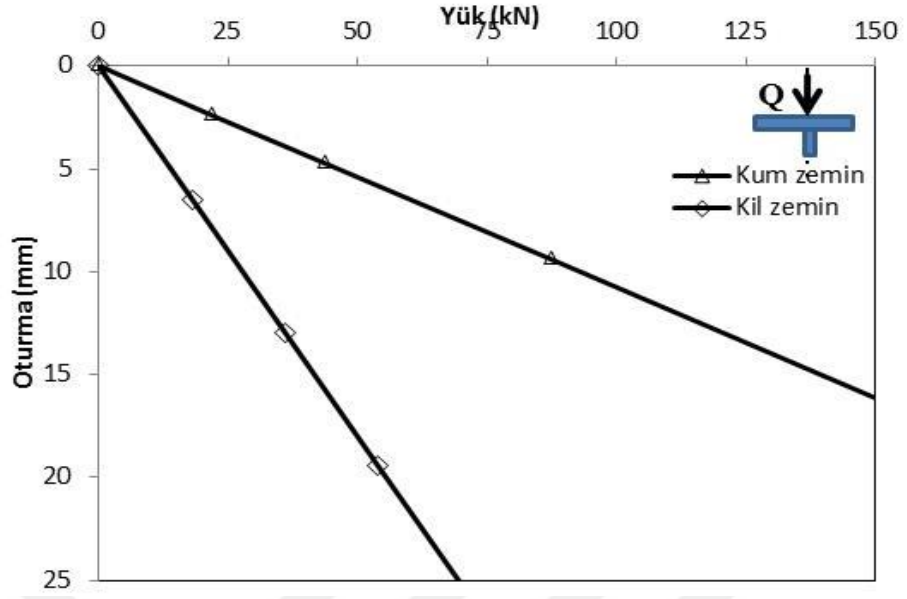
Şekil 5.41'deki grafikte de görüldüğü üzere kum ve kil zeminde taşıma kapasitesi değerleri düşmüştür. Kum zeminde taşıma kapasitesi 500kN'dan 100kN'a kadar düşerken, kil zeminde taşıma kapasitesi 150kN'dan 75kN'a kadar düşmüştür.

Şevli kum ve kil zeminde H etkisinde T-kesitli temele merkezi yük uygulanmıştır. Şev tepesinin temele olan mesafesi (f), 120cm alınarak sayısal analizler tekrarlanmıştır. Şekil 5.42’de kum zeminde sayısal analiz şematik gösterimi yer almaktadır.



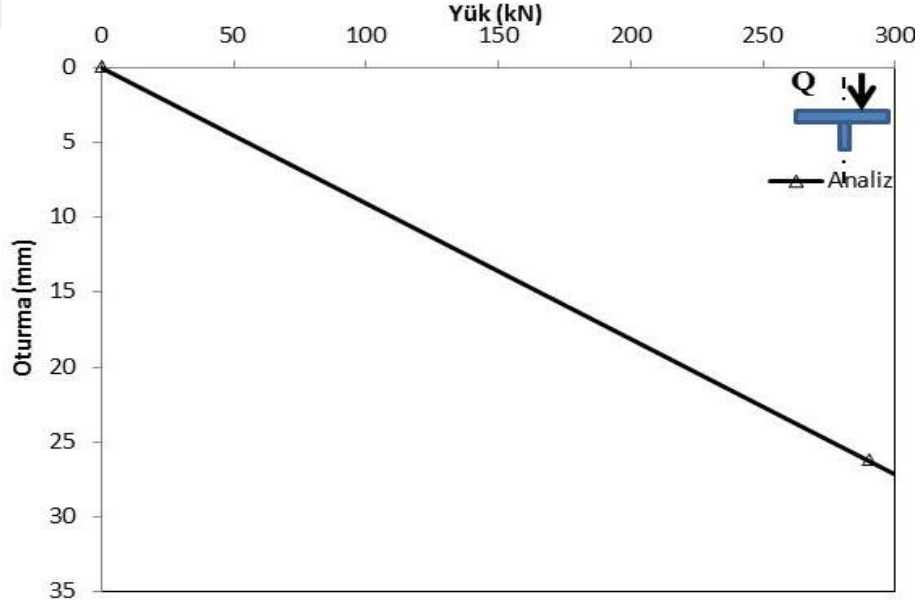
Şekil 5.42. Kum zemin merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Kum ve kil zeminde sayısal analiz sonuçları Şekil 5.43’teki grafikte bir arada verilmiştir. Grafığe göre kum zeminde taşıma kapasitesi 150kN, oturma değeri 15mm iken, kil zeminde T-kesitli temelin taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 70kN olup oturma değeri 25mm’dir.



Şekil 5.43. Kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

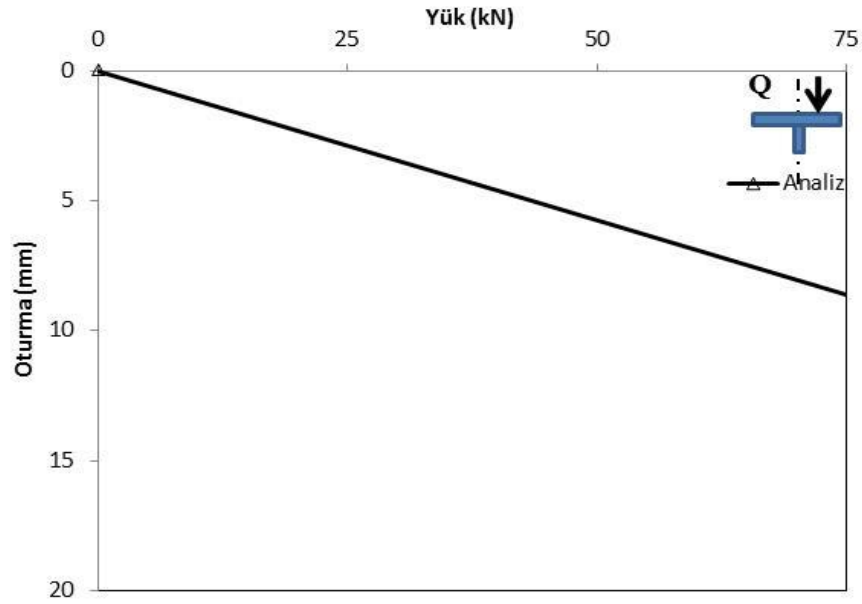
Şevli kum ve kil zeminde merkezi yükleme durumunda yapılan sayısal analizlerin eksantrik yükleme durumunda yapılmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 5.44'teki grafikte yer almaktadır.



Şekil 5.44. Kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

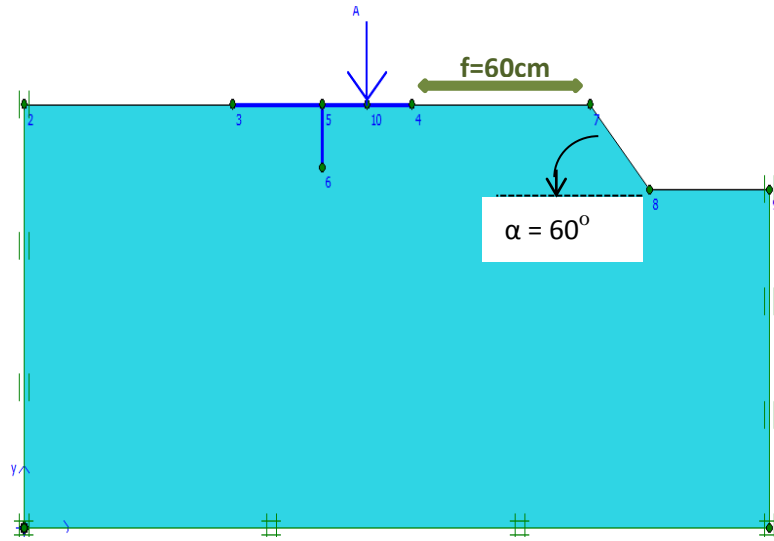
Şekil 5.44'teki grafiğe göre kum zeminde eksantrik ($e/B=0.25$) yüklemde taşıma kapasitesi değeri 300kN olurken oturma değeri 30mm'dir. Kil zeminde ise taşıma kapasitesi değeri 75kN iken oturma değeri 15mm gözlenmiştir (Şekil 5.45). Kum

zeminde şerit temelin taşıma kapasitesi kil zemindekine göre yaklaşık dört katı değer elde edilmiştir.

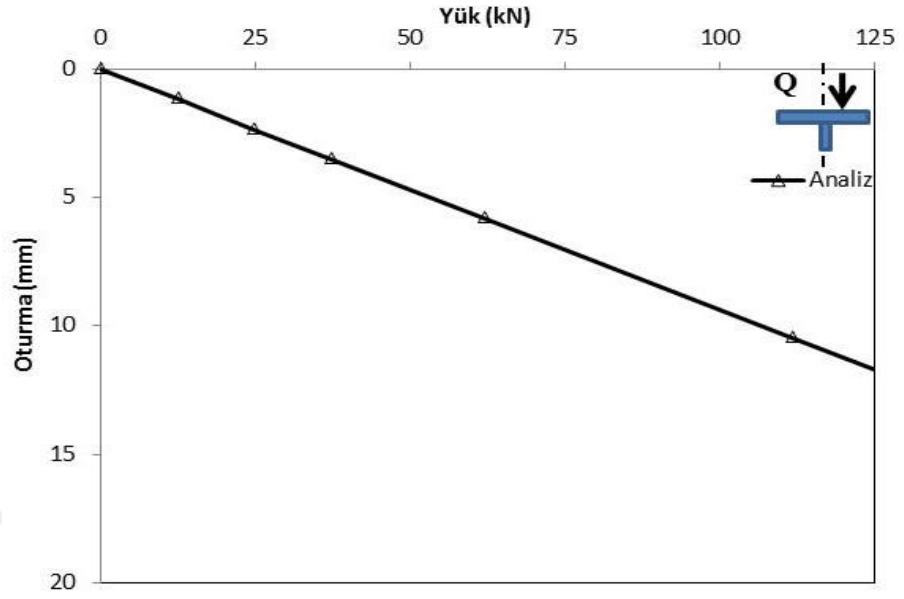


Şekil 5.45. Kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kum zeminde H etkisinde eksantrik yükleme durumu Şekil 5.46'da gösterilmektedir. Bu analizlerde şev tepesinin temele uzaklığı 60cm olup temelin merkezinden 15cm eksantrisitede yükleme yapılmıştır. Taşıma kapasitesi-oturma değerleri Şekil 5.47'de verilmiştir.

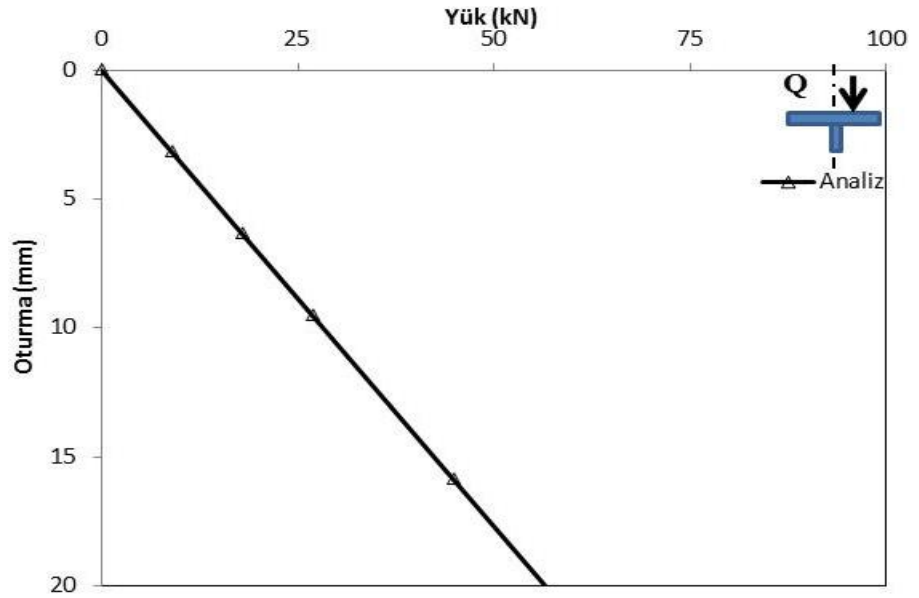


Şekil 5.46. Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)



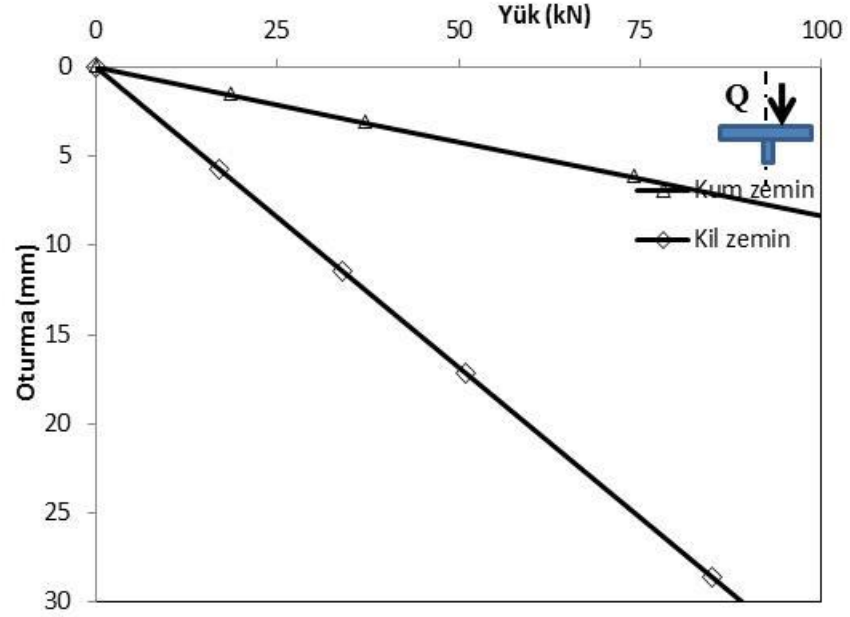
Şekil 5.47. Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kil zeminde H etkisinde eksantrik yükleme durumunda sonuçlar Şekil 5.48'deki grafiktedir. Buna göre kil zeminde şerit temelin taşıma kapasitesi 50kN olurken oturma değeri 25mm'dir.



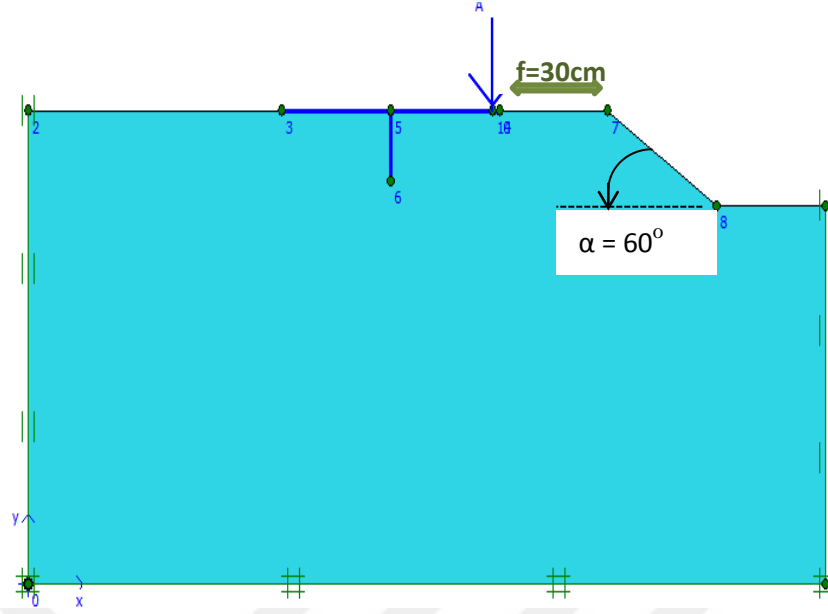
Şekil 5.48. Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Bu seride şevli kum ve kil zeminde analizler yapılmıştır. Şev tepesinin temele uzaklığı 120cm'dir. Kum zeminde taşıma kapasitesi yaklaşık 100kN iken oturma değeri 7mm gözlenmiştir. Kil zeminde ise taşıma kapasitesi değeri 80kN iken oturma değeri 35mm'ye kadar çıkmıştır. Kum ve kil zemin için sonuçlar Şekil 5.49'daki grafikte yer almaktadır.



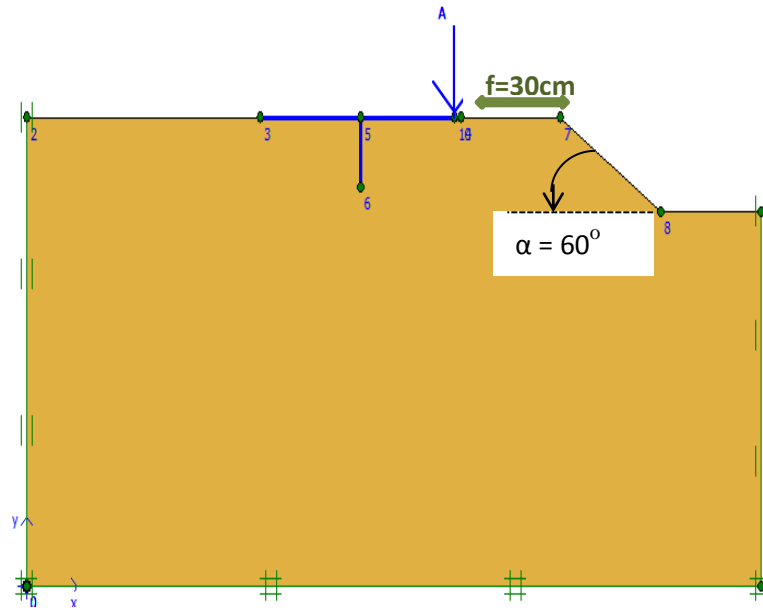
Şekil 5.49. Kum ve kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kum zeminde eksantriklik $0.25B$ 'den $0.5B$ 'ye çıkarılarak analizler yapılmıştır. Şev tepesi temelden 30cm uzaklıkta olup ($f=30\text{cm}$) şev açısı (α) ve dış yüksekliği (H) sabittir. Şekil 5.50'de sayısal analiz şematik gösterimi yer almaktadır.



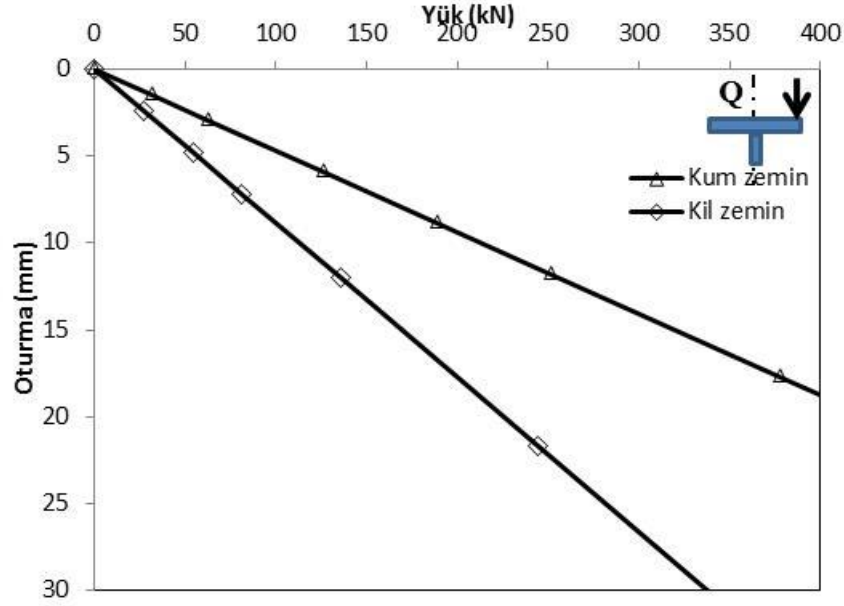
Şekil 5.50. Şevli kum zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi
($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kil zeminde kum zemindeki gibi eksantriklik $0.25B$ 'den $0.5B$ 'ye çıkarılarak analiz yapılmıştır. Şekil 5.51'de sayısal analiz şematik gösterimi yer almaktadır.



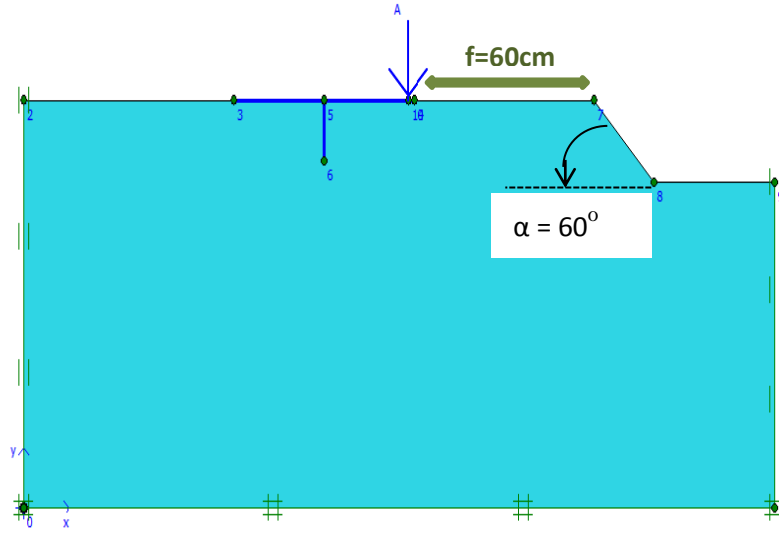
Şekil 5.51. Şevli kil zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi
($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Kum ve kil zemin için sayısal analiz sonuçları Şekil 5.52'deki grafikte birarada verilmiştir. Grafik incelendiğinde kum zeminde taşıma kapasitesi 400kN ve oturma değeri 20mm iken kil zeminde temelin taşıma kapasitesi benzer şekilde 350kN'a kadar çıkmış ve oturma değeri yaklaşık 30mm olarak gözlenmiştir. Kum ve kil zemin için şerit temelin taşıma kapasiteleri hemen hemen aynı değerleri almış olup benzer sonuçlar elde edilmiştir.



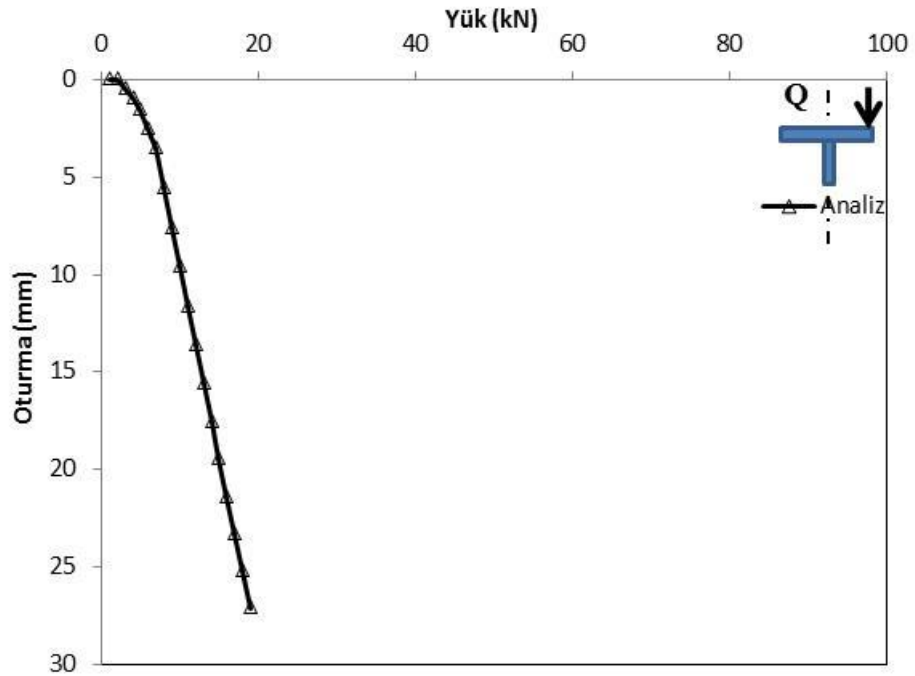
Şekil 5.52. Şevli kum ve kil zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kum zeminde H etkisinde eksantrik yükleme durumu Şekil 5.53'te gösterilmektedir. Bu seride şev başlangıcı 30cm'den 60cm'e çıkarılarak analizler tekrarlanmıştır. Şev açısı ve eksantrisite sabit tutulmuştur.



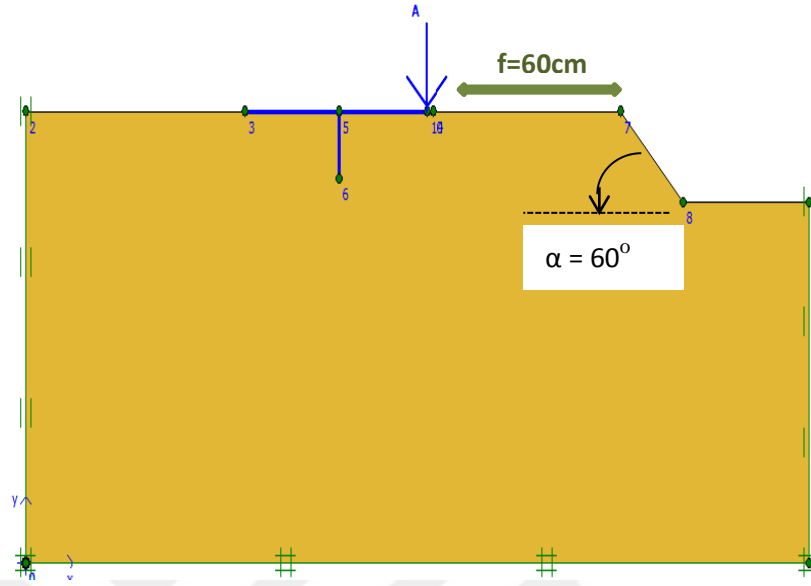
Şekil 5.53. Şevli kum zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi
($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Sayısal analiz sonuçları Şekil 5.54'teki grafikte yer almaktadır. Grafığe göre kum zeminde şerit temelin taşıma kapasitesi 25kN'a kadar düşerken oturma değeri 25-30mm arasında elde edilmiştir.



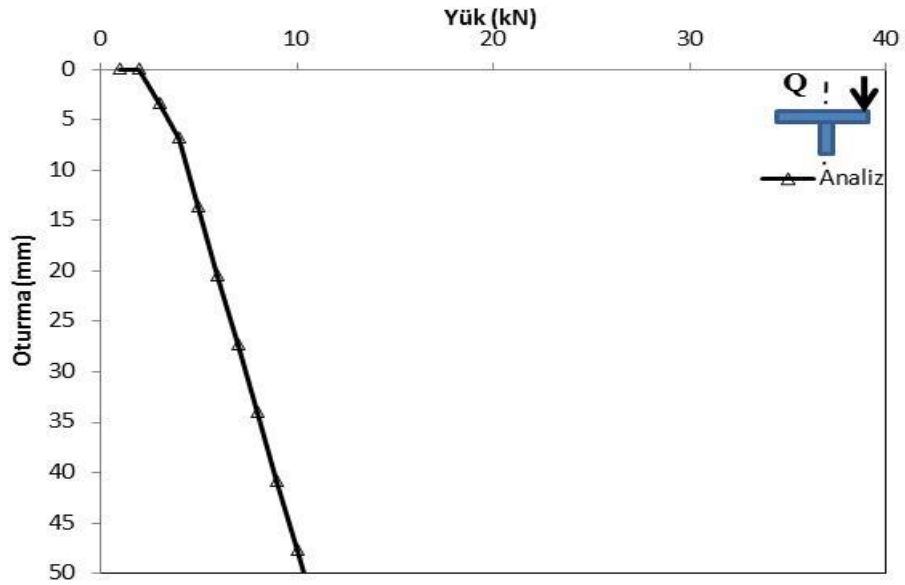
Şekil 5.54. Şevli kum zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Şevli kil zeminde H etkisinde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi Şekil 5.55’de yer almaktadır.



Şekil 5.55. Şevli kil zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi
($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

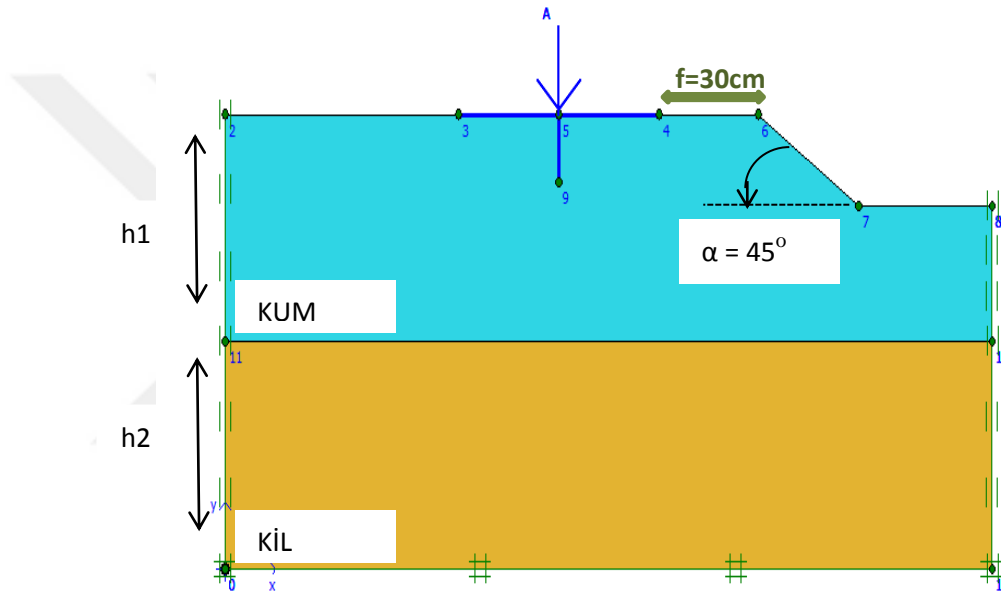
Bu yükleme koşullarında elde edilen yük-oturma ilişkisi Şekil 5.56’deki grafikte sunulmuştur. Bu grafiğe göre kil zeminde taşıma kapasitesi yaklaşık 20kN olup oturma değeri 50mm civarındadır.



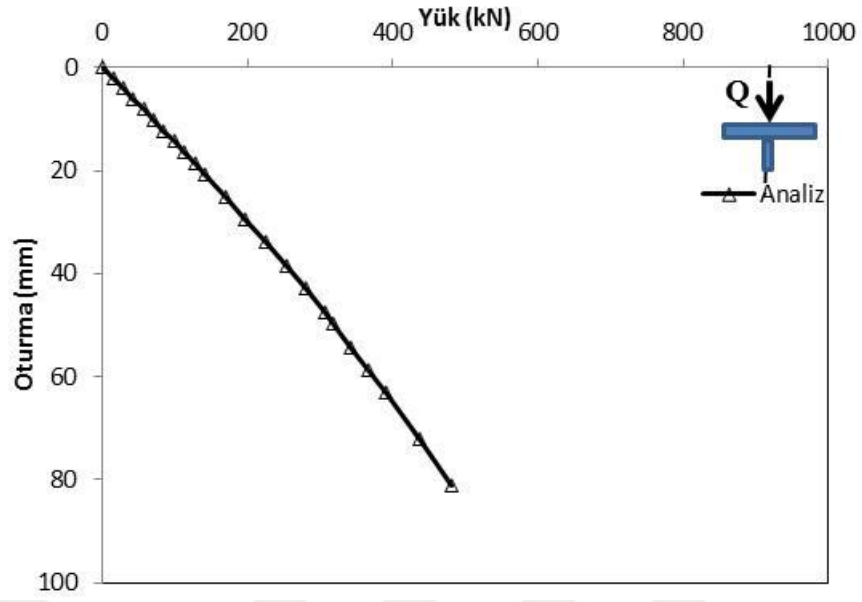
Şekil 5.56. Şevli kil zemin eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

5.4. SERİ D –Şevli Durumda Dış (H) Etkisi – Tabakalı Durum

Bu serilerde şevli kum ve kil zeminlerde yapılan çalışmalar şevli ve tabakalı zeminlerde uygulanmıştır. Şevli ve tabakalı zeminde H etkisinde merkezi yükleme durumu Şekil 5.57’de şematik olarak gösterilmektedir. Tabaka yüksekliği $h_1=h_2$ olup 50cm’dir. Şev açısı $\alpha=45^\circ$ ’dir. T-kesitli temelin şevli ve tabakalı zeminde H etkisinde merkezi yükleme halinde taşıma kapasitesi-oturma değerleri incelenmiştir. Sayısal analizlerde kum zemin üstte, kil zemin altta olarak tasarlanmıştır. Sayısal analiz sonuçları Şekil 5.58’deki grafikte yer almaktadır.



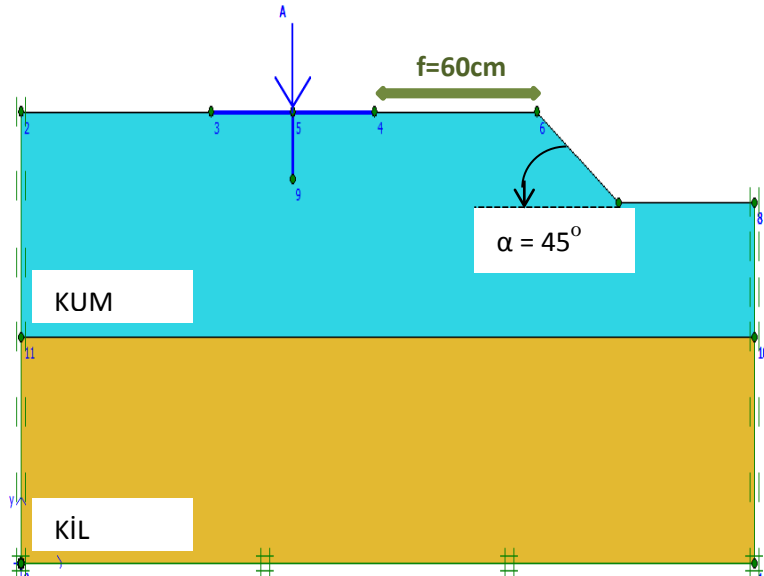
Şekil 5.57. Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi
($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$, $h_1=h_2$)



Şekil 5.58. Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

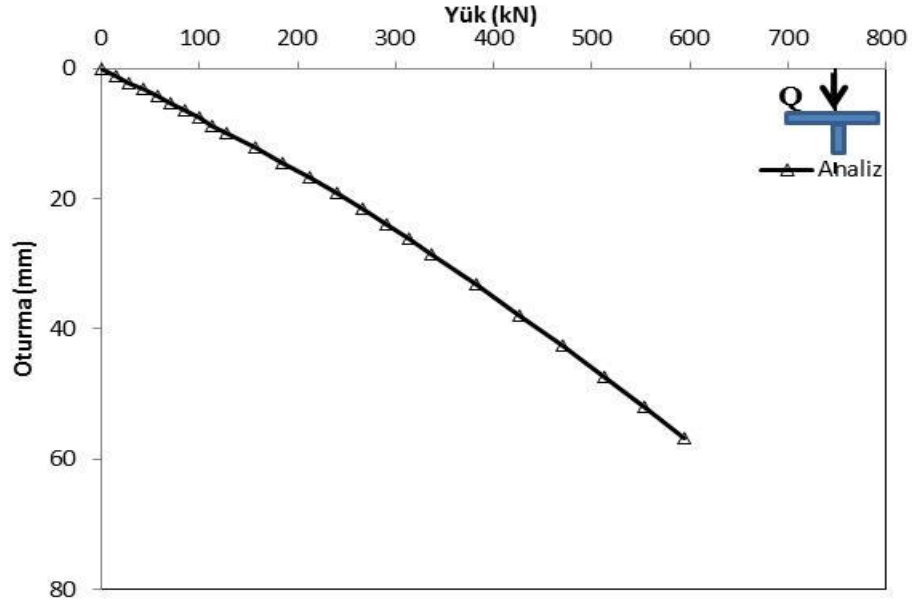
Burada şev açısı 45° olup, dış yüksekliği (H) 15cm'dir. Şev başlangıcı temele 30 cm uzaklıktadır. Analiz sonuçları incelendiğinde taşıma kapasitesi yaklaşık 600kN ve oturma değeri 80mm değeri gözlenmiştir (Şekil 5.58).

Şevli ve tabakalı zeminde şev başlangıcının temele uzaklığı 60cm olması durumunda merkezi yükleme durumunda şematik gösterim Şekil 5.59'da verilmiştir.



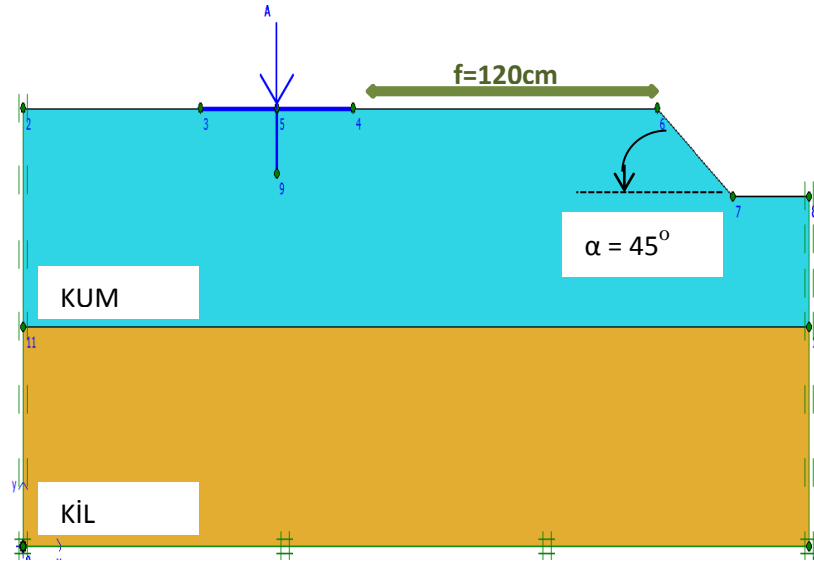
Şekil 5.59. Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Bu yükleme koşullarına ait yük-oturma bağıntısı Şekil 5.60'da verilmiştir. Şekil 5.60'daki sayısal analiz sonuçlarına göre şev tepesi uzaklığının 60cm'e çıkarılması halinde taşıma kapasitesi önemli ölçüde artmıştır. Taşıma kapasitesi değeri 700kN'a kadar çıkmıştır. Buna karşılık gelen oturma değeri ise 70mm değeri gözlenmiştir.



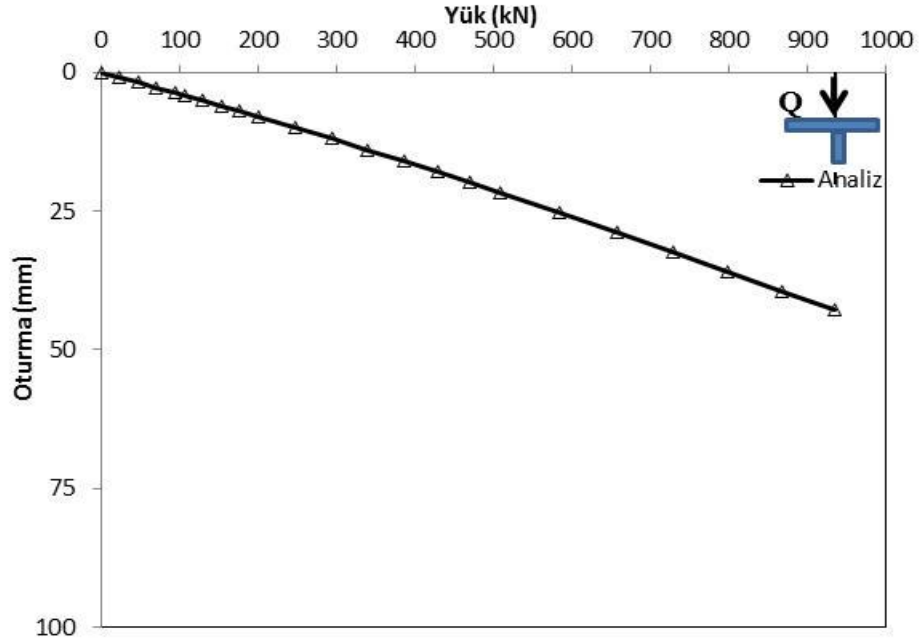
Şekil 5.60. Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şevli ve tabakalı zeminde H etkisinde merkezi yükleme halinde şev tepesinin temele uzaklığı 60cm'den 120cm'e çıkarılması durumunda temelin şematik gösterimi Şekil 5.61'de yer almaktadır.



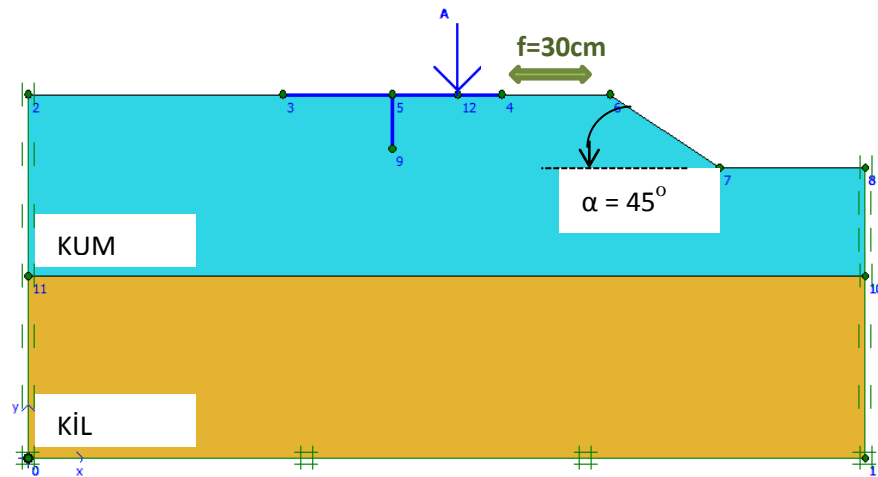
Şekil 5.61. Şevli ve tabakalı zeminde merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$, $h_1=h_2$)

Şevli ve kum zeminde merkezi yükleme durumu için yapılan sayısal analiz sonuçları Şekil 5.62'deki grafikte yer almaktadır. Buna göre şerit temelin taşıma kapasitesi değeri 850kN'a kadar çıkarken oturma değeri de yaklaşık 70mm'dir.



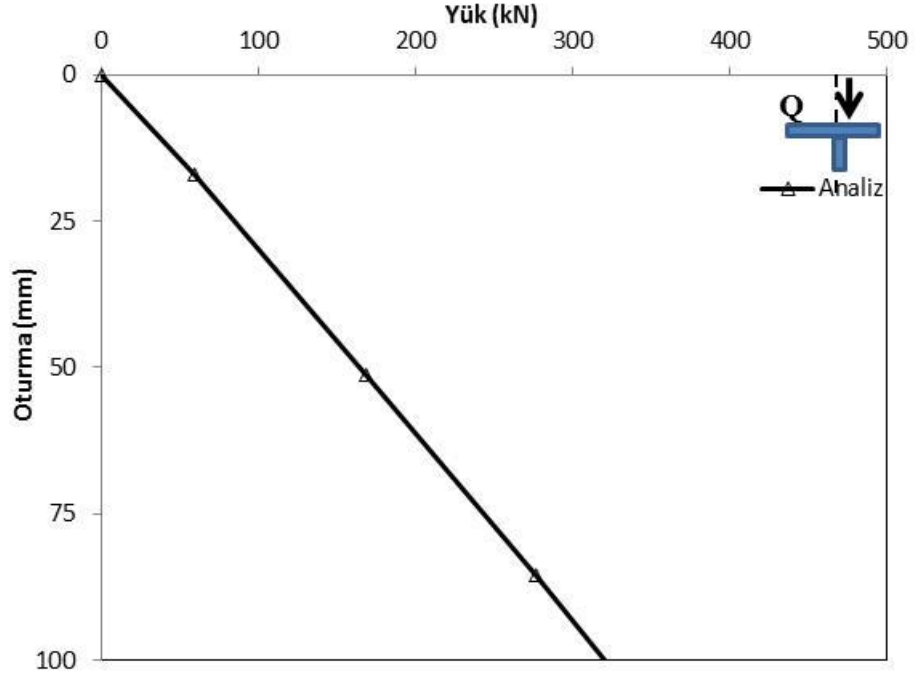
Şekil 5.62. Şevli ve tabakalı zemin merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şevli ve tabakalı zeminde H etkisinde merkezi yükleme halinde yapılan analizler eksantrik yükleme ($e/B=0.25$) durumunda tekrarlanmıştır. Şekil 5.63'de şev tepesi temelden 30cm uzaklıkta eksantrik yükleme halinde T-kesitli temelin şematik gösterimi yer almaktadır.



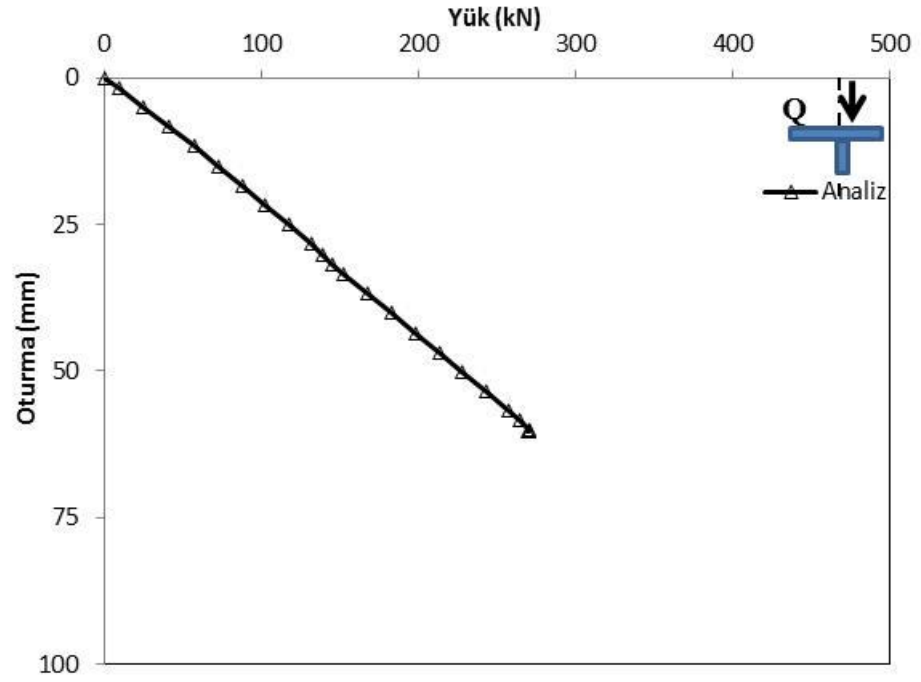
Şekil 5.63. Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$, $e/B=0.25$)

Şekil 5.64'te söz konusu bu zemin ve yükleme koşullarında elde edilen yük-oturma ilişkisi gösterilmektedir. Buna göre T-kesitli temelin taşıma kapasitesinin 250kN ve zemindeki oturma değerinin 100mm olduğu gözlenmiştir.



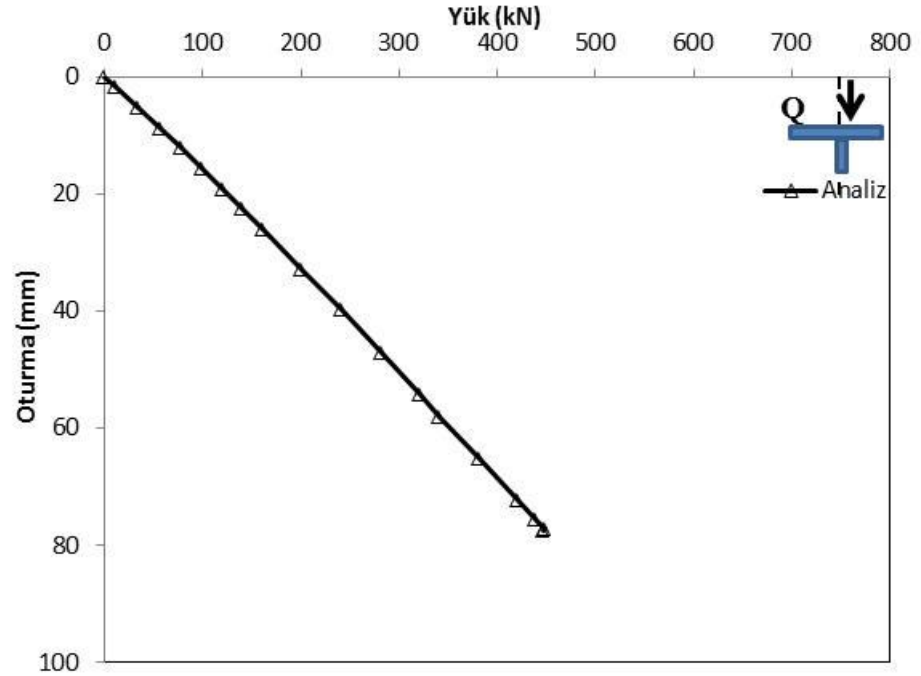
Şekil 5.64. Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Bu seri analizde T-kesitli temel eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.25$) analiz edilmiştir. Şev tepesinin temele mesafesi 30cm'den 60cm'ye çıkarılmıştır ($f=60$ cm). Buna göre sayısal analiz sonuçlarında T-kesitli temelin taşıma kapasitesi değeri 275kN, oturma değeri 75mm civarında elde edilmiştir. Şekil 5.65'deki grafikte sonuçlar yer almaktadır.



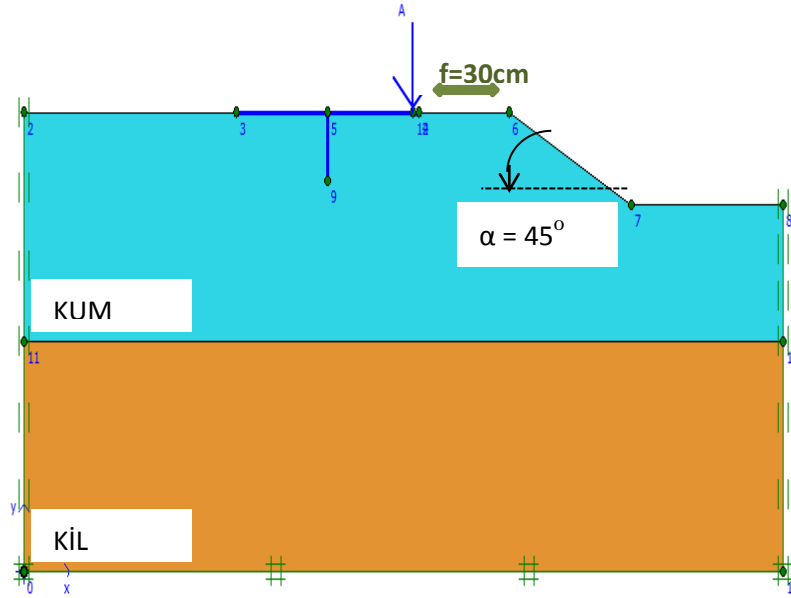
Şekil 5.65. Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şev tepesinin temelden 120cm uzaklıkta olması halinde tabakalı zeminde yapılan sayısal analiz sonuçları aşağıdaki grafikte yer almaktadır (Şekil 5.66).



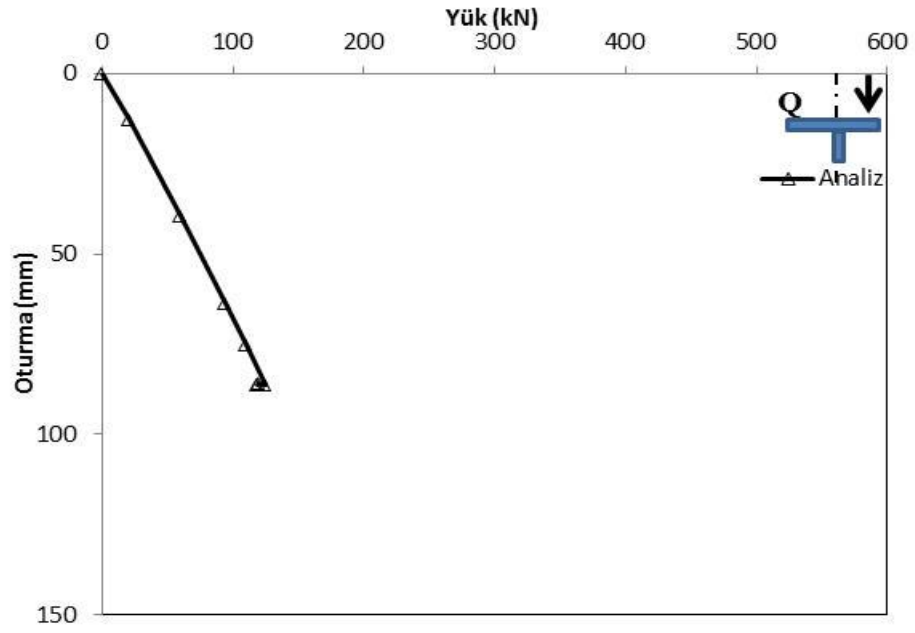
Şekil 5.66. Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.25$, $H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şekil 5.66'daki grafiğe göre taşıma kapasitesi değeri yaklaşık 350kN'a çıkarken oturma değeri 80mm değerini almıştır. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu için analiz edilmiştir. Eksantrisitenin 0.25B'den 0.5B'ye çıkarılması halinde yapılan sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.67'deki gibidir. Tabaka yükseklikleri $h_1=h_2=50\text{cm}$ olup dış yüksekliği ($H=15\text{cm}$) ve şev açısı $\alpha=45^\circ$ olarak sabit tutulmuştur.



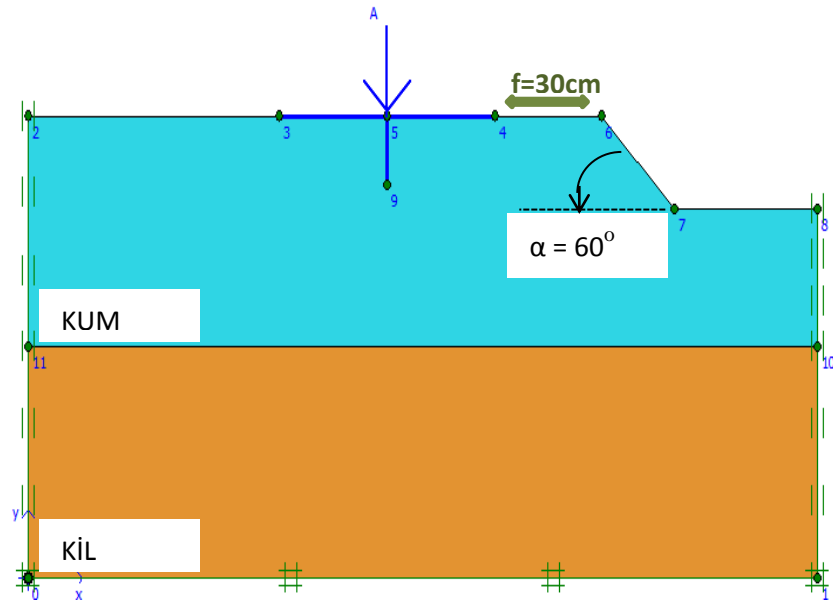
Şekil 5.67. Şevli ve tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi ($e/B=0.5$, $H/B=0.25$, $\alpha=45^\circ$)

Şekil 5.68'deki grafikte yukarıdaki zemin ve yükleme koşullarında elde edilen sayısal analiz sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.68'deki sayısal analiz grafiğine göre T-kesitli temelin taşıma kapasitesi değeri eksantrik yükleme durumunda 180kN olurken zemindeki oturma değeri ise 100mm'dir.



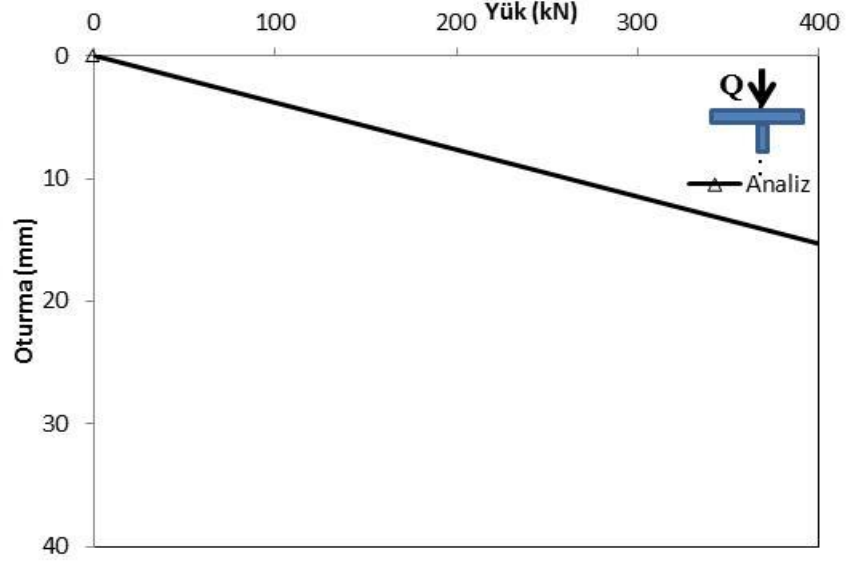
Şekil 5.68. Şevli-tabakalı zeminde eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=45^\circ$)

Bu seride şevli ve tabakalı zeminde şev açısı 45° den 60° ye çıkarılması halinde sayısal analizler yapılarak elde edilen değerler kıyaslanmıştır. Öncelikle T-kesitli temel merkezi olarak yüklenmiştir. Şekil 5.69'da görüldüğü üzere şev açısı 60° ve şev tepesinin temele mesafesi 30cm olması durumunda sayısal analizler yapılmıştır.



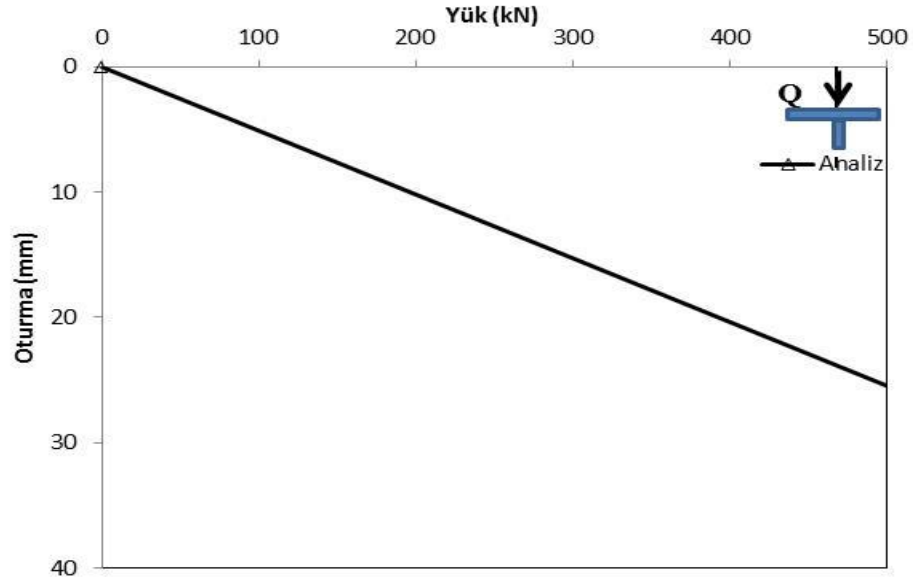
Şekil 5.69. T-kesitli temel merkezi yükleme durumu şematik gösterimi ($H/B=0.25$, $h_1=h_2$, $\alpha=60^\circ$)

Şekil 5.70'deki yük-oturma ilişkisinden de görüldüğü üzere T-kesitli temelin taşıma kapasitesi değeri merkezi yükleme halinde 400kN civarında olup oturma değeri yaklaşık 30mm'dir.

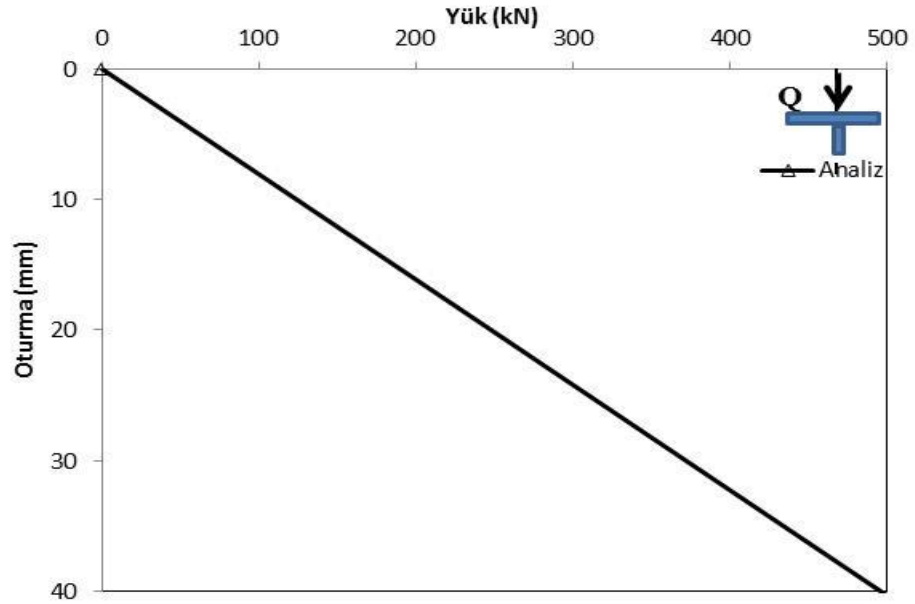


Şekil 5.70. T-kesitli temel merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Şev tepesinin temele olan uzaklığı 60cm ve 120cm olması durumunda sayısal analizler tekrarlanmıştır. Taşıma kapasitesi-oturma değerleri grafikleri Şekil 5.71 ve Şekil 5.72'de görülmektedir.



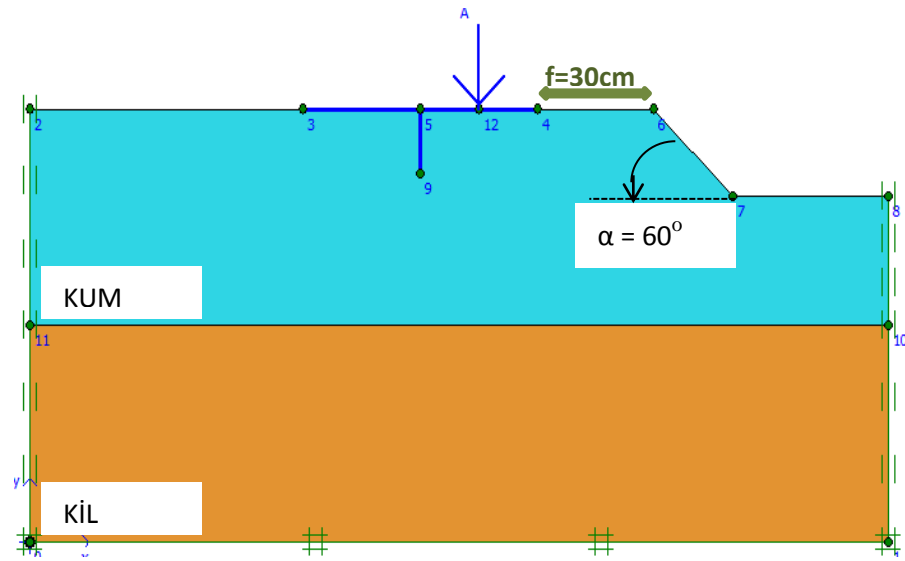
Şekil 5.71. T-kesitli temel merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)



Şekil 5.72. T-kesitli temel merkezi yükleme durumu ($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)

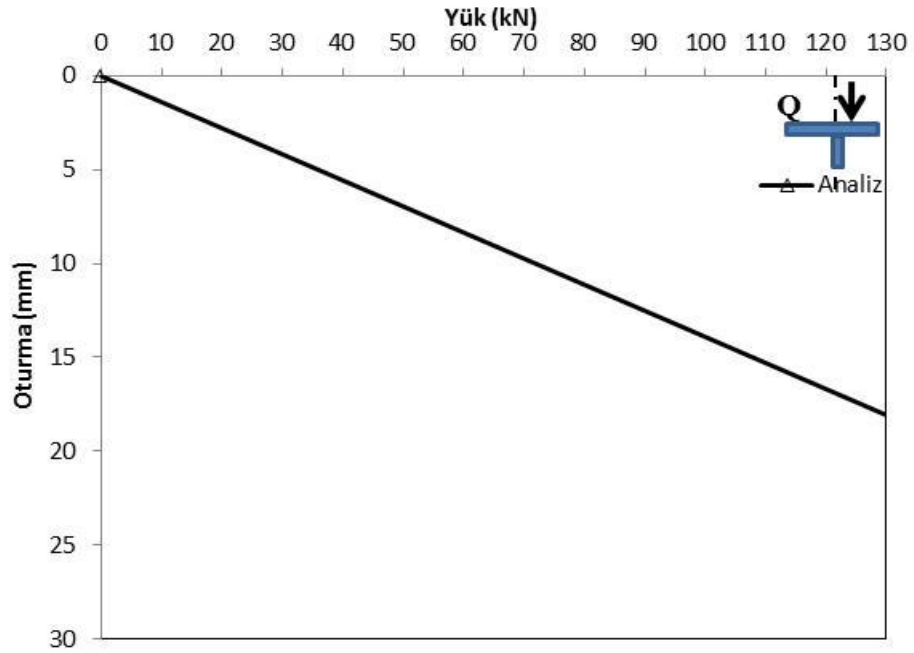
Şekil 5.71 ve Şekil 5.72'deki grafikler incelendiğinde merkezi yükleme durumunda şevin tepesi mesafesi artırıldığında taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık 100kN arttığı ve daha sonra bu değer değişmediği gözlenmiştir.

Şevli ve tabakalı zeminde H etkisindeki tabakalı zemine ($h_1=h_2=50\text{cm}$) şev açısı ve dış yüksekliği (H) sabit tutulup eksantrik yükleme ($e/B=0.25$) yapılmıştır. Şev tepesi uzaklığı 30cm olması halinde sayısal analiz şematik gösterimi Şekil 5.73'de sunulmuştur.



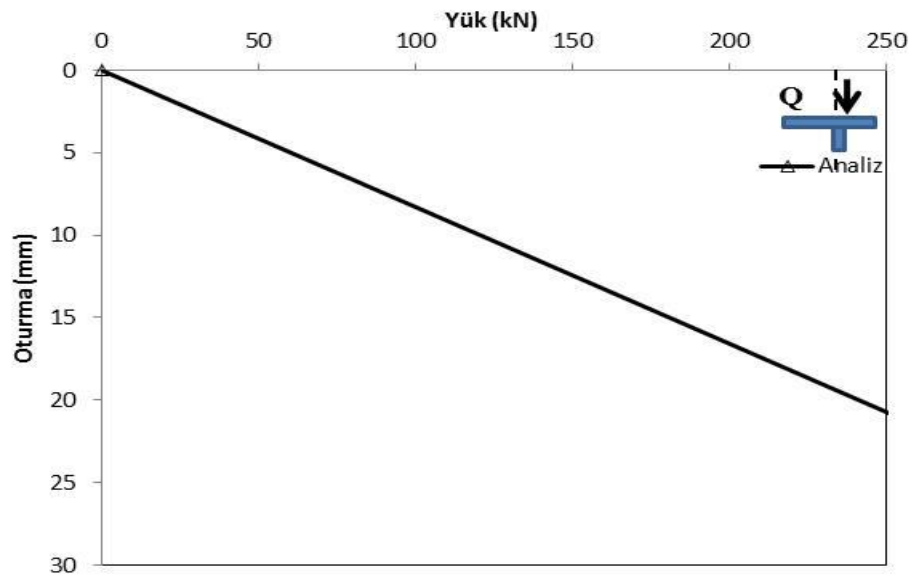
Şekil 5.73. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi

Bu yükleme ve zemin koşullarında temelin taşıma kapasitesi yaklaşık 120kN olurken oturma değeri 20mm olarak elde edilmiştir (Şekil 5.74).



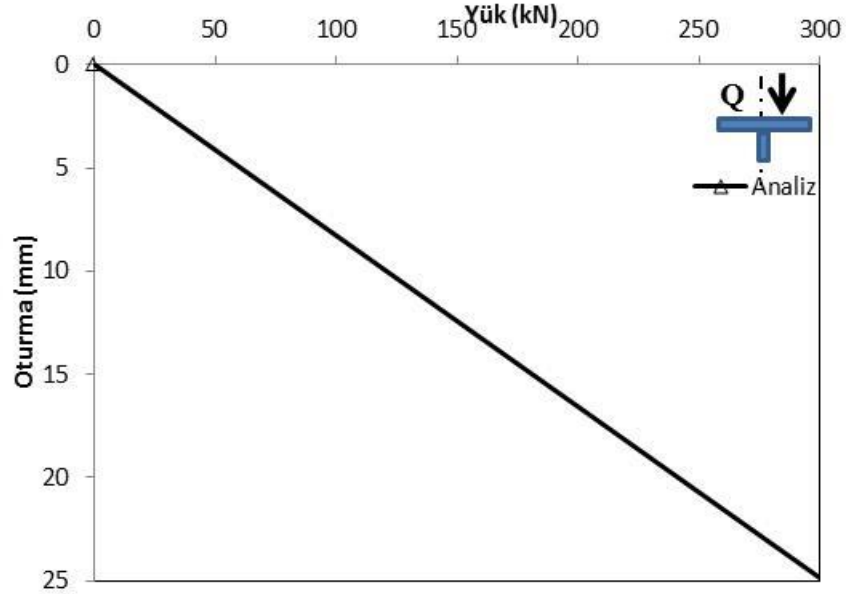
Şekil 5.74. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $e/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$)

Bu aşamada şev tepesi uzaklığı 30cm'den 60cm'ye çıkarılarak sayısal analiz yapılmıştır. Şekil 5.75'deki grafikte sayısal analiz sonuçları yer almaktadır. Buna göre temelin taşıma kapasitesi 220kN'a kadar çıkarken oturma değeri 25mm civarında belirlenmiştir.



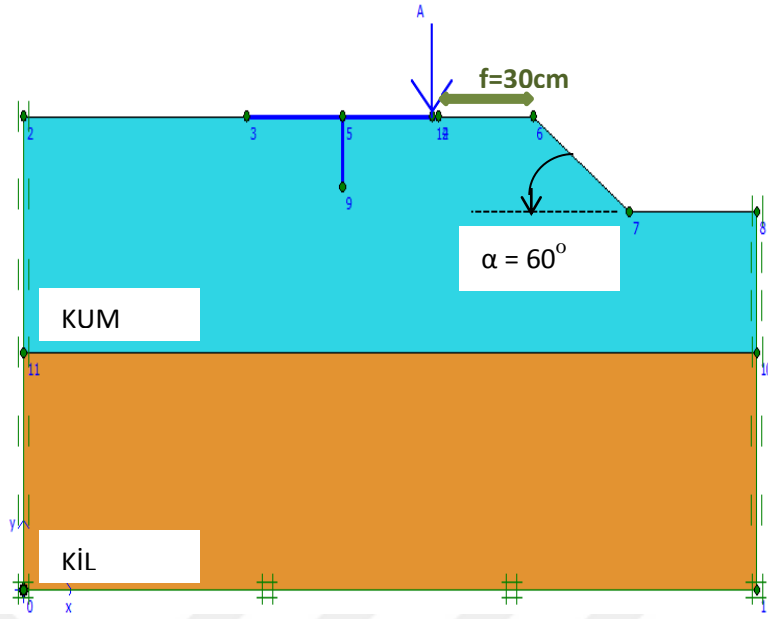
Şekil 5.75. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu ($H/B=0.25$, $e/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)

Şev tepesi uzaklığı 60cm'den 120cm'e çıkarılarak sayısal analizler yapılması halinde taşıma kapasitesi-oturma ilişkisi Şekil 5.76'da yer almaktadır. Şev açısı, dış yüksekliği ve eksantrisite sabit tutulmuştur. Grafikte de görüleceği üzere T-kesitli şerit temelin taşıma kapasitesi değeri 180kN'dan yaklaşık 220kN'a kadar çıkarken oturma değeri yaklaşık 25mm'dir. Temelin şevden uzaklığının mertebesi bu açıdan önemlidir.



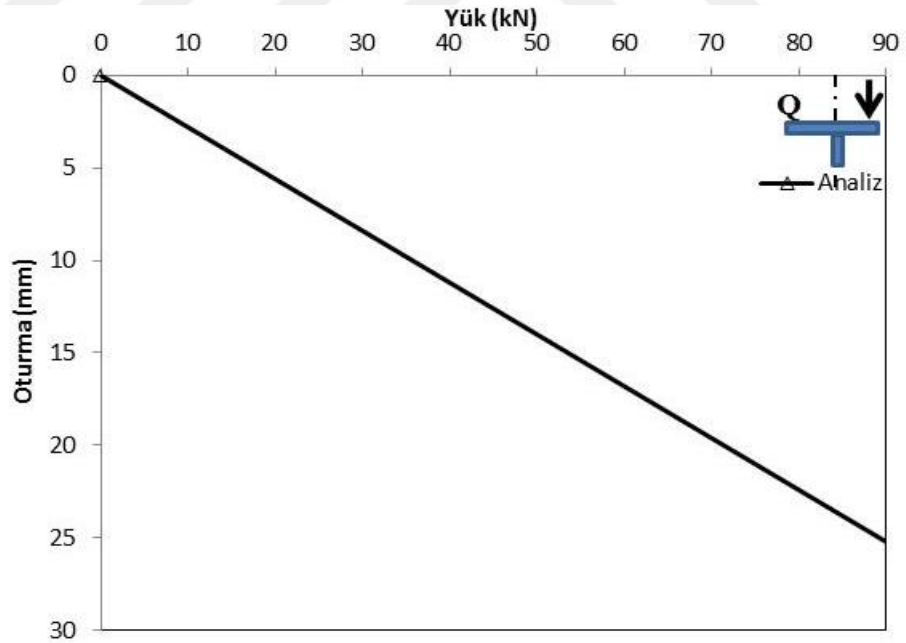
Şekil 5.76. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu
($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)

Bu seride bir önceki seriye göre T-kesitli temele yükleme durumunda eksantrisite artırılarak ($e/B=0.5$) analizler tekrarlanmıştır. Şev açısı aynı olup şev tepesinin temele uzaklığı 30cm'dir (Şekil 5.77).



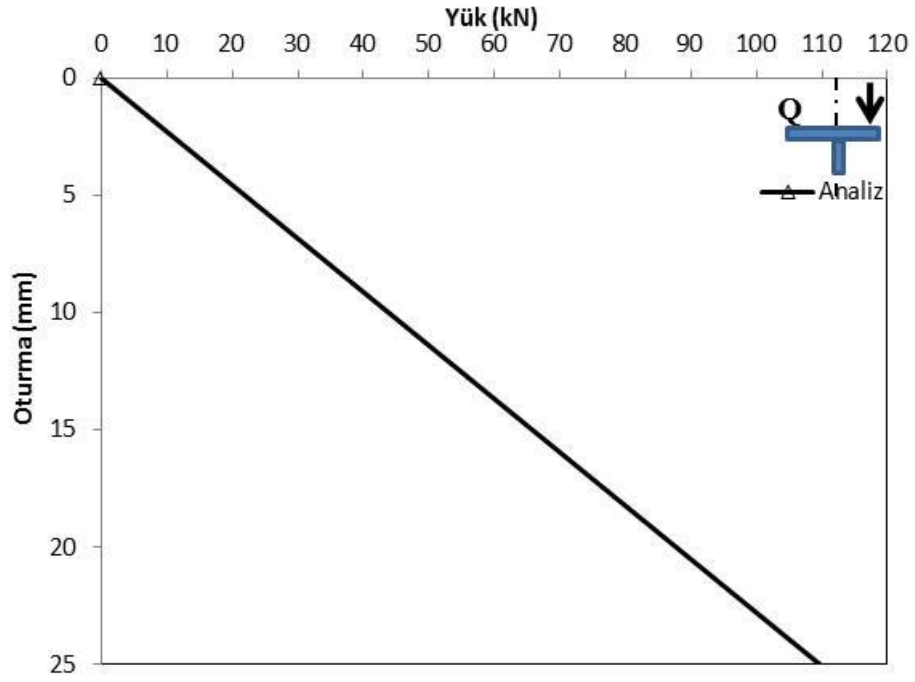
Şekil 5.77. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu şematik gösterimi
($H/B=0.25$, $e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$)

Sözü edilen bu koşullar için elde edilen sonuç Şekil 5.78’de sunulmuştur. Buna göre taşıma kapasitesi 90kN civarında olup oturma değeri yaklaşık 25mm’dir



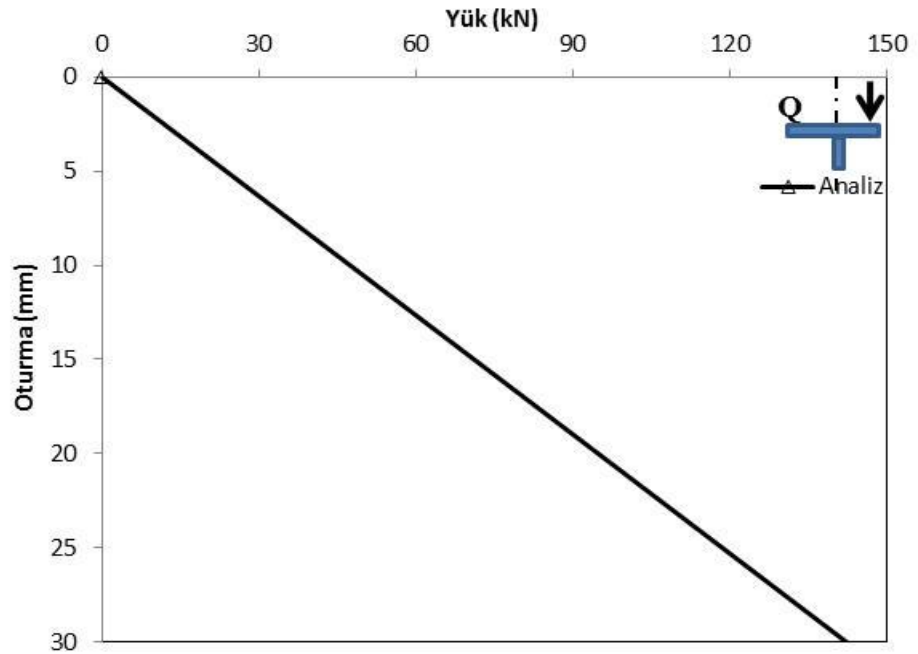
Şekil 5.78. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu
($H/B=0.25$, $\alpha=60^\circ$ $f=30\text{cm}$)

Şev tepesinin temele uzaklığı 60cm’ye çıkarılması halinde sayısal analiz sonuçlarına göre taşıma kapasitesi yaklaşık 110kN değerini almıştır (Şekil 5.79).



Şekil 5.79. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$, $f=60\text{cm}$)

Şev tepesinin temele olan uzaklığının 120cm olması halinde sayısal analizler yapılmış ve Şekil 5.80'deki grafiğe göre taşıma kapasitesinin 140kN'a kadar çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 5.80. T-kesitli temel eksantrik yükleme durumu ($e/B=0.5$, $\alpha=60^\circ$, $f=120\text{cm}$)

Sayısal analizlerde kullanılan kil zeminin çeşitli mühendislik parametreleri Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Analizlerde kullanılan kilin çeşitli mühendislik parametreleri

Özellik	Değer
Kaba dane miktarı (%)	0.00
Orta büyüklükteki dane miktarı (%)	35.00
İnce dane miktarı (%)	65.00
D10 (mm)	1×10^{-4}
D30 (mm)	4×10^{-4}
D60 (mm)	8×10^{-4}
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	1.0
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m^3)	16.50
Minimum kuru birim ağırlığı (kN/m^3)	11.80
Deneyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m^3)	12.84
Kohezyon, c (kPa)	19
Kayma mukavemeti açısı, ϕ (derece)	23.00
Poisson oranı, ν	0.3
Elastisite modülü, E (kN/m^2)	6000
Sınıfı (USCS)	CH

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kum zemine oturan yüzeysel temel çeşitlerinden T-kesitli yüzeysel temellerin taşıma gücü sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizlerde farklı eksantrisite ve farklı koşullar altında yüklemeler yapılarak taşıma gücü ve oturma değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır.

- T-kesitli temele merkezi yükleme durumunda taşıma kapasitesi değeri yüksek değerler elde edilirken eksantrik yüklemelerde taşıma kapasitesinin düştüğü gözlenmiştir. Kum zeminde merkezi yükleme durumunda taşıma kapasitesi yaklaşık 450kN iken eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.25$) taşıma kapasitesi değeri 100kN olmuştur. Kil zeminde merkezi yükleme durumunda taşıma kapasitesi değeri 300kN iken eksantrik yükleme durumunda ($e/B=0.25$) taşıma kapasitesi değeri 75kN gözlenmiştir.
- T-kesitli temele düşey yönde dış ilave edildiğinde her iki zeminde taşıma kapasitesinin arttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Kum zeminde temelin taşıma kapasitesi 450kN civarında iken dış ilavesi sonrasında taşıma kapasitesi 500kN'a çıkmıştır. Kil zeminde de benzer şekilde taşıma kapasitesi 300kN'dan yaklaşık 350kN'a kadar çıkmıştır.
- T-kesitli topuk ilaveli temelde topuğa zıt yönde eksantrik yükleme halinde taşıma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Sıkı zeminde merkezi yükleme halinde topuk ilaveli temelin nihai taşıma kapasitesi 2kN iken, topuğa göre zıt yönde eksantrik yükleme halinde taşıma kapasitesi değeri 4kN'a kadar çıkmıştır.
- Şevli ve tabakalı zeminde sayısal analiz sonuçlarına göre şev tepesinin temele olan mesafesi arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı, buna karşın oturma değerlerinin ise azaldığı sonucu elde edilmiştir.

Bu tez çalışması sonrası aşağıdaki öneriler değerlendirilebilir;

- Zemine yük her zaman düşey ve merkezi şekilde gelmeyebilir, bu yüzden farklı koşullarda temele yükü taşıtmak ve zemindeki oturmayı izin verilebilir ölçüde tutmak için önlemler alınmalıdır.
- Tasarımda yapı yükünü mümkün oldukça merkezi yükleme halinde tasarlamak gerekmektedir.
- Merkezi yüklemenin mümkün olmadığı durumlarda eksantrik yükleme koşullarında eksantriklik yönüne göre zıt yönde diş veya topuk ilavesiyle taşıma gücü değeri artırılabilir, oturma değeri izin verilebilir ölçüde tutulabilir.
- Şevli zeminlerde taşıma gücü değerini artırmak için şevin temele mesafesi artırılabilir. Böylece taşıma gücü değeri artacak, oturma değeri azalacaktır.

KAYNAKLAR

- Brinkgreve, R.B.J. ve Broere, W. 2006. Plaxis finite element code for soil and rock analysis. 2D Foundation–Version 8.
- Davarcı, B., 2013. Donatılı kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Demir, A., 2006. Temel mühendisliğinde çekme dayanımının irdelenmesi ve kazıklı temellerin çekme dayanımının analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ersoy, U., 1985. **Betonarme – Döşeme ve Temeller, Cilt 2.** Evrim Yayını, 245 s, Ankara.
- Ghazavi, M., Mokhtari, S., 2008. Numerical investigation of load-settlement characteristics of multi-edge shallow foundations. **The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)**, Goa, India.
- Hansen, J.B. 1970. **A revised and extended formula for bearing capacity.** Geoteknik Inst., Bulletin 28, pp. 5-11.
- Kaya, N., Örnek, M., 2013, “Experimental and Numerical Studies of T-Shaped Footings”, **Acta Geotechnica Slovenica**, Vol.10, p. 43-58.
- Keskin, S., Laman M., 2012. Kuma oturan yüzeysel temellerde temel boyutunun taşıma kapasitesine etkisi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 27(2): 37-45.
- Kılıçel, F., 2014. Çok kenarlı yüzeysel temellerin sayısal analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Meyerhof, G. G. 1957. **The ultimate bearing capacity of foundations on slopes**, in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London England, 1: 384-386.
- Nawghare, S.M., Pathak, S.R. and Gawande, S.H. 2010. Experimental Investigations of Bearing Capacity for Eccentrically Loaded Footing. **International Journal of Engineering Science and Technology**, 2(10): 5257-5264.
- Önalp, A., Sert, S., **Geoteknik Bilgisi III – Bina Temelleri**, Birsen yayınevi, 2006, 375 s, İstanbul.
- Özkaya, H., 2014. Temeller, 4(31), <http://www.harunozkaya.com/wp-content/uploads/2014/01/05>. Erişim tarihi: 10.05.2016
- Prakash, S., Saran S., 1971. Bearing capacity of eccentrically loaded footings. **Journal Soil Mechanics and Foundations Division**, American Society of Civil Engineers Vol.7814, No. SM-1 pp. 95-188.
- Terzaghi, K., 1943. Therotical Soil Mechanics, 4th ed., **John Wiley & Sons, Inc.**, New York.
- Uzuner, B., A., 1975. **Temel Mühendisliğine Giriş**, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Vesic, A.S. 1973. Analysis of ultimate loads of shallow foundations. **ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division**, Vol. 99, N°1, pp. 45-73.
- Waterman, D. 2006. Plaxis finite element code for soil and rock analysis. 2D Foundation–Version 8.
- Yıldız, L., 2005. Donatıyla güçlendirilmiş şevli zemine oturan yüzeysel temel analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Hatay'ın İskenderun ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İskenderun'da tamamladı. 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2008 yılında mezun oldu. Meslek hayatına atılarak Kahraman Mühendislik İnşaat Taahhüt Tic. San. Ltd. Şti. bünyesinde önemli projelere imza attı. Aynı zamanda uzun yıllar çeşitli şantiyelerde şantiye şefliği yaptı. 2010 yılında kısa dönem askerlik hizmetini yaptı. 2013 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Atalet Yapı Den. Hiz. Ltd. Şti.'nde kontrol elemanı olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan Uygulama Denetçisi Belgesi aldı. Yazar halen yapı denetim firmasında Uygulama Denetçisi İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.