



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI YÜKLEME VE GEOMETRİ KOŞULLARINDA
GERİLME ANALİZİ

Yakup TÜREDİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
MAYIS-2015



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI YÜKLEME VE GEOMETRİ KOŞULLARINDA
GERİLME ANALİZİ

Yakup TÜREDİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
MAYIS-2015

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÜKLEME VE GEOMETRİ KOŞULLARINDA
GERİLME ANALİZİ**

YAKUP TÜREDİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Murat ÖRNEK danışmanlığında hazırlanan bu tez **12/05/2015** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Murat ÖRNEK
Başkan

Prof. Dr. Mustafa LAMAN
Üye

Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ
Üye

Kod No:

Doç. Dr. Okan ŞENER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 11881

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.

12.05.2015

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.

Yakup TÜREDİ

ÖZET

FARKLI YÜKLEME VE GEOMETRİ KOŞULLARINDA GERİLME ANALİZİ

Bu tez çalışmasında, gevşek kum zemine oturan şerit, dikdörtgen ve kare kesitli model temellerin farklı yükleme koşullarında zeminde meydana getirdiği ilave düşey gerilme davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Merkez ve eksantrik yüklemeler altında ilave düşey gerilme artışları derinlik boyunca yatayda yerleştirilen beş adet gerilme ölçer vasıtasıyla laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak ölçülmüştür. Ayrıca yük-oturma değerleri de elde edilmiştir. Daha sonra deney sonuçları, literatürde mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Model deney sonuçları ile teorik sonuçlarının birbirleri ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Deney sonuçları, zemin içinde düşey yükten dolayı oluşan gerilmelerin hem merkez hem de eksantrik yükleme koşullarında derinliğe bağlı olarak azaldığını göstermiştir.

2015, 124 sayfa

Anahtar Kelimeler: Model Deney, İlave Düşey Gerilme, Gerilme Ölçer, Şerit Temel, Dikdörtgen Temel, Kare Temel, Merkez Yükleme, Eksantrik Yükleme.

ABSTRACT

STRESS ANALYSES IN DIFFERENT LOADING AND GEOMETRY CONDITIONS

In this thesis, the stress behavior in the loose sand was investigated experimentally and theoretically in two different loading conditions by using strip, rectangular and square footings. The stress distribution was vertically obtained with the laboratory tests in central and eccentric loading conditions using five stress transducers. And also the load-settlement curves were obtained. The test results were compared with theoretical results. The test results were in accordance with the theoretical and it was obtained that the stresses in the soil decrease with the increase in the vertical depth both in the central and eccentric loading conditions.

2015, 124 pages

Key Words: Model Tests, Soil Stress, Stress Transducer, Strip Footing, Rectangular Footing, Square Footing, Central Loading, Eccentric Loading.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımda beni yönlendiren ve yardımlarıyla bana destek olan çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat ÖRNEK'e teőekkürlerimi sunarım.

Sayın hocalarım Prof. Dr. Mustafa LAMAN ve Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ'a değerli katkıları ve görüşleri için çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında maddi destek sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimine teőekkürü bir borç bilirim.

Bu ürünün ortaya çıkmasında büyük desteği bulunan sevgili kardeşlerim Nurullah KARACA'ya ve Muhammed Musab ERDEM'e özellikle teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sırasında desteklerini aldığım mesai arkadaşlarım Kaan DAL, Nihat KAYA, Selahattin KEVKİR, Olcay GENÇ, Müzeyyen BALÇIKANLI, Bestami TAŐAR'a teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca yaptıkları çalışmalarla bana yol gösteren kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. M. Salih KESKİN ve Arş. Gör. Baki BAĞRIAÇIK'a teőekkürlerimi sunarım.

Bu güne kadar ilkokuldan üniversite sonuna kadar üzerimde emeği bulunan bütün hocalarıma da teőekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmeme vesile olan pek kıymetli annem Fatma TÜREDİ, babam Mehmet TÜREDİ'ye ve bütün aileme desteklerinden dolayı sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ve tanıştığımız ilk günden bugüne kadar, bütün çalışmalarımda beni motive eden ve her türlü desteği veren çok değerli eşim Esra TÜREDİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Temel Tabanında Oluşan Basınçlar (Tepki Gerilmeleri)	2
1.2. İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Düşey Gerilmeler.....	6
1.2.1. İzobarlar	7
1.2.2. Yatay Bir Düzlemde veya Doğrultuda Düşey Gerilme Dağılımı	8
1.2.3. Düşey Bir Düzlemdeki Düşey Gerilme Dağılımı	8
1.2.4. Basit Kabul.....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
2.1. Deneysel Çalışmalar	12
2.2. Teorik Çalışmalar	19
2.2.1. Tekil Yük Durumu	20
2.2.2. Çizgisel Yük Durumu	26
2.2.3. Üniform Şerit Yük Durumu	28
2.2.4. Üniform Yüklü Dairesel Alan Durumu	30
2.2.5. Üniform Yüklü Dikdörtgen Alan Durumu	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Deney Kumununun Hazırlanması.....	35
3.2. Deney Kumununun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi	37
3.2.1. Elek Analizi.....	37
3.2.2. Piknometre Deneyi.....	38
3.2.3. Sıklık Deneyi.....	39
3.2.4. Kesme Kutusu Deneyi.....	40
3.3. Deney Düzenegi.....	41
3.3.1. Deney Kasası.....	41
3.3.2. Model Temeller	43
3.3.3. Yükleme Sistemi, Yük Hücresi ve Deplasman Ölçer (LVDT).....	44
3.3.4. Gerilme Ölçerler.....	47
3.4. Veri İşleme Ünitesi (ADU).....	50
3.5. Deney Yöntemi	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	53
4.1. 10cmx50cm Şerit Temel Gerilme Analizi	53
4.1.1. 10cmx50cm Şerit Temel, Beş Farklı Derinlikte Gerilme Analizi	54
4.1.2. 10cmx50cm Şerit Temel Deney Sonuçlarının Literatür Sonuçlarıyla Karşılaştırılması	64
4.1.3. 10cmx50cm Şerit Temel için Farklı Derinliklerde ve Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Araştırılması	67
4.1.4. 10cmx50cm Şerit Temel, Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Literatür Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	68

4.1.5. 10cmx50cm Şerit Temelde Farklı Yüklemeler için Her bir Derinlik için Yatayda Oluşan Düşey Gerilmelerin Araştırılması.....	70
4.2. 30cmx30cm Kare Temel için Gerilme Analizi.....	73
4.2.1. 30cmx30cm Kare Temel, Beş Farklı Derinlikte Gerilme Analizi	74
4.2.2. 30cmx30cm Kare Temel Deney Sonuçlarının Literatür Sonuçlarıyla Karşılaştırılması	81
4.2.3. 30cmx30cm Kare Temel için Farklı Derinliklerde ve Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Araştırılması.....	84
4.2.4. 30cmx30cm Kare Temel, Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Literatür Sonuçları ile Karşılaştırılması	85
4.2.5. 30cmx30cm Kare Temelde Farklı Yüklemeler için Her bir Derinlik için Yatayda Oluşan Düşey Gerilmelerin Araştırılması.....	87
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	91
5.1. Sonuçlar	91
5.2. Öneriler.....	92
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	97
EKLER.....	98
Ek 1. 10cmx30cm Dikdörtgen Kesitli Temelde Gerilme Analizi	98
Ek 2. 10cmx20cm Dikdörtgen Kesitli Temelde Gerilme Analizi	107
Ek 3. 20cmx20cm Kare Kesitli Temelde Gerilme Analizi.....	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Uygulanan yük ile zeminde oluşan gerilme.....	1
Şekil 1.2.	Kohezyonlu bir zemin üzerine oturan esnek ve rijit temel (Kanıt, 2003)	3
Şekil 1.3.	Kohezyonsuz bir zemin üzerine oturan esnek ve rijit temel (Kanıt, 2003)	3
Şekil 1.4.	Rijit kabule göre gerilme dağılımı (Kanıt, 2003)	4
Şekil 1.5.	Eksantrik yüklü temelde, tipik basınç dağılımı	4
Şekil 1.6.	Eksantrik yüklü bir dikdörtgen alan altında taban basıncı dağılımları	5
Şekil 1.7.	Şekil 1.6'nın üç boyutlu görünüşleri.....	5
Şekil 1.8.	Zeminde mevcut ve ilave düşey gerilmeler (Uzuner, 1998).....	7
Şekil 1.9.	Tekil yük için izobarlar (Uzuner, 1998)	7
Şekil 1.10.	Nokta bir yük altında, yatay doğrultulardaki gerilme artışlarının dağılımı (Uzuner,1998).....	8
Şekil 1.11.	Tekil yükten dolayı düşey doğrultuda oluşan gerilme dağılımı (Uzuner,1998)	9
Şekil 1.12.	Düşey gerilme artışları için basitleştirilmiş yaklaşım (Özaydın, 1989).....	10
Şekil 2.1.	Sağlamer (1972) tarafından kullanılan özel ödometre (ölçüler mm cinsindedir)	12
Şekil 2.2.	Düşey gerilmeler (z=20 inç)	15
Şekil 2.3.	Farklı derinliklerde düşey gerilmeler	16
Şekil 2.4.	Tekil yükten dolayı zemin içinde oluşan gerilmeler (Das, 2001).....	20
Şekil 2.5.	Westergaard çözümüne göre tekil yükten dolayı oluşan düşey gerilme (Das, 2001)	22
Şekil 2.6.	Tekil yük için Kelvin problemi (Poulos ve Davis, 1974).....	23
Şekil 2.7.	Tekil yük için Cerruti problemi (Poulos ve Davis, 1974).....	23
Şekil 2.8.	Gerilmelerin hesabında Green fonksiyonu (Tekinsoy ve Laman, 2000)	24
Şekil 2.9.	Üniform yüklü bir dikdörtgen alan için düşey gerilmeleri veren tesir katsayısı değerleri (Özaydın, 2011)	24
Şekil 2.10.	Çizgisel yük (Uzuner, 1998).....	26
Şekil 2.11.	Çizgisel yük (Kelvin problemi) (Poulos ve Davis, 1974).....	27
Şekil 2.12.	Çizgisel yük (Cerruti problemi) (Poulos ve Davis, 1974)	28
Şekil 2.13.	Üniform şerit yük (Das, 2001).....	29
Şekil 2.14.	Üniform yüklü dairesel alanın merkezi altında gerilme dağılımı (Özüdoğru ve ark., 1996).....	32
Şekil 2.15.	Üniform yüklü dikdörtgen alan (Das, 2001).....	34
Şekil 3.1.	Deney kumunun elenmesi işlemi (a)	35
Şekil 3.2.	Deney kumunun elenmesi işlemi (b)	36
Şekil 3.3.	Deney kumunun yıkanması	36
Şekil 3.4.	Deney kumunun kurutulması.....	36
Şekil 3.5.	Elek analizi deneyi.....	37
Şekil 3.6.	Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi.....	37
Şekil 3.7.	Piknometre deneyi (a).....	38
Şekil 3.8.	Piknometre deneyi (b).....	39
Şekil 3.9.	Gevşek hal için sıklık deneyi.....	39

Şekil 3.10.	Sıkı hal için sıklık deneyi	40
Şekil 3.11.	Kesme kutusu deney düzeneği.....	41
Şekil 3.12.	Deney kasası yapım aşaması (a).....	42
Şekil 3.13.	Deney kasası yapım aşaması (b).....	42
Şekil 3.14.	Deney düzeneği.....	42
Şekil 3.15.	Deney çalışmada kullanılan yüzeysel temel kesitleri	43
Şekil 3.16.	Yük hücresi	44
Şekil 3.17.	Yük Hücresi Kalibrasyon Eğrisi	45
Şekil 3.18.	Deplasman ölçer.	46
Şekil 3.19.	LVDT 1 düşey deplasman ölçer kalibrasyon eğrisi (B no'lu).....	47
Şekil 3.20.	LVDT 2 düşey deplasman ölçer kalibrasyon eğrisi (C No'lu).....	47
Şekil 3.21.	Gerilme ölçer	48
Şekil 3.22.	Gerilme Ölçerler Kalibrasyon Eğrisi.	49
Şekil 3.23.	Veri işleme ünitesi	50
Şekil 3.24.	Gerilme ölçerlerin yerleştirilmesi	51
Şekil 3.25.	Kum zeminin düzgün bir şekilde yerleştirilmesi	51
Şekil 3.26.	Model temel plakasının yerleştirilmesi.....	52
Şekil 4.1.	Gerilme ölçerlerin dizilim şekli	53
Şekil 4.2.	Gerilme ölçerlerin görünümü.....	53
Şekil 4.3.	50cmx10cm temel modeli için yük-oturma ilişkisi	54
Şekil 4.4.	10cmx50cm model temelde $e/L=0$ yükleme durumunda (merkez yükleme düzeneği).....	55
Şekil 4.5.	$e/L=0$ yükleme durumunda $z=1B$ derinliğinde düşey gerilmeler	55
Şekil 4.6.	$e/L=0$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler	56
Şekil 4.7.	$e/L=0$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler	56
Şekil 4.8.	$e/L=0$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler	56
Şekil 4.9.	$e/L=0$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler	57
Şekil 4.10.	Yük çekirdek dışında iken oluşan taban basınç dağılımı.....	60
Şekil 4.11.	10cmx50cm model temelde $e/L=0.25$ yükleme durumunda (eksantrik) yükleme düzeneği	60
Şekil 4.12.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=1B$ derinliğinde düşey gerilmeler	61
Şekil 4.13.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler	61
Şekil 4.14.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler	61
Şekil 4.15.	4.15. $e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler	62
Şekil 4.16.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler	62
Şekil 4.17.	10cmx50cm şerit temel için 1B derinlikte literatür karşılaştırması.....	64
Şekil 4.18.	10cmx50cm şerit temel için 2B derinlikte literatür karşılaştırması.....	64
Şekil 4.19.	10cmx50cm şerit temel için 3B derinlikte literatür karşılaştırması	65
Şekil 4.20.	10cmx50cm şerit temel için 4B derinlikte literatür karşılaştırması	65
Şekil 4.21.	10cmx50cm şerit temel için 5B derinlikte literatür karşılaştırması.....	65
Şekil 4.22.	$e/L=0$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler.....	67
Şekil 4.23.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler	68
Şekil 4.24.	$e/L=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması.....	69

Şekil 4.25.	$e/L=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.26.	$e/L=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	69
Şekil 4.27.	$e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	70
Şekil 4.28.	$e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması	71
Şekil 4.29.	$e/L=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması	71
Şekil 4.30.	10cmx30cm (Bx3B) D1 temelinde, $e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.31.	10cmx20cm (Bx2B) D2 temelinde, $e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.32.	30cmx30cm temel modeli için yük-oturma ilişkisi	73
Şekil 4.33.	30cmx30cm model temelde yük $e/L=0$ durumunda (merkez yükleme) yükleme düzeneği	74
Şekil 4.34.	$e/B=0$ yükleme durumunda $z=0.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	74
Şekil 4.35.	$e/B=0$ yükleme durumunda $z=0.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	75
Şekil 4.36.	$e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	75
Şekil 4.37.	$e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	75
Şekil 4.38.	$e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	76
Şekil 4.39.	30cmx30cm model temelde yük $e/B=0.25$ durumunda yükleme düzeneği.....	78
Şekil 4.40.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=0.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	78
Şekil 4.41.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=0.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	78
Şekil 4.42.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=1.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	79
Şekil 4.43.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=1.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	79
Şekil 4.44.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=1.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler.....	79
Şekil 4.45.	30cmx30cm kare temel için 0.33B derinlikte literatür karşılaştırması.....	81
Şekil 4.46.	30cmx30cm kare temel için 0.66B derinlikte literatür karşılaştırması.....	81
Şekil 4.47.	30cmx30cm kare temel için 1.0B derinlikte literatür karşılaştırması.....	82
Şekil 4.48.	30cmx30cm kare temel için 1.33B derinlikte literatür karşılaştırması.....	82
Şekil 4.49.	30cmx30cm kare temel için 1.66B derinlikte literatür karşılaştırması.....	82
Şekil 4.50.	$e/B=0$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler.....	84
Şekil 4.51.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler.....	85
Şekil 4.52.	$e/B=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	86
Şekil 4.53.	$e/B=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	86

Şekil 4.54.	$e/B=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	86
Şekil 4.55.	$e/B=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması	87
Şekil 4.56.	$e/B=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması	88
Şekil 4.57.	$e/B=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması	89
Şekil 4.58.	20cmx20cm K2 temelinde, $e/B=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Ölçülen ve hesaplanan gerilme ve K_0 değerlerinin karşılaştırılması (Hanna ve Ghaly, 1992)	14
Çizelge 3.1.	Elek analizi sonuçları	38
Çizelge 3.2.	Sıklık deneyi sonuçları	40
Çizelge 3.3.	Deneylerde kullanılan yüzeysel temel ölçüleri ve deney sayıları	43
Çizelge 3.4.	Deneylerde kullanılan yük hücresi özellikleri	44
Çizelge 3.5.	Yük hücresi kalibrasyon değerleri	45
Çizelge 3.6.	LVDT 1 ve LVDT 2 deplasman ölçerlerine ait kalibrasyon değerleri	46
Çizelge 3.7.	Deneylerde kullanılan gerilme ölçerin özellikleri	48
Çizelge 3.8.	Gerilme ölçer kalibrasyon değerleri	49
Çizelge 4.1.	Çizelge 4.1. 10cmx50cm şerit temel, $e/L=0$ yükleme durumunda gerilme değerleri	58
Çizelge 4.2.	Şerit ve dikdörtgen kesitli temellerin gerilme analizi	59
Çizelge 4.3.	10cmx50cm şerit temel, $e/L=0.25$ yükleme durumunda gerilme değerleri	63
Çizelge 4.4.	10cmx50cm şerit temel için 40kPa uygulanan düşey gerilme için deney ve teorik sonuçlar	66
Çizelge 4.5.	30cmx30cm kare temel, $e/B=0$ yükleme durumunda gerilme değerleri	77
Çizelge 4.6.	30cmx30cm kare temel, $e/B=0.25$ yükleme durumunda gerilme değerleri	80
Çizelge 4.7.	30cmx30cm kare temel için 50kPa uygulanan düşey gerilmede deney ve teorik sonuçlar	83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

AKO	: Aşırı konsolidasyon oranı
c	: Kohezyon
D_r	: Relatif sıklık oranı
D_{10}	: Efektif dane çapı
D_{30}	: Granülometre eğrisinde %30'a karşılık gelen dane çapı
D_{60}	: Granülometre eğrisinde %60'a karşılık gelen dane çapı
E	: Elastisite modülü
EA	: Eksenel rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
E_{oed}	: Ödometre yükleme rijitliği
E_{ur}	: Üç eksenli boşaltma yükleme rijitliği
E_{50}	: Üç eksenli yükleme rijitliği
I	: Boussinesq'e göre dairesel yük için etki faktörü
I_l	: Boussinesq'e göre çizgisel yük için etki faktörü
I_p	: Boussinesq'e göre tekil yük için etki faktörü
I_w	: Westergaard'a göre tekil yük için etki faktörü
I_w	: Westergaard'a göre dairesel yük için etki faktörü
I_p	: Plastisite indisi
K_0	: Toprak basıncı katsayısı
K_r	: Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı
m, n, k	: Boyutsuz katsayılar
m	: Gerilme üs sabiti
n	: Eleman sayısı
P_{ref}	: Referans basınç değeri
Q	: Tekil yük
q	: Yayılı yük
R_f	: Göçme oranı
R	: Yarıçap
r	: Sabit yatay uzaklık
x	: x yönündeki yatay mesafe
W	: Kasa genişliği
y	: y yönündeki yatay mesafe
z	: Derinlik
α, β	: Yük yayılma açısı
$\Delta\sigma_r$: İlave radyal gerilme
$\Delta\sigma_x$: x yönündeki ilave yatay gerilme
$\Delta\sigma_y$: y yönündeki ilave yatay gerilme
$\Delta\sigma_z$: İlave düşey gerilme
ϕ	: Kayma mukavemet açısı
γ	: Birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
μ	: Poisson oranı

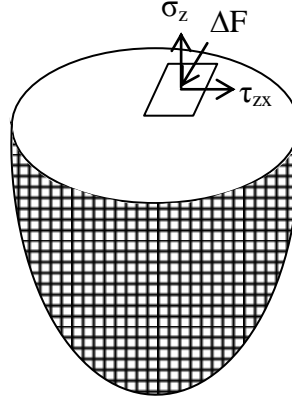
σ_x : Yatay gerilme
 σ_{\max} : Maksimum taban basıncı
 σ_{\min} : Minimum taban basıncı
 e : Eksantrisite
 σ_z : Düşey gerilme
 ψ : Dilatasyon açısı
 b, l : Kasa genişlikleri

1. GİRİŞ

Mekanikte gerilme, birim alana uygulanan yükün şiddeti olarak tanımlanmaktadır. Uygulanan yüke bağlı olarak zeminde oluşan gerilme ifadesi ise Şekil 1.1’de yer almaktadır.

$$\sigma = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta F_N}{\delta A} \quad (1.1)$$

$$\tau = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta F_S}{\delta A} \quad (1.2)$$



Şekil 1.1. Uygulanan yük ile zeminde oluşan gerilme

Zemin tabakalarının kendi ağırlıkları ve uygulanan dış yükler, zemin içinde gerilmeler oluştururlar. Gerilme dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir. Bu gerilmeler uygulanan yükün şiddetine, yükün uygulandığı alanın boyutlarına ve zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Zeminler, çok karmaşık bir malzeme olmaları nedeni ile zemin içerisinde gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle genellikle yaklaşık bir çözüm olan elastisite teorisi kullanılmaktadır.

Elastisite Teorisi kullanılırken şu kabuller yapılmaktadır.

1. Zemin elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır.
2. Zemin ortamı homojendir. Diğer bir deyişle, elastik sabitler, elastisite modülü E ve poisson oranı μ her noktada aynıdır.
3. Zemin ortamı izotropdur. Yani, özellikleri bir noktada, her yönde aynıdır.

4. Zemin ortamı yarı sonsuzdur. Yani, bir düzlemin altında, her yönde, sonsuz mesafeye uzanır (Uzuner, 1998).

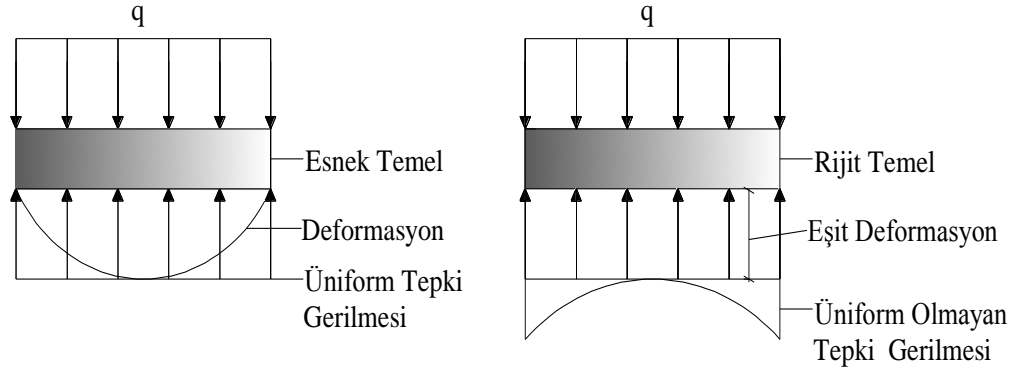
Elastisite teorisinden elde edilen çözümlerde, düşey gerilme dağılımları zeminin malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca zeminin türü ve sıkılık gibi parametreleri dikkate alınamamakta, her tür zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilmektedir (Sağlamer, 1972).

1.1. Temel Tabanında Oluşan Basınçlar (Tepki Gerilmeleri)

Geoteknik mühendisliğinde temelle zeminin temas yüzeyinde oluşan gerilme temel taban basıncı olarak tarif edilmektedir. Zemin içinde sıkışabilir tabakalarda meydana gelen gerilme artışları, çoğu kez yapı ağırlığının sebep olduğu temel taban basınçlarından oluşmaktadır. Temel tamamen bükülebilir ise, üniform yükten dolayı herhangi bir zemindeki taban basıncı da üniform olmaktadır. Ama bu durum uygulamada mümkün olamamaktadır.

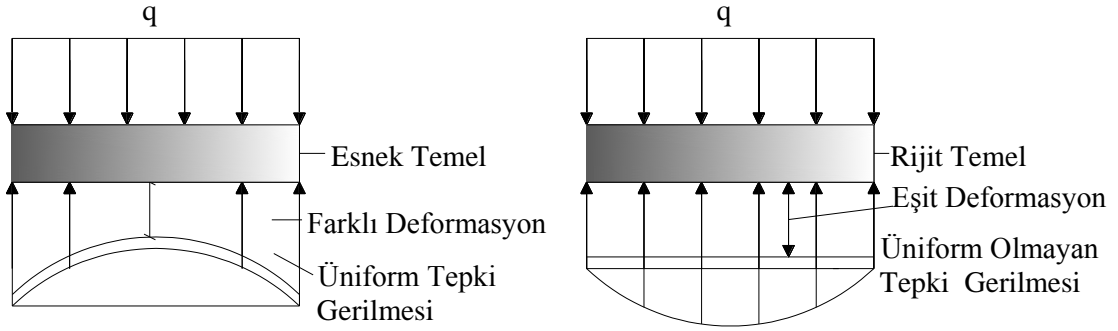
Birçok yapı temeli, zeminin rijitliğine göre çok daha fazla rijittir. Rijitlik arttıkça taban basıncı da üniform dağılımdan uzaklaşmaktadır. Kum ve kil zeminlere oturan rijit temellerin altında oluşan taban basıncı dağılımı birbirinden oldukça farklıdır (Özüdoğru ve ark., 1996).

Üniform gerilme ile yüklenmiş esnek ve rijit temel, kohezyonlu zeminlerde Şekil 1.2'de gösterildiği gibi farklı oturmaların oluşmasına sebep olmaktadır. İki farklı temel durumuna göre tepki gerilmeleri ise aşağıdaki gibi oluşmaktadır (Şekil 1.2.). Tepki gerilmesi esnek temelde üniform dağılım şeklinde, rijit durumda ise üniform olmayan şekilde bir dağılım göstermektedir.



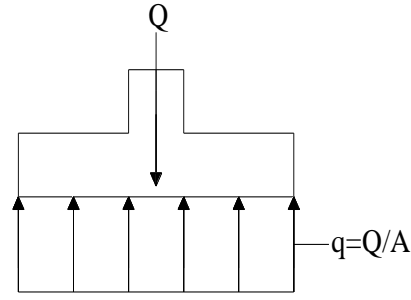
Şekil 1.2. Kohezyonlu bir zemin üzerine oturan esnek ve rijit temel (Kanit, 2003)

Kohezyonsuz zeminlerde ise, kohezyonlu zeminlerde oluşan durumun tam tersi bir durum ortaya çıkmaktadır. Kohezyonsuz zemine oturan esnek ve rijit temellerde oluşan deformasyonlar ve tepki gerilmeleri Şekil 1.3’de görülmektedir.



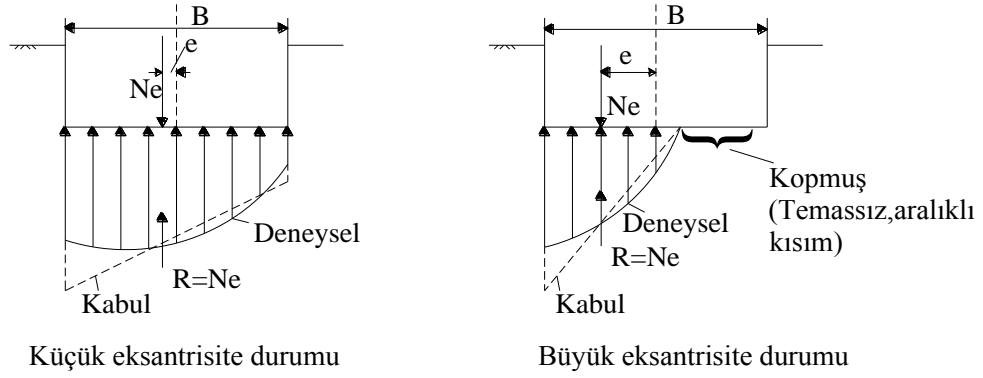
Şekil 1.3. Kohezyonsuz bir zemin üzerine oturan esnek ve rijit temel (Kanit, 2003)

Rijit bir temel için kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde oluşan tepki gerilmeleri üniform olarak dağılmamaktadır. Bu nedenle rijit yöntemde çözümü basitleştirmek için zemin tepkisinin üniform olacağı kabulü yapılmaktadır. Tam merkezinden Q yükü ile yüklü A alanına sahip bir temelde rijit metoda göre zeminde oluşacak gerilme, Şekil 1.4’de görüldüğü gibi $q=Q/A$ ’dır.



Şekil 1.4. Rijit kabule göre gerilme dağılımı (Kanit, 2003)

İri daneli (kum, çakıl) zeminlere oturan eksantrik yüklü rijit temellerde, taban basıncı dağılımı Şekil 1.3'deki özelliklerini korumakta, ancak dağılımın ağırlık merkezi, eksantrik olarak etkiyen yükün altına doğru kaymaktadır (Uzuner, 1975; Uzuner, 2012).



Şekil 1.5. Eksantrik yüklü temelde tipik basınç dağılımı

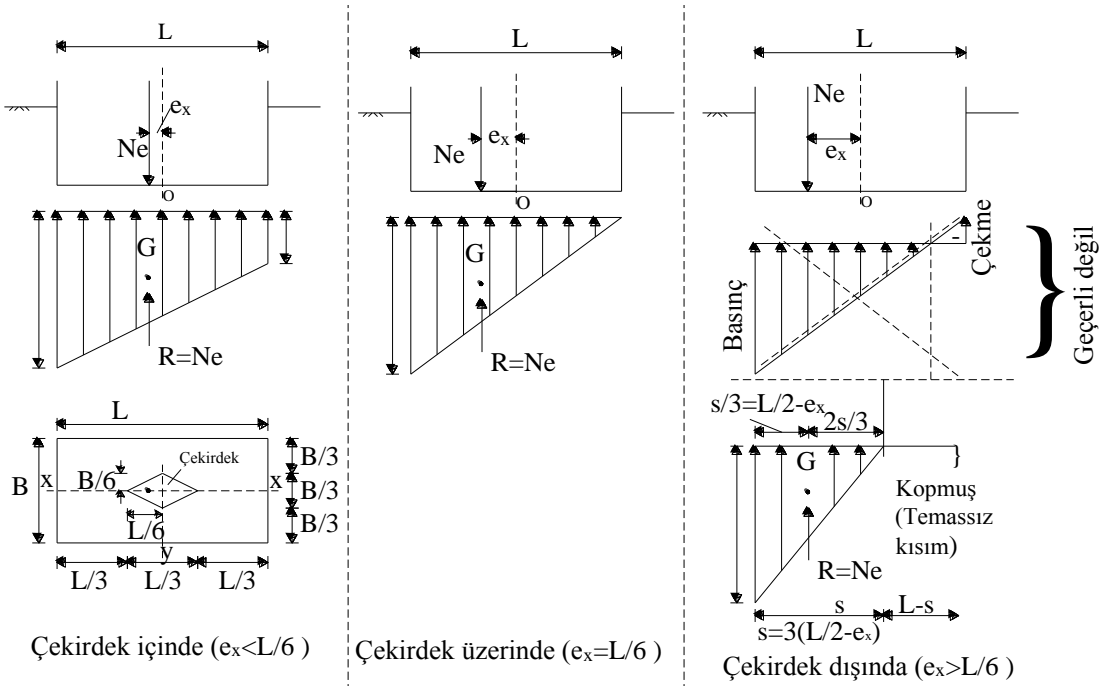
Geleneksel yöntemde, eksantrik yüklü bir rijit temel altındaki basınç dağılımlarını belirlemek için şu kabuller yapılmaktadır.

- 1) Taban basıncının dağılım biçimi doğrusaldır (lineer dağılım).
- 2) Dağılımın bileşkesi, eksantrik olarak etkiyen yüke eşittir ($\sum Y=0$)
- 3) Dağılımın bileşkesi ile eksantrik yük, aynı düşey doğrultudadır ($\sum M=0$).

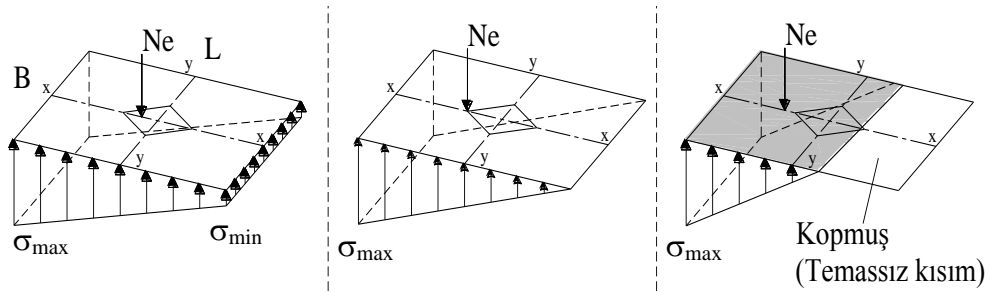
4) Zeminle temel arasında çekme gerilmesi oluşamaz. Çekme gerilmesi meydana gelen alanda, temel ile zemin teması kaybolur. Geleneksel yöntemin bu kabullerin geçerliliği, deneysel çalışmalarla gösterilmiştir (Uzuner, 1975; Uzuner, 1980).

Bir yönde eksantrikliğe maruz bir dikdörtgen temelde, taban basıncı dağılımları geleneksel yöntemde göre aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

1. Yük çekirdek çekirdek içinde ($e_x < L/6$): böyle bir durumda taban basıncı dağılımı yamuk biçimli olup, Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Eksantrik yüklü bir dikdörtgen alan altında taban basıncı dağılımları



Şekil 1.7. Şekil 1.6'nın üç boyutlu görünüşleri

Taban basıncı dağılımının en büyük ve en küçük değerleri,

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{N_e}{A} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} = \frac{N_e}{BL} \pm \frac{N_e e_x}{\frac{BL^2}{6}} = \frac{N_e}{BL} \left(1 \pm \frac{6e_x}{L} \right) \quad (1.3)$$

2. Yük çekirdek sınırı üzerinde (özel durum, $e_x = L/6$): Bu durumda, taban basıncı dağılımı üçgen biçimli (kopmamış üçgen) olup, en büyük değeri, aşağıda verilmektedir (Şekil 1.6.).

$$\sum Y = 0, \frac{\sigma_{\max} LB}{2} = N_e \rightarrow \sigma_{\max} = \frac{2N_e}{BL} \quad (1.4)$$

Aynı bağıntı, Eşitlik 1.3'de $e_x=L/6$ koyarak da elde edilebilmektedir.

3.Yük çekirdek dışında ($e_x>L/6$): Böyle bir durumda, temel tabanı ile zeminin teması, belli bir alanda kaybolmaktadır (kopmuş üçgen dağılım). Bu durumda, Eşitlik 1.3 geçerli olmamaktadır. Bunun nedeni zeminlerin çekme (-) gerilmesi taşınamamasıdır. Geleneksel yöntemin koşulları çerçevesince, taban basıncı dağılımı Şekil 1.6'da gösterildiği gibi oluşmaktadır. Dağılımın en büyük değeri ise aşağıdaki eşitlikte verildiği gibidir.

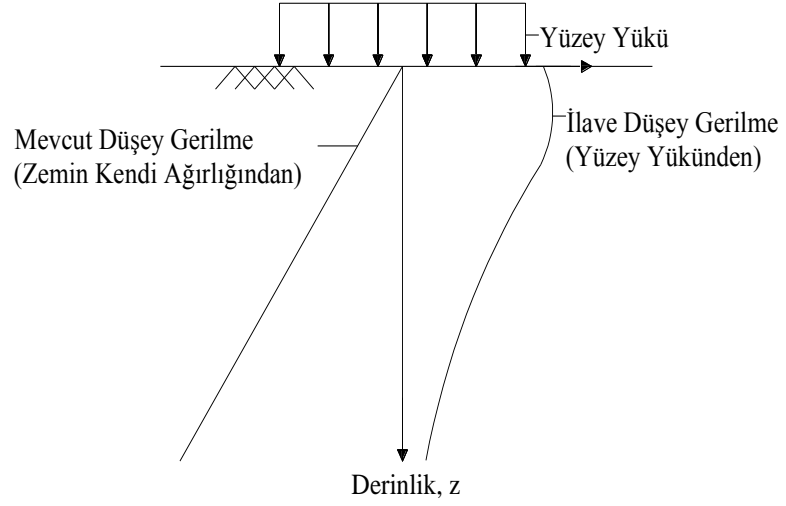
$$\sum Y = 0, \frac{\sigma_{\max} sB}{2} = N_e \rightarrow \sigma_{\max} = \frac{2N_e}{sB} = \frac{2N_e}{3\left(\frac{L}{2} - e_x\right)B} = \frac{4N_e}{3(L-2e_x)B} \quad (1.5)$$

Temel-zemin temasının kaybolduğu (gerilme almayan) kısmının uzunluğu ise Eşitlik 1.6'da ifade edilmektedir.

$$L - s = L - 3\left(\frac{L}{2} - e_x\right) \quad (1.6)$$

1.2. İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Düşey Gerilmeler

Zemin yüzünde uygulanan bir yükten dolayı zemin kütlesi içindeki noktalarda gerilme artışları meydana geleceği bilinmektedir. Şekil 1.8'de zemin yüzüne yakın bir yükten dolayı, aşağıdaki zemin tabakalarına iletilen düşey gerilmelerin derinlikle dağılımı gösterilmiştir.

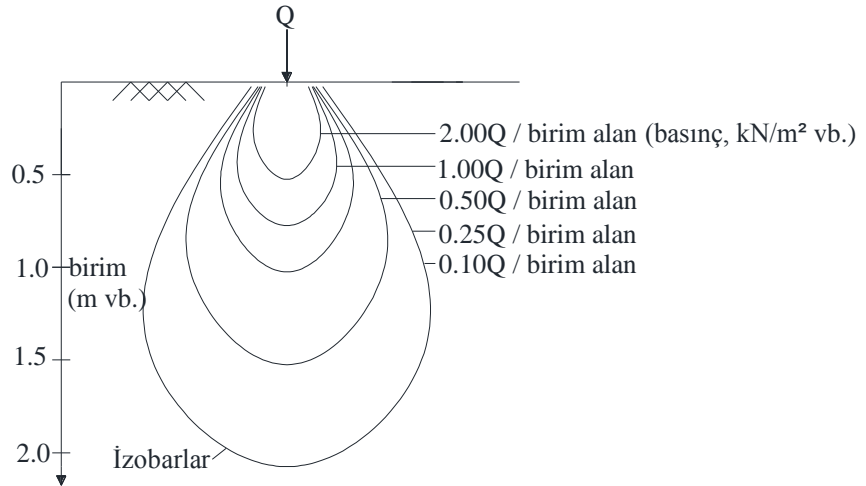


Şekil 1.8. Zeminde mevcut ve ilave düşey gerilmeler (Uzuner, 1998)

Yüzey yüklerinden dolayı, zeminde oluşan düşey gerilme dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan bazı yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

1.2.1. İzobarlar

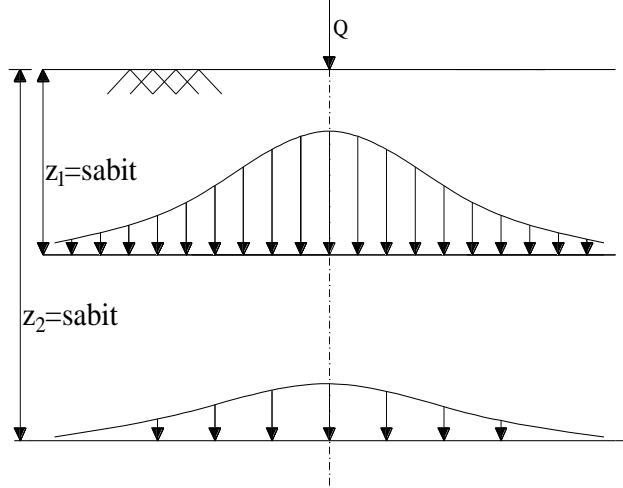
İzobar (basınç soğanı), eşit düşey gerilme noktalarını birleştiren eğri olarak bilinmektedir. Şekil 1.9'da tekil yükten dolayı oluşan izobarlar görülmektedir.



Şekil 1.9. Tekil yük için izobarlar (Uzuner, 1998)

1.2.2. Yatay Bir Düzlemde veya Doğrultuda Düşey Gerilme Dağılımı

Herhangi bir derinlikteki Q tekil yükünün etkisi altında ($z = \text{sabit}$) herhangi bir yatay düzlemde oluşan düşey gerilme dağılımı Şekil 1.10'da görülmektedir.

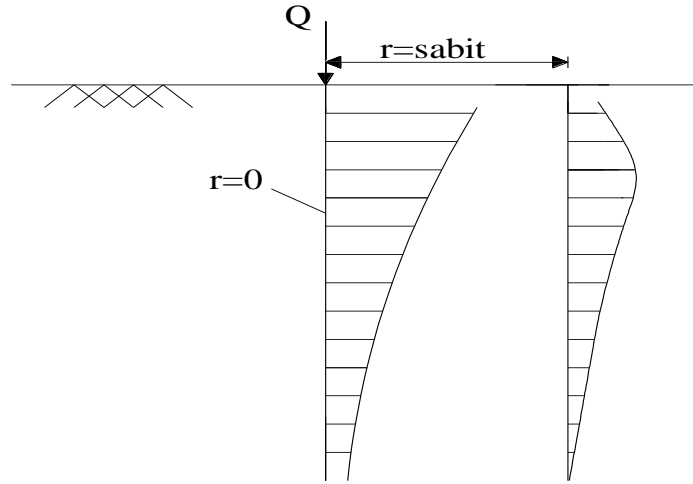


Şekil 1.10. Nokta bir yük altında, yatay doğrultulardaki gerilme artışlarının dağılımı (Uzuner, 1998)

Şekilden de görüldüğü gibi yükün etki noktasından yanlara doğru uzaklaştıkça aynı düzlemdeki düşey gerilme değerleri azalmaktadır.

1.2.3. Düşey Bir Düzlemdeki Düşey Gerilme Dağılımı

Tekil yükten dolayı, herhangi bir $r=\text{sabit}$ uzaklıktaki bir düzlem veya doğrultudaki düşey gerilme artışı Şekil 1.11'de görülmektedir. Buna göre düşey düzlem boyunca gerilme mertebeleri yüzeye yakın kısımlarda büyük değerlerde iken, yüzeyden daha derine doğru inildikçe azalmaktadır.



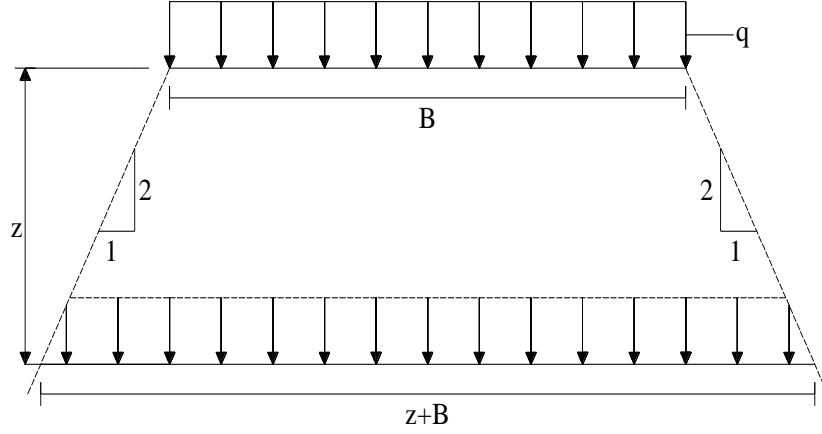
Şekil 1.11. Tekil yükten dolayı düşey doğrultuda oluşan gerilme dağılımı (Uzuner, 1998)

1.2.4. Basit Kabul

Yüklenmiş bir alanın altında oluşan gerilme artışlarını yaklaşık olarak saptamak amacıyla, yüklemekten etkilenen bölgenin sınırları hakkında bazı kabullerde bulunulması gerekmektedir. Şekil 1.12’de görüldüğü gibi yüklemekten etkilenen bölgenin sınırlarını gösteren doğruların eğiminin 2 (düşey) / 1 (yatay) olduğu kabul edilmiştir. Uygulanan yükten etkilenen bölgenin yanal sınırları hakkında bir kabul yapıldıktan sonra, ikinci bir basitleştirici varsayım olarak herhangi bir z derinliğindeki düşey gerilme dağılımının, bu düzlem boyunca üniform olacağıdır. Bu koşullar altında, q yayılı yükü ile yüklü $B \times L$ alanının z derinliği altındaki düşey gerilme artışı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta\sigma_z = \frac{qBL}{(B+z)(L+z)} \quad (1.7)$$

Bu denklemden, B temel genişliğini, L temelin uzun kenarını, q yayılı yükü, z ise derinliği göstermektedir (Özaydın, 1989).



Şekil 1.12. Düşey gerilme artışları için basitleştirilmiş yaklaşım (Özaydın, 1989)

Bu çalışmada, gevşek kum zemine oturan farklı geometrili model temellerin farklı yükleme koşullarında zeminde meydana getirdiği ilave düşey gerilme davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. İlave düşey gerilme artışları 5 farklı derinlikte ($z_1=0.1\text{m}$, $z_2=0.2\text{m}$, $z_3=0.3\text{m}$, $z_4=0.4\text{m}$, $z_5=0.5\text{m}$) ve her bir derinlik için yatayda aynı anda 5 farklı noktada (temellerin merkezi ile $BX_1=0.12\text{m}$, $BX_2=0.24\text{m}$, $BX_3=0.36\text{m}$ ve $BY=0.12\text{m}$ konumlarında) (burada X ve Y doğrultuları ifade etmektedir) yerleştirilen gerilme ölçerler vasıtasıyla laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak ölçülmüştür. Ayrıca yük-oturma değerleri de elde edilmiştir. Uygulamalarda yüklemeler S-tipi yük ölçer ve deplasmanlar ise LVDT deplasman ölçerler ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. $10\text{cm}\times 50\text{cm}$ boyutunda şerit temel, $10\text{cm}\times 30\text{cm}$, $10\text{cm}\times 20\text{cm}$ boyutlarında dikdörtgen temeller ile $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ ve $20\text{cm}\times 20\text{cm}$ kare temellerin kullanıldığı bu tez çalışmasında toplam 50 adet model deney yapılmıştır.

Literatür araştırması sonucu bu tez çalışmasının özgün olarak değerlendirilebilecek yönleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Farklı yükleme kombinasyonlarının (merkez ve eksantrik) bir arada değerlendirilerek gerilme analizlerinin deneysel ve teorik olarak ele alınmış olması
- Eş zamanlı olarak beş farklı noktada (hem x hem de y eksenine doğrultusunda) gerilme, yük ve oturma ölçümlerinin alınmış olması (bu durum deney şartlarının değişmemesine olanak sağlamaktadır).
- Farklı tür ve geometride model temellerin (şerit, dikdörtgen ve kare) bir arada kullanılması

- Gerilme hem merkez hem de eksantrik yüklemelerde düşey ve yatay doğrultular için elde edilmiş olması

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ve değerlendirmeler, aşağıdaki sıra ile sunulmuştur.

Bölüm 1’de gerilme kavramı, genel yaklaşımlar ve tez kapsamında yapılan çalışmaların sunulduğu “Giriş” kısmı yer almaktadır.

Bölüm 2’de, gerilme ve eksantrik yükleme davranışı ile ilgili literatür taraması yapılmış ve elde edilen bulgular, "Önceki Çalışmalar" başlığı altında sunulmuştur.

Bölüm 3’de, zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar, " Materyal ve Yöntem" başlığı altında sunulmuştur. Geleneksel laboratuvar deneyleri, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4’de, laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler, "Araştırma Bulguları ve Tartışma " başlığı altında sunulmuştur. Ayrıca deney sonuçları teorik bağıntılarla karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5’te laboratuvar deney sonuçları ve teorik sonuçlar sonuçları irdelenerek "Sonuçlar ve Öneriler " başlığı altında sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, özellikle zeminlerde meydana gelen düşey ve yatay gerilmelerin tahmini ve tespiti aynı zamanda da zeminlere oturan yüzeysel temellerde farklı yükleme koşulları için geliştirilmiş olan deney düzenekleri ve teknikleri ele alınmıştır. Literatürde bu konu ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar derlenerek aşağıda özetlenmiştir.

Terzaghi (1920) tarafından kum ve kil numunelerde düşey yüklerden dolayı oluşan yatay ve düşey gerilmeler, laboratuvar ortamında oluşturulan bir deney düzeneği ile ölçülmüştür. Bu deney düzeneği, düşey ve yatay gerilmelerin belirlenmesi için yapılan ilk deneysel çalışmalardan birisi olarak kabul edilmektedir.

Donath (1891) tarafından yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı şeklinde tarif edilen, sükûnetteki yanal zemin basınç katsayısı K_0 değerleri elde edilmiştir. Sonuçta kaba kum için K_0 değerinin 0.42 mertebelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kompaksiyonun K_0 değerleri üzerindeki etkileri de ilk olarak Terzaghi tarafından araştırılmış ve kum zeminin el kompaktörü ile tabakalar halinde sıkıştırılması durumunda, K_0 değerinin 0.6 ile 0.7 arasında değiştiği bildirilmiştir (Hanna ve Ghaly, 1992).

Scheidig ve Kögler (1926) tarafından yapılan deneylerde bir kum dolgusunun yüzeyine yükün uygulanmasıyla bu yükün farklı derinliklerde bulunan yatay düzlemlerin çeşitli noktalarında meydana getirdiği gerilmeler bu noktalara yerleştirilen ölçüm cihazları yardımıyla ölçülmüştür. Basınç dağılımını da veren bu deneylerde basit kabulden farklı sonuçlar elde edilmiştir (Acun, 1960). Bu sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

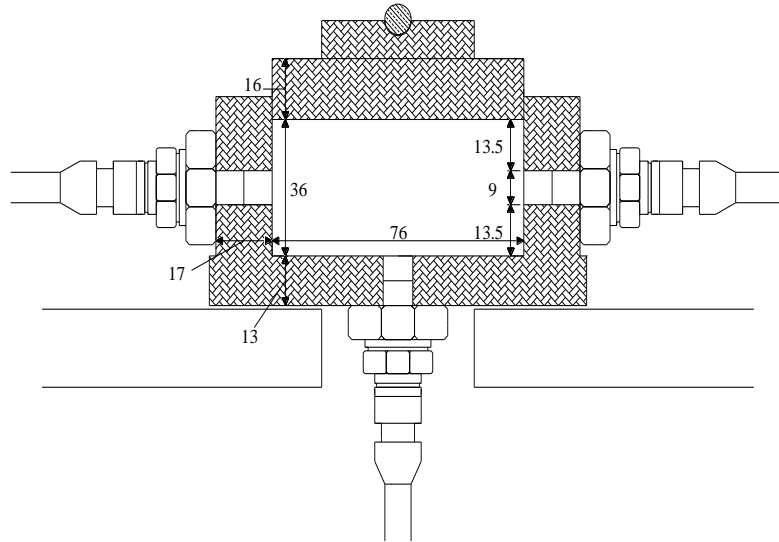
- Taban alanından z derinliğinde bulunan bütün yatay düzlemlerdeki basınç dağılımı, aynı karakteristik şekli göstermektedir. Basınca maruz kalan alanın dışındaki gerilmeler, alanın ortasındaki değerlerden oldukça küçüktür.
- Basit kabuldeki üniform gerilme dağılımı hiçbir noktada elde edilmemiştir.
- Ölçü düzlemi ne kadar derinde ise, yük plakası merkezinin altındaki basınç da o kadar azalmaktadır.

- Kum zeminin herhangi bir noktasındaki basınç, etkiyen yük ile orantılı olarak artmaktadır. Ancak uygulanan yükün, kumda kaymaların meydana gelmesine sebep olacak kadar büyük olmaması gerekmektedir.

Kjellman (1936) tarafından üç eksenli basınç deney aletine benzeyen bir deney düzeneği geliştirilerek kumlu zeminlerde oluşan gerilmeler ölçülmüştür. K_0 katsayısının zeminin gerilme tarihçesine bağlı olduğu ve 0.5 ile 1.5 değerleri arasında elde edildiği gösterilmiştir.

Hendron (1963) tarafından özel bir ödometre ile oluşturulan deney düzeneğinde yanal basınçlar, ödometre ringine yapıştırılan deformasyon ölçerler yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada yüksek basınç altında danelerin kırılmasının yanal basınçlar üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Sağlamer (1972) tarafından geliştirilen bir düzenekle kumlu zeminlerde düşey ve yatay gerilmeler ölçülmüştür. Gerilmeleri ölçmek için üç adet gerilme ölçer kullanılmış ve yüksek gerilmeler altında ölçümler alınmıştır. Şekil 2.1'de gösterilen standart konsolidasyon aleti ile aksenal yükleme düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan bu düzeneğin, konu ile ilgili çalışılan diğer ölçme aletlerinden üstünlüğü, herhangi bir yanal gerilme olmaksızın ölçümlerin doğrudan yapılabilmesidir. Diğer düzeneklerin bir çoğunda ise gerilmeler, deformasyon cinsinden dolayı olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.1. Sağlamer (1972) tarafından kullanılan özel ödometre (ölçüler mm cinsindedir)

Hanna ve Ghaly (1992) tarafından kum zeminlerde yatay ve düşey gerilmeler, gerilme ölçerler vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu çalışmada, 1.0m x 1.0m x 1.25m ebatlarında metal bir kasa içerisine gerilme ölçerler yerleştirilmiş ve farklı sıklıklarda kum numuneler hazırlanarak, oluşan yatay ve düşey gerilmeler ölçülmüştür. Ayrıca deneysel olarak hesaplanan K_0 değerleri Jaky (1948) tarafından verilen $K_0 = 1 - \sin\phi$ değerleri ile karşılaştırılmış ve elde sonuçlar Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Çizelgede σ_x ve σ_z sırasıyla yatay ve düşey gerilmeleri, K_0 sükkûnetteki yanal zemin basınç katsayısını, γ kumun birim hacim ağırlığını, ϕ ise kumun kayma mukavemet açısını göstermektedir.

Çizelge 2.1'den, sıklığın artmasına bağılı olarak deneysel ve teorik K_0 değerlerinin azaldığı, deneysel olarak ölçülen ilave gerilmelerin teorik değerlerden oldukça büyük olduğu görülmektedir.

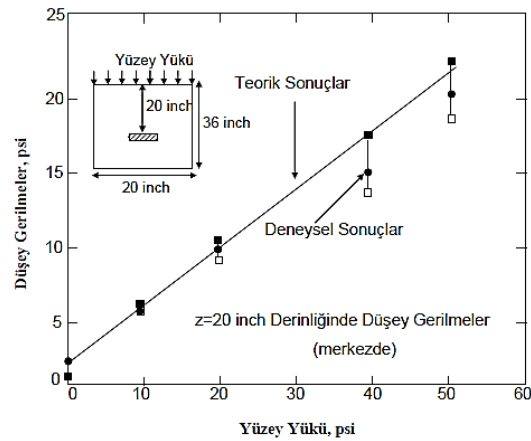
Çizelge 2.1. Ölçülen ve hesaplanan gerilme ve K_0 değerlerinin karşılaştırılması (Hanna ve Ghaly, 1992)

H m	ϕ°	γ kN/m ³	$K_0=1-\sin\phi$	Teorik Sonuçlar		Deneysel Sonuçlar		$K_0=\sigma_x/\sigma_z$
				σ_x kN/m ²	σ_z kN/m ²	σ_x kN/m ²	σ_z kN/m ²	
0.2	31	17.75	0.485	1.72	3.55	2.41	3.86	0.624
0.4	31	17.75	0.485	3.44	7.10	6.42	8.04	0.799
0.6	31	17.75	0.485	5.17	10.65	11.73	12.51	0.938
0.8	31	17.75	0.485	6.89	14.20	20.08	18.10	1.110
0.2	36	18.74	0.412	1.55	3.75	2.76	4.68	0.589
0.4	36	18.74	0.412	3.09	7.50	6.81	10.04	0.678
0.6	36	18.74	0.412	4.63	11.24	13.39	16.07	0.833
0.8	36	18.74	0.412	6.18	15.00	22.21	23.00	0.966
0.2	42	19.03	0.331	1.26	3.81	2.65	6.31	0.420
0.4	42	19.03	0.331	2.52	7.61	7.06	14.80	0.477
0.6	42	19.03	0.331	3.78	11.42	12.47	24.12	0.517
0.8	42	19.03	0.331	5.04	15.22	21.17	35.40	0.598

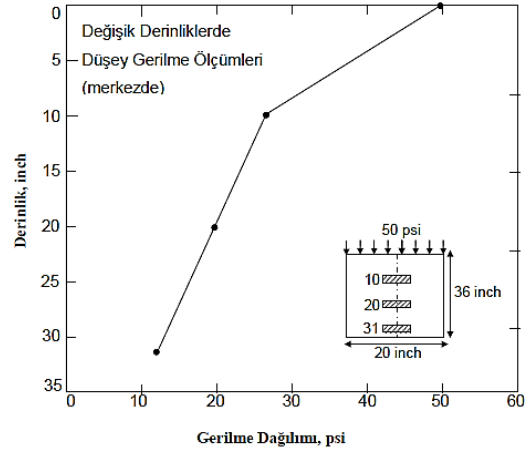
Cho ve Vipulanandan (1998) tarafından yapılan çalışmada kum zeminlerde gerilme dağılımını belirlemek amacıyla, gerilme ölçerler kullanılmış ve ölçümler yapılmıştır. Deneysel 24 inç uzunluk, 20 inç genişlik ve 36 inç yüksekliğinde metal bir kasa ile çapı 3.5 inç, kalınlığı 1 inç olan diyafram tipi gerilme ölçerler kullanılmıştır. Deneysel kasa içine yerleştirilen kumun sıkılık derecesi $D_r = \%70$ olarak sabit tutulmuş ve yük rijit bir plaka vasıtasıyla uygulanmıştır. Deneysel sonunda elde edilen düşey gerilme değerleri, Van Horn (1963) tarafından verilen teorik çözümle (Eşitlik 2.1) karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar grafik halinde sunulmuştur (Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.). Sonuçta deneysel ölçümlerin teorik hesapla uyum içinde olduğu görülmüştür.

$$\sigma_z = \frac{L\gamma}{2K_r \tan \phi} \left[1 - \exp\left(-2K_r \tan \phi \frac{2z}{L}\right) \right] + q \exp\left(-2K_r \tan \phi \frac{2z}{L}\right) \quad (2.1)$$

Bu denklemde, γ kumun birim hacim ağırlığını, q üniform yayılı yükü, z ölçüm yapılan derinliği, ϕ kayma mukavemet açısını, K_r ise yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranını göstermektedir. Ayrıca eşitlikte b ve l kasa genişlikleri olmak üzere, $L=bl/(b+l)$ ifadesiyle hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2. Düşey gerilmeler ($z=20$ inç)



Şekil 2.3. Farklı derinliklerde düşey gerilmeler

Uzuner ve ark. (2000) tarafından kum zemine oturan eksantrik yüklü model şerit temellerin taban gerilmelerinin dağılımlarını belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Gerilme dağılımlarının temel ortasında büyük ve yaklaşık parabol bir eğrisel şekle sahip olduğu, eksantrisite arttıkça da parabol dağılımın simetriğinin bozularak, eksantrisitenin tepe noktası tarafına doğru kaydığı görülmüştür.

Hanna ve Soliman-Saad (2001) tarafından kum zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri ölçmek için basınç ölçerler kullanılmış ve aynı zamanda kompaksiyonun gerilme değerlerine etkisini araştırmak amacıyla metal bir kasa içerisine, değişik sıklık durumlarında yerleştirilen kum numunelerinde oluşan gerilmeler ölçülmüştür.

Moroğlu ve ark. (2002) tarafından donatılı kum zemine oturan eksantrik yüklü model şerit temelin taşıma gücü davranışı araştırılmıştır. Eksantrik yüklü temelin nihai taşıma gücünün merkez yüklü temelin taşıma gücüne oranının artan eksantrisite ile azalışı sonuçların bu konudaki yaklaşımlarla uyumlu olduğunu göstermiştir.

Keskin (2004) tarafından yapılan model deneylerde kum zemin üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı oluşan ilave düşey gerilme davranışı incelenmiştir. Sonuç olarak uygulanan yük arttıkça ölçülen gerilme değerinin arttığı, derinlik arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı ve yüzeye yakın yerlerde deney sonuçlarının teorik sonuçlara göre daha düşük değerler verdiği gözlenmiştir.

Laman ve Keskin (2004) tarafından laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak kum zeminler üzerine oturan kare temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme değerleri tespit edilmiştir. Deneyler, kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve gerilme değerlerini bulmak için basınç ölçerler kullanılmıştır. İki

farklı sıklıkta hazırlanan deneyler ile sıklığın ilave düşey gerilme değerleri üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Aynı zamanda bu çalışma, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek PLAXIS yazılımı yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları derinlik arttıkça gerilme değerlerinin azaldığını ve Boussinesq çözümleri ile yakın değerler elde edildiğini göstermektedir. Pekleşen zemin modeli ve Mohr-Coulomb modeli sonuçları birbirine yakınken, deney sonuçlarının Lineer Elastik sonuçlarına göre, Westergaard ve Lineer Elastik Model sonuçlarında bir değişiklik gözlenmemiştir. Deney, Pekleşen Zemin Modeli ve Mohr-Coulomb zemin model sonuçlarının değiştiği ve sonuçların birbirine daha fazla yakınlaştığı görülmektedir.

Laman ve ark. (2005) tarafından kum zeminlere oturan dairesel temellerde oluşan düşey ve yatay gerilme değerleri model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneylerde gerilme değerlerini bulmak için basınç ölçerler kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı sıklıkta hazırlanmış kum zemin numunesi ve iki farklı çapta dairesel temel kullanılmıştır. Ayrıca model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek, PLAXIS yazılımı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, temel seviyesinin z derinliğinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılımının üniform olduğunu, ölçüm derinliğinin artmasıyla temel merkezinin altındaki basıncın da azaldığını ve kum zeminin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak arttığını göstermiştir.

Kayadelen ve ark. (2004) tarafından laboratuvar ortamında model deney düzeneği oluşturularak kum zeminlerde gerilme ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları, Eşitlik 2.2 ve Boussinesq yaklaşımından bulunan gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda Eşitlik 2.2'ye göre, düşey gerilme artımının K_0 değerine bağlı olması bu parametrenin hassas bir şekilde tayinini önemli hale getirmektedir. Bu amaçla deneylerde kullanılan zeminin K_0 katsayısını doğrudan ölçmek amacı ile ince cidarlı ödometre ile deneyler yapılmıştır. Ölçülen K_0 değerleri Eşitlik 2.2'de yerine konularak gerilme artımları bulunmuştur.

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\frac{2\sqrt{K_0}(b-x)z}{4K_0(b-x)^2 + z^2} + \frac{2\sqrt{K_0}(b+x)z}{4K_0(b+x)^2 + z^2} - \text{ArcTan} \left[\frac{2\sqrt{K_0}(x-b)}{z} \right] + \text{ArcTan} \left[\frac{2\sqrt{K_0}(x+b)}{z} \right] \right] \quad (2.2)$$

Yapılan analizler ve deneysel çalışmalar sonunda, zemin mekaniği ve temel mühendisliği için önemli bir olgu olan, gerilme artışı problemi için literatürdeki mevcut çözümlerin, zeminler için her zaman yeterli sonuçlar vermediği görülmüştür. Çünkü bu çözümlerde, kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri göz önüne alınamamaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile farklılık gösterebilmektedir.

Laboratuvarda model deneyler yapılarak uygulanan düşey yüklemelerden dolayı farklı derinliklerde oluşan ilave gerilmeler ölçülmüştür. Ayrıca Eşitlik 2.2 ve Boussinesq yaklaşımı kullanılarak ilave gerilmeler hesap edilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, Eşitlik 2.2'den elde edilen değerlerin deneysel değerler ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Saran ve ark. (2007) tarafından donatılı zemine oturan ve eksantrik-eğik yüklü kare ve dikdörtgen temellerde belli oturmaya karşılık gelen taşıma gücü değerlerini hesaplayan bir analiz yöntemi sunulmuştur. Analizler doğrultusunda uygulamaya yönelik çeşitli boyutsuz abaklar önerilmiş, sonuçlar model deneyler yapılarak doğrulanmıştır.

Keskin ve ark. (2008) tarafından kum zeminlere oturan üniform yüklü kare temellerin merkezi altında oluşan ilave düşey gerilme davranışı deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışma sonunda deneysel, sayısal ve teorik sonuçlar arasında belirli derinlik değerlerinde genel bir uyum gözlenmiştir. Deney sonuçları $1.0B$ ve $1.5B$ derinliklerde Drucker-Prager model sonuçlarına, $2.0B$ derinlikte ise, Lineer Elastik model sonuçlarına daha yakın çıkmaktadır. Boussinesq sonuçları ise hem sayısal hem de deneysel sonuçlardan daha küçük sonuçlar vermektedir. Lineer Elastik ve Drucker-Prager model sonuçları birbirinden çok farklı olmamasına rağmen, Lineer Elastik çözümde göçme yükünün elde edilememesi bir olumsuzluk olarak görülmekte ve Drucker-Prager modelinin, zeminin davranışını daha iyi yansıttığı düşünülmektedir.

Şadoğlu ve ark. (2009) tarafından donatı ile güçlendirilen sıkı kum zemine oturan eksantrik yüklü model şerit temel kullanılarak yapılan model deneyler, eksantrisite oranı arttıkça nihai taşıma kapasitesinin azaldığını göstermiştir.

Bağrıaçık (2010) tarafından, kum zeminlere oturan farklı geometrilerdeki yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Ayrıca farklı geometrideki

temeller kullanılarak şekil etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak; farklı geometrilerdeki temelerde şekil etkisinin önemli mertebelerde olduğu görülmüştür.

Nawghare ve ark. (2010) tarafından eksantrik yüklü kare ve dikdörtgen temellerin taşıma gücü davranışı laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Deneyler hem merkez yüklü hem de farklı eksantrisite oranlarında eksantrik yüklü olarak yapılmış, taşıma gücü ve bunlara karşılık gelen oturma değerleri bulunmuştur. Dikdörtgen kesitli temelerde hem merkez, hem de eksantrik yükleme durumlarında temel boyutu arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, kare kesitli temelerde taşıma kapasitesinin yükleme türünden etkilenmediği, fakat temel oturmalarının değiştiği gözlenmiştir.

Örnek ve ark. (2014) tarafından kum zemine oturan eksantrik yüklü şerit temellerin analizi laboratuvar model deneyleriyle incelenmiştir. Model deneylerde 6 farklı yük eksantrisitesi kullanılmıştır. Deney sonuçları yük eksantrisitesi arttıkça nihai taşıma gücünün azaldığını göstermiştir.

2.2. Teorik Çalışmalar

Zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan düşey ve yatay gerilmelerin bulunmasıyla ilgili literatürde birçok teorik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, zeminin elastik bir malzeme gibi davrandığı kabul edilip elastisite teorisinden faydalanılmıştır. Bu bölümde bazı araştırmacılar tarafından yapılan teorik çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Farklı yükleme koşullarında zemin ortamında elde edilen ilave gerilme dağılımları aşağıdaki durumlar için elde edilmiştir.

- i) Tekil yük durumu
- ii) Çizgisel yük durumu
- iii) Üniform şerit yük durumu
- iv) Üniform yüklü dairesel alan durumu
- v) Üniform yüklü dikdörtgen alan durumu

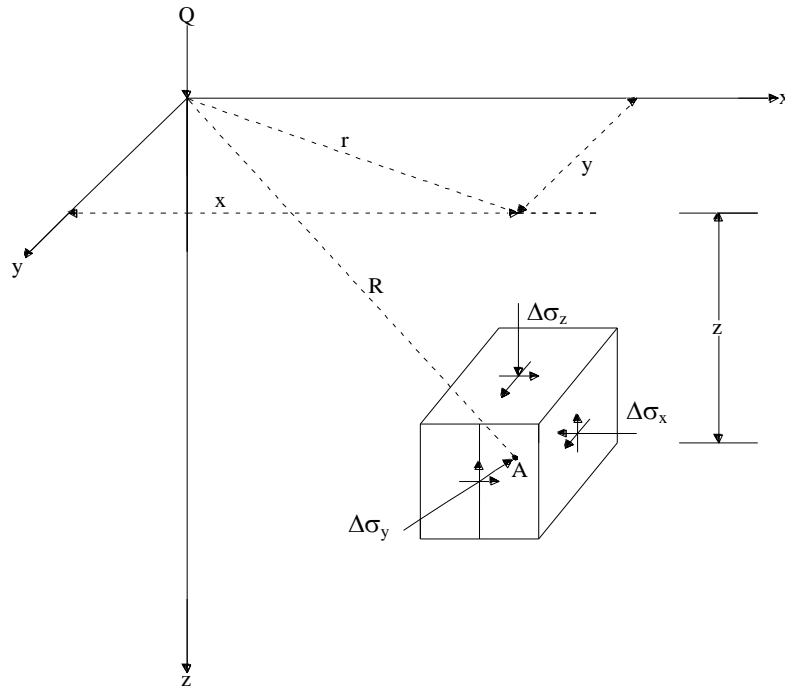
2.2.1. Tekil Yük Durumu

Boussinesq (1885) tarafından lineer, elastik, homojen, izotrop, yarı sonsuz ortamda, yüzeye etkiyen bir tekil yükten dolayı oluşan gerilme problemi çözülmüştür (Şekil 2.4.). Bu problem zemin mekaniğinde en çok kullanılan problemlerden birisidir. Zeminlerde gerilme artımlarının tahmini bir Boussinesq problemi olarak ele alınmaktadır (Tekinsoy ve Laman, 2000). Zeminlerde tekil yükten dolayı oluşan ilave yatay ve düşey gerilmeler için bu çözümler aşağıda sunulmuştur.

$$\Delta\sigma_x = \frac{Q}{2\pi} \left\{ \frac{3x^2z}{R^2} - (1-2\mu) \left[\frac{x^2 - y^2}{Rr^2(R+z)} + \frac{y^2z}{R^3r^2} \right] \right\} \quad (2.3)$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{Q}{2\pi} \left\{ \frac{3y^2z}{R^2} - (1-2\mu) \left[\frac{y^2 - x^2}{Rr^2(R+z)} + \frac{x^2z}{R^3r^2} \right] \right\} \quad (2.4)$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \frac{z^3}{R^5} = \frac{3Q}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} \quad (2.5)$$



Şekil 2.4. Tekil yükten dolayı zemin içinde oluşan gerilmeler (Das, 2001)

Burada, x , y , z sırasıyla yatay ve düşey mesafeler, μ ise, poisson oranıdır. Q uygulanan tekil yük, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ dir. Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4'deki yatay gerilme ifadelerinde poisson oranı yer almasına rağmen Eşitlik 2.5'de bu sabit yer almamaktadır. Bunun nedeni, düşey gerilme ifadesi elde edilirken elastisite modülü ve poisson oranının yarı sonsuz uzay boyunca sabit olduğu kabulünün yapılmasıdır. Dolayısıyla, düşey gerilmeler sadece uygulanan yükün şiddetine ve geometrik ifadelere bağlı olarak değişmektedir. Eşitlik 2.5 ifadesi aşağıdaki gibi düzenlenirse,

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \left\{ \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[\left(\frac{r}{z} + 1 \right) \right]^{5/2}} \right\} \quad (2.6)$$

elde edilmektedir. İfadede etki faktörü olarak adlandırılan ve r/z oranına bağlı I_p değeri aşağıdaki gibi ortaya çıkmaktadır.

$$I_p = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[\left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{5/2}} \quad (2.7)$$

büyüklüğü dikkate alınır, gerilmenin değeri basit olarak

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_p \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilebilir.

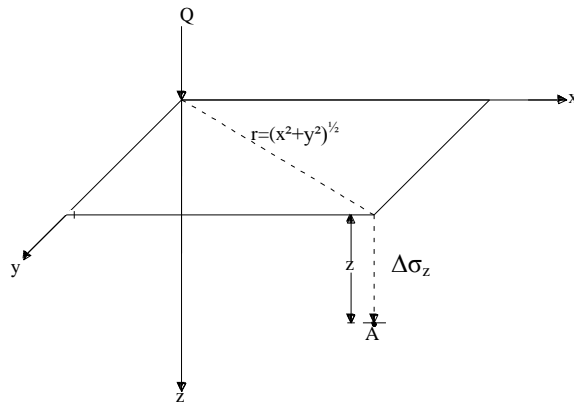
Doğal durumdaki zemin tabakalarının, düşey yüklemeler altındaki yatay şekil değiştirmeleri yatay düzlemlerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinden dolayı oldukça sınırlıdır. Westergaard (1938) tarafından yatay şekil değiştirmelerin sıfır olduğu elastik bir ortamda, Q yükünden dolayı, z derinliğindeki bir A noktasında oluşan (Şekil 2.5) düşey gerilme ifadesi aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2 \pi} \frac{1}{\left[1 + 2 \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (2.9)$$

$$I_w = \frac{1/\pi}{\left[1 + 2\left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (2.10)$$

Eşitlik 2.10'daki I_w ifadesi Eşitlik 2.9'da yerine yazılırsa gerilme artışı aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{z^2} I_w \quad (2.11)$$



Şekil 2.5. Westergaard yaklaşımına göre tekil yükten dolayı oluşan düşey gerilme (Das, 2001)

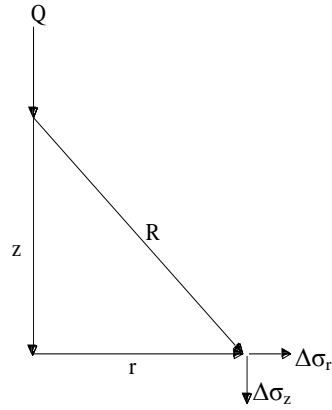
Şekil 2.6'da, sonsuz ortamda bir yüzeyde tekil yükten dolayı oluşan ilave düşey gerilmelerin hesaplanabilmesi için Kelvin problemi olarak bilinen çözümde; düşey gerilmeler,

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{8\pi(1-\nu)} \left[\frac{3z^3}{R^5} + \frac{(1-2\mu)z}{R^3} \right] \quad (2.12)$$

yatay radyal gerilmeler ise,

$$\Delta\sigma_r = \frac{Q}{8\pi(1-\nu)} \frac{z}{R^3} \left[\frac{3r^2}{R^2} + (1-2\mu) \right] \quad (2.13)$$

şeklinde verilmektedir (Poulos ve Davis, 1974).

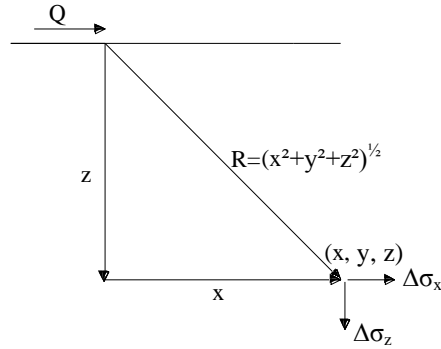


Şekil 2.6. Tekil yük için Kelvin problemi (Poulos ve Davis, 1974)

Cerruti probleminde ise yarı sonsuz ortamda yatay bir yüzeyde tekil yükten dolayı oluşan, yatay ve düşey gerilmeler verilmiştir (Şekil 2.7) (Poulos ve Davis, 1974).

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Qxz^2}{2\pi R^5} \quad (2.14)$$

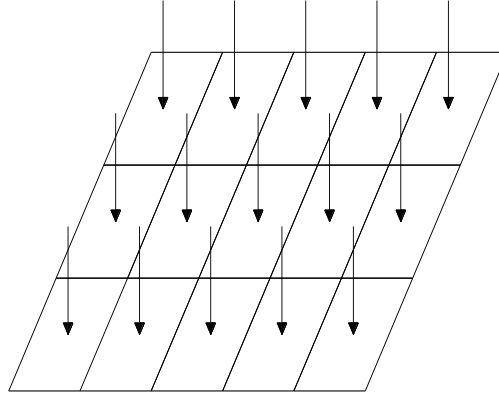
$$\Delta\sigma_x = \frac{-Qx}{2\pi R^3} \left[\frac{-3x^2}{R^2} + \frac{1-2\mu}{(R+z)^2} \left(R^2 - y^2 - \frac{2Ry^2}{R+z} \right) \right] \quad (2.15)$$



Şekil 2.7. Tekil yük için Cerruti problemi (Poulos ve Davis, 1974)

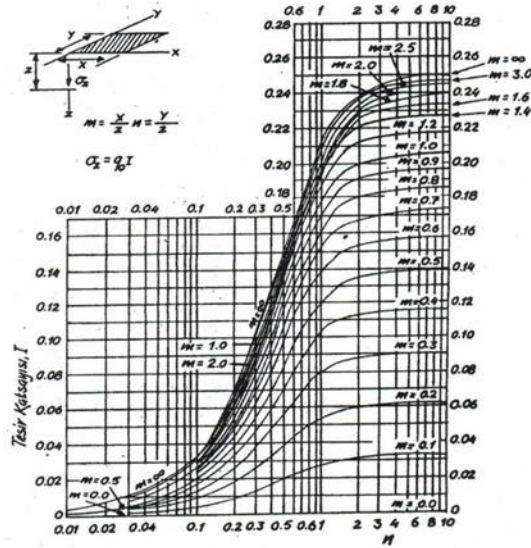
Yapılardan zemine gelen yükler temeller vasıtasıyla aktarıldığı için, tekil yük için elde edilen gerilme dağılımları birçok inşaat mühendisliği probleminde gerçekçi olmamaktadır (Özaydın, 1989). Fakat tekil yük çözümlerinin integrali alınarak yayılı yüklerin zeminlerde yol açacağı gerilme dağılımlarını bulmak mümkün olmaktadır. Bu amaçla Şekil 2.8'de gösterildiği gibi dikdörtgen bir alanın üzerine gelen yayılı yük için

tüm alan çok küçük alanlara ayrılmaktadır. Her bir alana gelen yayılı yük ise tekil kuvvet gibi düşünülmektedir. Bu tekil kuvvetlerin toplamı ve bunlarla ilgili gerilmelerin toplamı, yayılı yükler altındaki gerilmeleri vermektedir.



Şekil 2.8. Gerilmelerin hesabında Green fonksiyonu yaklaşımı (Tekinsoy ve Laman, 2000)

Ayrıca bu yöntemle biçimi geometrik olarak tanımlanabilen (dairesel, dikdörtgen, vb.) yayılı yükler için elde edilmiş hazır çözümler mevcuttur (Özaydın, 2011). Şekil 2.9'da üniform yüklü bir dikdörtgen alan için tesir katsayısının temel boyutları ve derinliğe bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Üniform yüklü bir dikdörtgen alan için düşey gerilmeleri veren tesir katsayısı değerleri (Özaydın, 2011)

Zeminler genellikle yarı sonsuz uzay olarak ele alındıklarından, Boussinesq probleminde bulunan düşey gerilme $d\Delta\sigma_z$ ve yarım uzayın sınırına etki eden yük de dQ olarak alınır. Bu diferansiyeller gerilme ifadelerinde yerlerine konulup, yükleme şekline bağlı olarak integralleri alındığında, gerilme dağılımları elde edilebilmektedir. Tekil kuvvet ifadelerinde Q yerine konulan dQ diferansiyel yük ifadesine Green fonksiyonu adı verilmektedir (Tekinsoy ve Laman, 2000).

Tekinsoy (1995) tarafından her türlü zemin için kullanılabilecek yeni bünye denklemleri tanımlanmış ve bu denklemlerin zeminlerin gerilme artımı problemlerinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Tekil yük için verilen gerilme ifadeleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\sigma_x = \frac{4\sqrt{K_0}P}{\pi} \left[\frac{x^2z}{(4K_0x^2 + z^2)^2} \right] \quad (2.16)$$

$$\sigma_z = \frac{4\sqrt{K_0}P}{\pi} \left[\frac{z^3}{(4K_0x^2 + z^2)^2} \right] \quad (2.17)$$

$$\tau_{xz} = \frac{4\sqrt{K_0}P}{\pi} \left[\frac{xz^2}{(4K_0x^2 + z^2)^2} \right] \quad (2.18)$$

Burada K_0 , zeminin cinsine bağlı, sükûnetteki basınç katsayısıdır. ϕ , zeminin içsel sürtünme katsayısı olmak üzere,

$$K_0 = 1 - \sin\phi \quad (2.19)$$

ile hesaplanmaktadır.

Tekinsoy ve ark. (2009) tarafından yapılan araştırmalarda zemin yoğunluğunun kütle aktarımı sırasında önemli bir işlevi olduğu öne sürülmüştür. Bunun sonucu olarak kompasite C ve gerilme arasında da önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Kompasite,

$$C = \frac{\gamma_k}{\gamma_s} \quad (2.20)$$

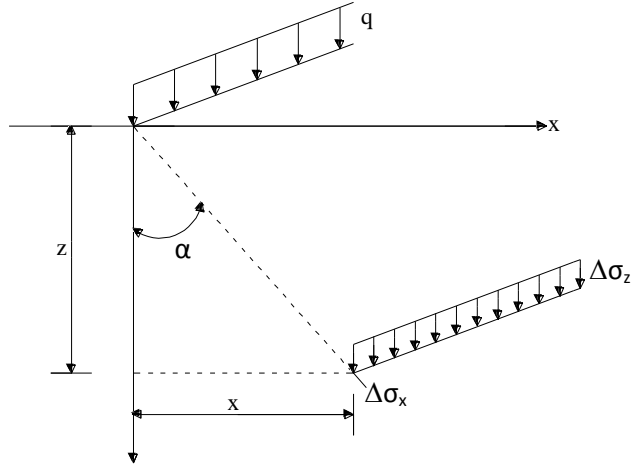
olduğuna göre, daha önce Tekinsoy (1995) tarafından tanımlanan Eşitlik 2.17 aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilmektedir.

Böylece gerilme ifadesinin tahmininde zemin endeks özellikleri de göz önüne alınmış olmaktadır.

$$\sigma_z = \frac{\gamma_k}{\gamma_k} \frac{4\sqrt{K_0}P}{\pi} \left[\frac{z^3}{(4K_0x^2 + z^2)^2} \right] \quad (2.21)$$

2.2.2. Çizgisel Yük Durumu

Sonsuz uzunluktaki bir çizgisel yükten dolayı oluşan düşey ve yatay gerilmeler Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10. Çizgisel yük (Uzuner, 1998)

Bir q çizgisel yükünden dolayı, z derinliğinde, yatayda x kadar uzaklıkta oluşan düşey ve yatay gerilme değerleri Boussinesq probleminin integrasyonu ile, aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir (poisson oranı, $\mu=0.5$ kabul edilerek).

$$\Delta\sigma_z = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (2.22)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{2qx^2z}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (2.23)$$

Westergaard (1938) tarafından çizgisel yükten dolayı oluşan düşey gerilme ifadesi aşağıdaki gibi sunulmaktadır.

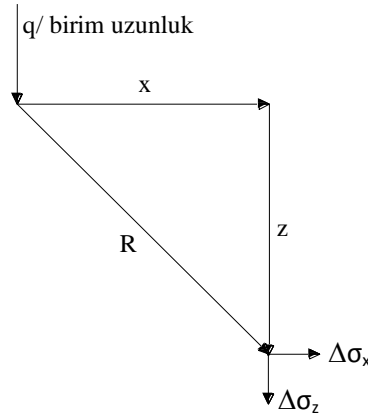
$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{z} \frac{k}{2\pi} \left[\frac{n}{m^2 + k^2} + \frac{1}{(m^2 + n^2 + k^2)^{1/2}} \right] \quad (2.24)$$

I_w etki faktörünün yukarıdaki eşitlikte kullanılması durumunda, $\Delta\sigma_z$ ifadesi

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{z} I_w \quad (2.25)$$

olarak elde edilmektedir. Burada k , m ve n geometriye bağlı katsayılarıdır.

Sonsuz ortamda, sonsuz uzunluktaki bir çizgisel yükten dolayı oluşan gerilmeler (Şekil 2.11.) Kelvin probleminin integrasyonu ile de elde edilebilmektedir (Poulos ve Davis, 1974).



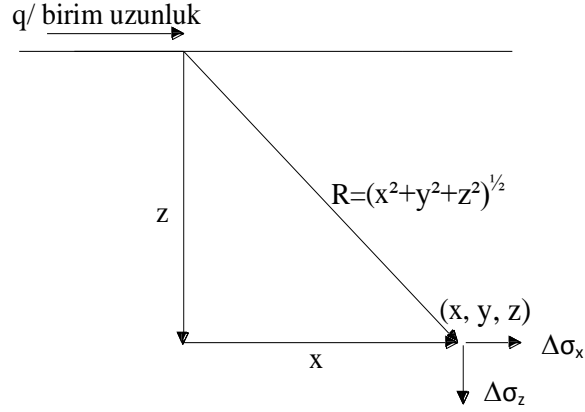
Şekil 2.11. Çizgisel yük (Kelvin problemi) (Poulos ve Davis, 1974)

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2\pi(1-\mu)} \frac{z}{R^2} \left[\frac{(3-2\mu)}{2} - \frac{x^2}{R^2} \right] \quad (2.26)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{2\pi(1-\mu)} \frac{z}{R^2} \left[-\frac{(1-2\mu)}{2} - \frac{x^2}{R^2} \right] \quad (2.27)$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{q}{2\pi} \frac{\mu}{(1-\mu)} \frac{z}{R^2} \quad (2.28)$$

Şekil 2.12’de verilen yarı sonsuz ortamda yatay çizgisel yükten dolayı oluşan gerilmeler ise, Cerruti probleminin integrasyonu yardımıyla bulunabilmektedir (Poulos ve Davis, 1974).



Şekil 2.12. Çizgisel yük (Cerruti problemi) (Poulos ve Davis, 1974)

$$\Delta\sigma_z = \frac{2qxz^2}{\pi R^4} \quad (2.29)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{2qx^3}{\pi R^4} \quad (2.30)$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{2qxz^2}{\pi R^4} \quad (2.31)$$

2.2.3. Üniform Şerit Yük Durumu

Üniform şerit yükten dolayı oluşan gerilmelerin bulunabilmesi için Bölüm 2.2.2’de yer alan çizgisel yük için gerilme ifadelerinden (Eşitlik 2.23) yararlanılabilmektedir. Yükün q ile ifade edilmesi durumunda dr genişliğindeki bir şerit temele etki eden yük $q \cdot l \cdot dr$ olmaktadır (Şekil 2.13). Şerit yük için Eşitlik 2.23 ifadesinde q yerine qdr , x yerine $(x-r)$ konulursa,

$$d\Delta\sigma_z = \frac{2(qdr)z^3}{\pi[(x-r)^2 + z^2]^2} \quad (2.32)$$

ifadesi elde edilmektedir. B genişliğindeki şerit yükten dolayı, A noktasında oluşan düşey gerilme, Eşitlik 2.14'ün $-B/2$ ve $+B/2$ sınırları arasında integralinin alınmasıyla bulunabilmektedir.

$$\Delta\sigma_z = \int_{-B/2}^{+B/2} \left(\frac{2q}{\pi} \right) \left\{ \frac{z^3}{[(x-r)^2 + z^2]} \right\} dr$$

$$= \frac{q}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{z}{x-(B/2)} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{z}{x+(B/2)} \right] - \frac{Bz [x^2 - z^2 - (B^2/4)]^2}{[x^2 + z^2 - (B^2/4)]^2 + B^2 z^2} \right\} \quad (2.33)$$

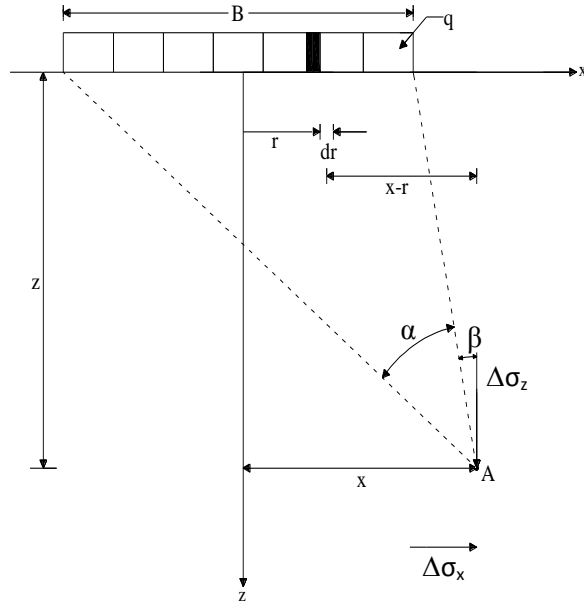
Eşitlik 2.33, Şekil 2.13'de gösterilen α ve β açıları cinsinden basitleştirilmiş olarak

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi h} [\alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (2.34)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Yatay gerilme ise

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} [\alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (2.35)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Bağıntılardaki α ve β açıları ise radyan cinsindedir.



Şekil 2.13. Üniform şerit yük (Das, 2001)

2.2.4. Üniform Yüklü Dairesel Alan Durumu

Bölüm 2.2.1'de yer alan Eşitlik 2.5'de yarım sonsuz uzayın sınırına etki eden tekil yük durumunda (Boussinesq problemi) bulunan düşey gerilme ifadesinde, Q yerine dq ve $\Delta\sigma_z$ yerine de $d\Delta\sigma_z$ alınarak, Green fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$d\Delta\sigma_z = \frac{3dq}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^2} \quad (2.36)$$

Yayıllı yük taşıyan alan dairesel olduğu için alan ifadesi şu şekilde yazılabilmektedir.

$$A = \int_0^r \int_0^{2\pi} 2rdrd\theta \quad (2.37)$$

$$A = 2\pi \int_0^r r dr \quad (2.38)$$

Dairesel alanın birim alanına gelen üniform yükün q olması durumunda şiddeti değişmeyeceğinden dolayı dA elemanter alanına gelen dq yükü, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$dq = 2\pi q r dr \quad (2.39)$$

Bu değerın Eşitlik 2.37'de yerine yazılması durumunda, toplam gerilme için aşağıdaki eşitlikler elde edilmektedir.

$$\Delta\sigma_z = \int_{r=0}^{r=R} \frac{3 \cdot 2\pi q r dr}{2\pi} \frac{z^3}{(x^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}}$$

$$\Delta\sigma_z = 3qz^3 \int_{r=0}^{r=R} \frac{r dr}{(x^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}}$$

Burada R değeri, yükün yayılı olduğu dairesel alanın yarıçapını göstermektedir (Şekil 2.14.).

Yukarıdaki integralde $r^2 + z^2 = u$ dönüşümü yapıp, $rdr = du/2$ değeri yerine konulursa, gerilme ifadeleri aşağıdaki hale dönüşmektedir.

$$\Delta\sigma_z = -q \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \Bigg|_{r=0}^{r=R}$$

$$\Delta\sigma_z = q \left[1 - \frac{z^3}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (2.40)$$

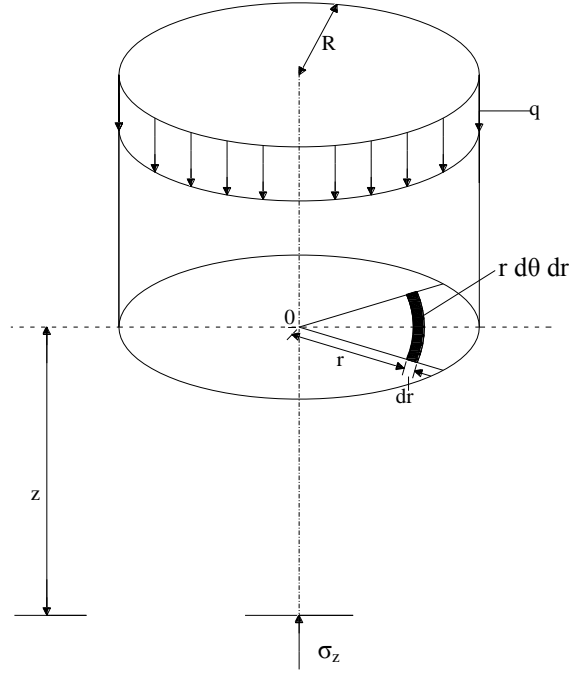
Buradaki $\Delta\sigma_z$ gerilmesi, dairesel alanın merkezi altındaki düşey gerilme dağılımını belirtmektedir. Burada R sabittir. İfadede paydadaki terim z^2 parantezine alınır ve R/z oranına göre düzenlenirse, gerilme dağılımı I tesir faktörüne bağlı olarak gösterilmiş olmaktadır.

$$\Delta\sigma_z = qI \quad (2.41)$$

$$I = 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{R}{z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.42)$$

Yatay gerilmeler de simetriden dolayı, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = \frac{q}{2} \left[(1 - 2\mu) + \frac{2(1 + \mu)z/a}{\left[1 + (z/a)^2 \right]^{1/2}} + \frac{(z/a)^3}{\left[1 + (z/a)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (2.43)$$



Şekil 2.14. Ünlform yüklü dairesel alanın merkezi altında gerilme dağılımı
(Özüdoğru ve ark., 1996)

Ünlform dairesel yükten dolayı zemin içinde oluşan düşey gerilme, Westergaard (1938) tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta\sigma_z = q \left\{ 1 - \frac{k}{[k^2 + (r/z)^2]^{1/2}} \right\} \quad (2.44)$$

I_w etki faktörü kullanılırsa düşey gerilme şu hale dönüşmektedir.

$$\Delta\sigma_z = qI_w \quad (2.45)$$

Burada k geometriye bağlı bir katsayıdır (Keskin, 2004).

Ahlvin ve Ulery (1962) tarafından düşey ve yatay radyal gerilmeler x/r ve z/r değerlerine bağlı fonksiyonlar şeklinde sunulurak bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Burada r dairesel yükün yarıçapını, x ve z sırasıyla yatay ve düşey mesafeleri göstermektedir.

$$\Delta\sigma_z = q[A + B] \quad (2.46)$$

$$\Delta\sigma_z = q[2\mu A + C + (1 - 2\mu)F] \quad (2.47)$$

Yukardaki ifadelerdeki A , B , C , F parametreleri x/r ve z/r oranlarına bağlı katsayılardır.

Tekinsoy (1995) tarafından dairesel ve üniform yüklü esnek bir alanın altındaki gerilmenin hesabı için aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$\Delta\sigma_z = q \left[1 - \frac{z^3}{(4K_0R^2 + z^2)^{3/2}} \right] \quad (2.48)$$

Burada R , dairesel yayılı yük alanının yarıçapıdır.

Tekinsoy ve ark. (2009) tarafından dairesel ve üniform yüklü esnek bir alanın altındaki gerilme, kompasite de göz önüne alınarak incelenmiş ve Tekinsoy (1995)'de tanımlanan ifade aşağıdaki gibi yeniden tanımlanmıştır. Böylelikle gerilme ifadesinin tahmininde zeminin endeks özellikleri de göz önüne alınmıştır.

$$\Delta\sigma_z = \frac{\gamma_k}{\gamma_s} q \left[1 - \frac{z^3}{(4K_0R^2 + z^2)^{3/2}} \right] \quad (2.49)$$

2.2.5. Üniform Yüklü Dikdörtgen Alan Durumu

Boussinesq ifadeleri L uzunluğunda ve B genişliğindeki q üniform yükü ile yüklenmiş dikdörtgen bir alanın altında oluşan gerilmelerin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Dikdörtgen alanın bir köşesi altında ve z derinliğindeki herhangi A noktasında oluşan düşey gerilmeyi bulabilmek için, dikdörtgenin $dx dy$ büyüklüğündeki elemanter bir parçası göz önüne alınmıştır (Şekil 2.15.). Bu durumda elemanter parçacığa gelen yük aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$dq = q dx dy \quad (2.50)$$

Bölüm 2.2.1'de Eşitlik 2.5 ile bulunan düşey gerilme ifadesinde Q yerine dq ve σ_z yerine $d\sigma_z$ yazılarak aşağıdaki eşitlik elde edilebilmektedir.

$$d\Delta\sigma_z = \frac{3q dx dy z^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (2.51)$$

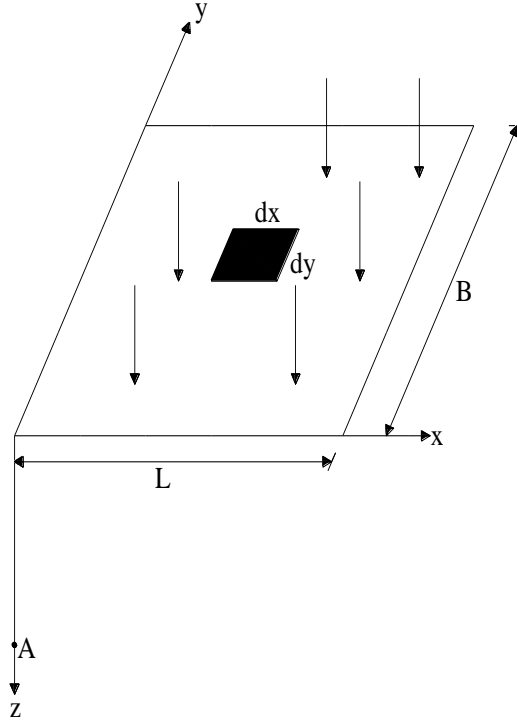
Eşitlik 2.51'in integrali alınırsa ifade aşağıdaki hale dönüşmektedir.

$$\Delta\sigma_z = \int_{y=0}^B \int_{x=0}^L \frac{3qz^3(dx dy)}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = qI_r \quad (2.52)$$

Burada I_r etki faktörü ise aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$I_r = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \left(\frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} \right) \right] + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \quad (2.53)$$

İfadede $m=B/z$ ve $n=L/z$ 'dir.



Şekil 2.15. Üniorm yüklü dikdörtgen alan (Das, 2001)

Westergaard (1938) tarafından üniorm yüklü dikdörtgen bir alanın altında oluşan düşey gerilme ifadesi ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\Delta\sigma_z = q \frac{1}{2\pi} \left[\cot^{-1} \sqrt{\left(\frac{1-2\nu}{2-2\nu} \right) \left(\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right)} + \left(\frac{1-2\nu}{2-2\nu} \right)^2 \left(\frac{1}{m^2n^2} \right) \right] \quad (2.54)$$

Burada, m ve n geometriye bağlı katsayılardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deney düzeneği, deneylerde kullanılan zemin ve ölçüm cihazlarının özellikleri ile yapılan çalışmada izlenen deney programı açıklanmıştır.

3.1. Deney Kumunun Hazırlanması

Model deneylerde kullanılan zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler Mustafa Kemal Üniversitesi, İskenderun Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Çalışmalarda, Ceyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numune, ASTM standartlarına göre elenip No 200 (0.075 mm çaplı) eleğinde yıkanarak ve uygun bir alana serilerek oda sıcaklığında kurutulmuştur (Şekil 3.1., Şekil 3.2., Şekil 3.3., Şekil 3.4.).



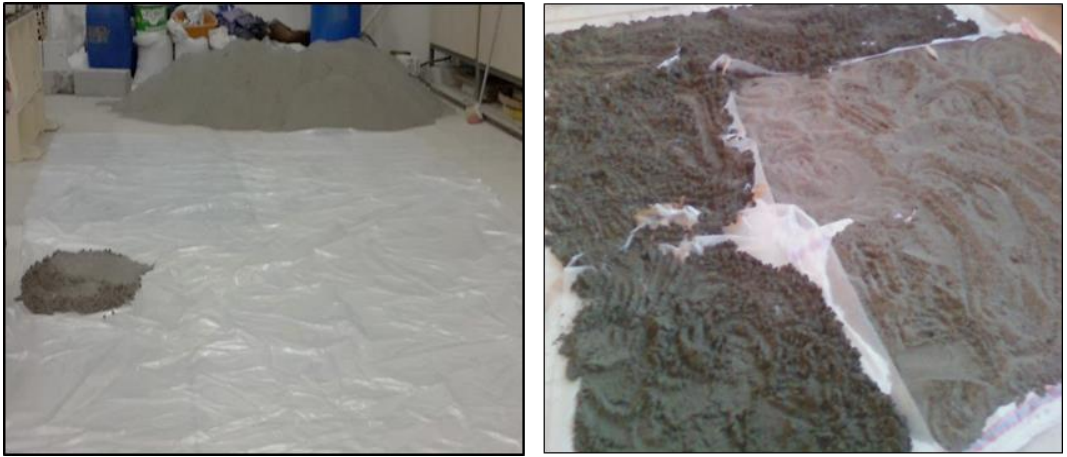
Şekil 3.1. Deney kumunun elenmesi işlemi (a)



Şekil 3.2. Deney kumunun elenmesi işlemi (b)



Şekil 3.3. Deney kumunun yıkanması



Şekil 3.4. Deney kumunun kurutulması

3.2. Deney Kumunun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

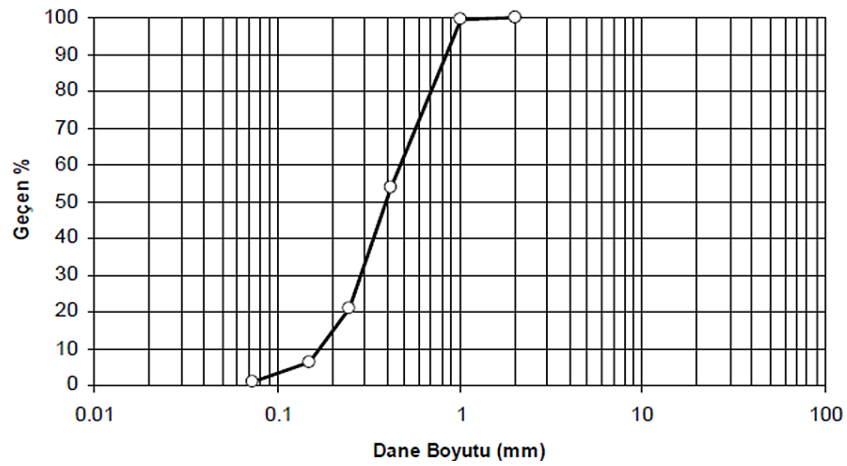
İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda deney kumunun endeks ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesine yönelik geleneksel deneyler yapılmıştır.

3.2.1. Elek Analizi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kum numuneler, ASTM standartlarına göre önceden belirlenen bir seri elekten elenmiştir (Şekil 3.5.). Eleme işleminden sonra deneyisel çalışmalarda kullanılan kuma ait dane çapı dağılımı elde edilmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.5. Elek analizi deneyi



Şekil 3.6. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi

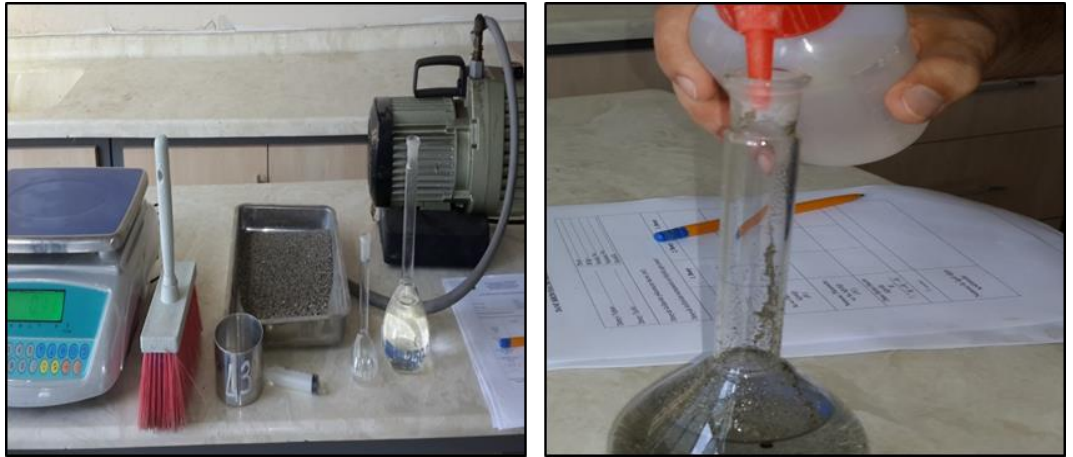
Dane çapı dağılım eğrisinden zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Elek analizi deney sonuçları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları

Nitelik	Birim	Değer
İri kum yüzdesi	(%)	0.00
Orta kum yüzdesi	(%)	65.00
İnce kum yüzdesi	(%)	35.00
D ₁₀	(mm)	0.13
D ₃₀	(mm)	0.28
D ₆₀	(mm)	0.58
Üniformluk katsayısı, C _u	-	4.46
Derecelenme katsayısı, C _c	-	1.04
Zemin sınıfı (USCS)	-	SP

3.2.2. Piknometre Deneyi

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla yapılan piknometre deneyleri sonucunda, dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s=27.25\text{kN/m}^3$ olarak elde edilmiştir (Şekil 3.7.; Şekil 3.8.).



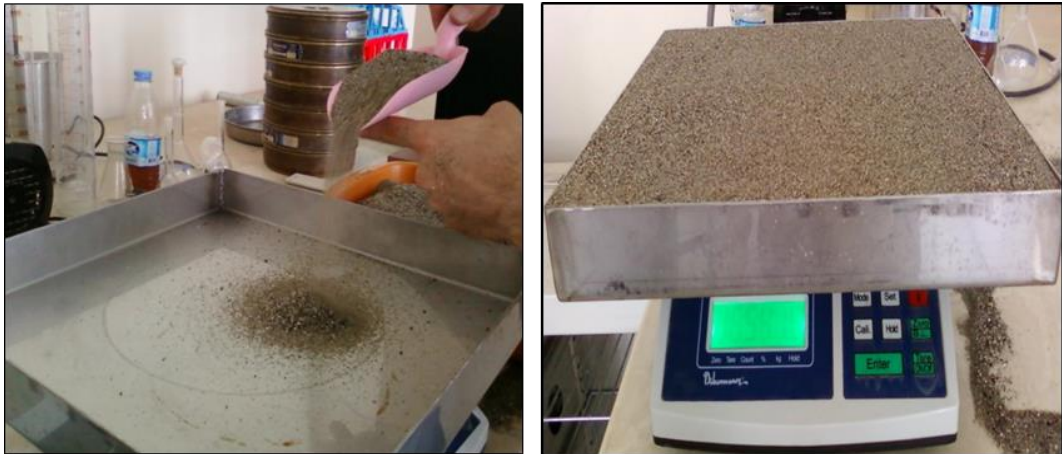
Şekil 3.7. Piknometre deneyi (a)



Şekil 3.8. Piknometre deneyi (b)

3.2.3. Sıkılık Deneyi

Deneyel çalışmalar gevşek kum durumunda gerçekleştirilmiştir. Ancak kumun bütün özelliklerini görmek açısından gevşek ve sıkı haldeki kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Bu değerleri belirlemek için 500mmx500mm boyutlarında ve 60mm yüksekliğindeki tepsi içerisinde rölatif sıkılık deneyleri yapılmıştır. Gevşek haldeki kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmin}) değeri belirlenirken kum numune kap içerisine herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmadan numune yaklaşık 20-30cm'den serbest düşüşe bırakılarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Gevşek hal için sıkılık deneyi

Sıkı haldeki kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) için kum, numune kap içerisine 3 tabaka halinde serilmiş ve her tabaka serildikten sonra hilti ile titreşim verilerek sıkıştırma sağlanmıştır. Her tabaka için sıkıştırmak için verilen enerjinin eşit miktarda olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 3.10.). Son tabaka serilip sıkıştırıldıktan sonra zemin yüzeyi düzeltilmiş ve yüzeyin düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3.10. Sıkı hal için sıklık deneyi

Deneyler gevşek ve sıkı durumda üçer defa yapılmış ve elde edilen kuru birim hacim ağırlıkların ortalama değeri alınmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Sıklık Deneyi Sonuçları

Parametre	Birim	Değer
Dane Birim Hacim Ağırlığı, γ_s	kN/m ³	27.25
Maksimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmax}	kN/m ³	17.11
Minimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmin}	kN/m ³	15.44

3.2.4. Kesme Kutusu Deneyi

Kum zemin numunesi, 60mmx60mm boyutlarındaki kare kesitli kesme kutusuna yüksekliği 38mm olacak şekilde gevşek ve sıkı halde yerleştirilerek kesme kutusu deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.11.). Hem gevşek hem de sıkı durumdaki kum numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde numuneler, $\sigma_1=28\text{kPa}$, $\sigma_2=56\text{kPa}$ ve

$\sigma_3=112\text{kPa}$ değerindeki normal gerilmeler altında yatay yönde kesmeye tabi tutulmuşlardır.

Deney kumunun gevşek haldeki kayma mukavemeti açısı $\phi=36.27^\circ$ olarak, sıkkı haldeki kum zemin için kayma mukavemeti açısı ise $\phi=42.67^\circ$ olarak elde edilmiştir.



şekil 3.11. Kesme kutusu deney düzeneği

3.3. Deney Düzeneği

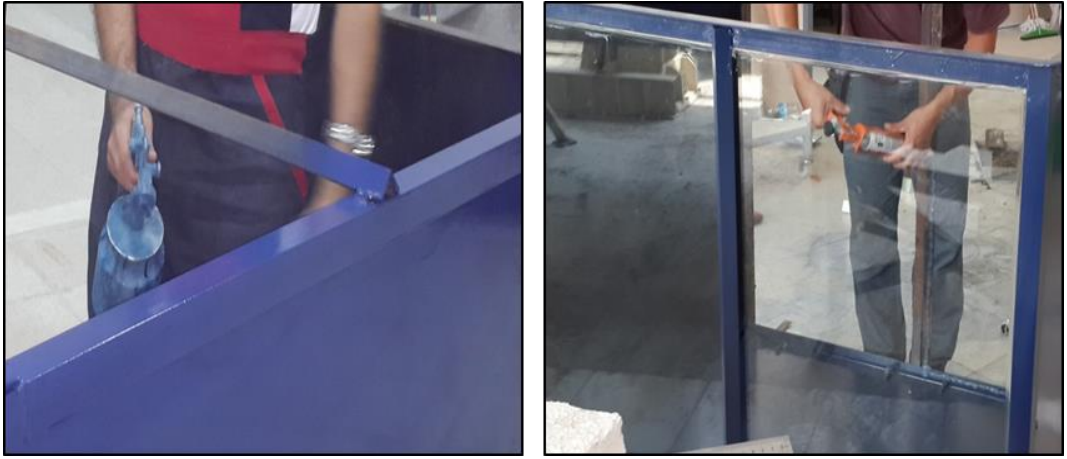
Deneyisel alışmalar, kum zemin üzerine oturan farklı temel boyutu ve farklı yükleme durumları için zemin içinde oluşan düşey gerilmelerin gerilme ölçerler vasıtasıyla araştırılmasına yöneliktir. Bu amaçla deneylerde kullanılan ekipmanlar ve özellikleri aşağıda sunulmuştur.

3.3.1. Deney Kasası

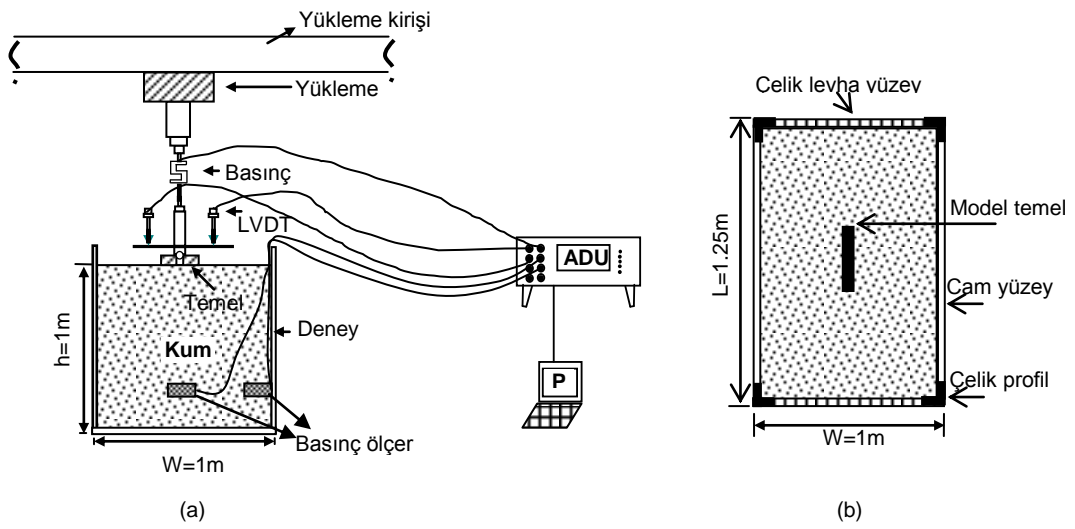
Model deneyler, ebatları $125\text{cm} \times 100\text{cm} \times 100\text{cm}$ (uzunluk, genişlik, derinlik) olan dikdörtgen kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasası iskeleti elik profillerden olup, n ve arka yüzü 10mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban kısmı ise 20mm kalınlığındaki metal malzemeden imal edilmiştir (şekil 3.12.; şekil 3.13.; şekil 3.14.).



Şekil 3.12. Deney kasası yapım aşaması (a)



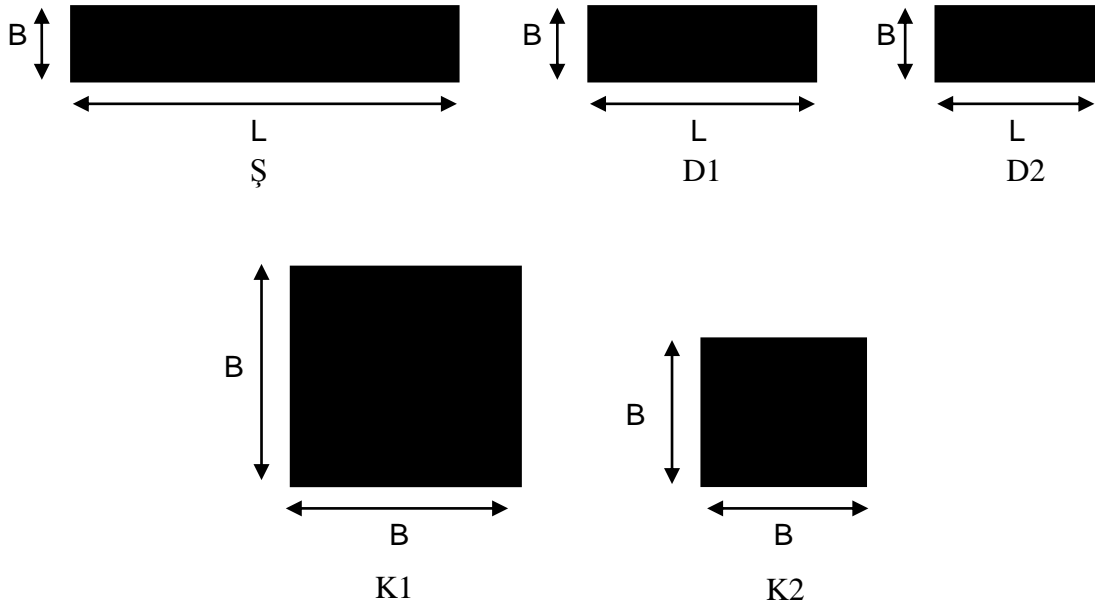
Şekil 3.13. Deney kasası yapım aşaması (b)



Şekil 3.14. Deney düzeneği

3.3.2. Model Temeller

Deneysel çalışmalarda kullanılan temel şekilleri ve temel boyutları ile her bir temel türüne ait deney sayıları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.15. ve Çizelge 3.3.). Burada Ş şerit, D dikdörtgen, K ise kare temeli temsil etmektedir. Deney sırasında, yükleme nedeniyle temel tabanındaki basınç dağılımının üniform olarak dağılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.15. Deneysel çalışmada kullanılan yüzeysel temel kesitleri

Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan yüzeysel temel ölçüleri ve deney sayıları

Temel Türü	Temel Alanı [cm ²]	Genişlik x Uzunluk BxL [cm]	Deney Sayısı
Ş	500	10x50	10
D1	300	10x30	10
D2	200	10x20	10
K1	900	30x30	10
K2	400	20x20	10

3.3.3. Yükleme Sistemi, Yük Hücresi ve Deplasman Ölçer (LVDT)

Deneyler farklı yükleme hızlarında çekme ve basınç uygulayabilen özel bir yükleme düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Yükleme düzeneği Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'ndaki yükleme kirisine monte edilmiştir. Deneylerde, model temel plakalarına gelen yük değerlerini belirlemek amacıyla H3-C3-2.0t6B, Class C-3 model ZEMIC firması tarafından üretilen 2000kg kapasiteli elektronik yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.16. ve Çizelge 3.4.). Yük hücresi kalibrasyon değerleri ve kalibrasyon eğrisi Çizelge 3.5 ve Şekil 3.17'de görülmektedir.

Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan yük hücresi özellikleri

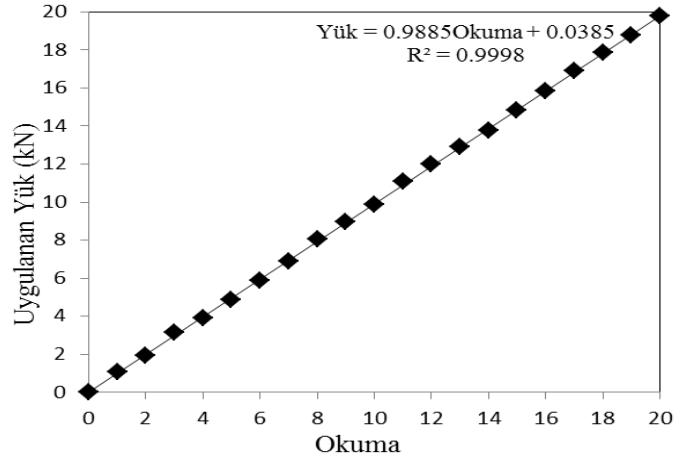
Teknik Özellikler	Birim	Açıklama
Model	---	H3-C3-2.0t6B
Kapasite	kg	2000
Aşırı Yükleme Kapasitesi	kg	3000
Toplam Hata	%	0.02
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-10...+40
Yük Hücresi Malzemesi	---	Çelik



Şekil 3.16. Yük hücresi

Çizelge 3.5. Yük hücresi kalibrasyon değerleri

Yük Değeri (kN)	Okuma
0	0.00
1	1.07
2	1.94
3	3.15
4	3.91
5	4.89
6	5.88
7	6.90
8	8.07
9	8.95
10	9.86
11	11.08
12	12.00
13	12.92
14	13.77
15	14.82
16	15.82
17	16.89
18	17.85
19	18.80
20	19.79



Şekil 3.17. Yük Hücresi Kalibrasyon Eğrisi

Zemin ortamında yüklemeye dolaylı olarak meydana gelen çökmeleri ölçebilmek için Novotechnik firması tarafından üretilen ve 0.0-9.9999mm arasında deplasman değerleri ölçebilen ART.NR.023262 seri numaralı düşey deplasman ölçerler (LVDT)

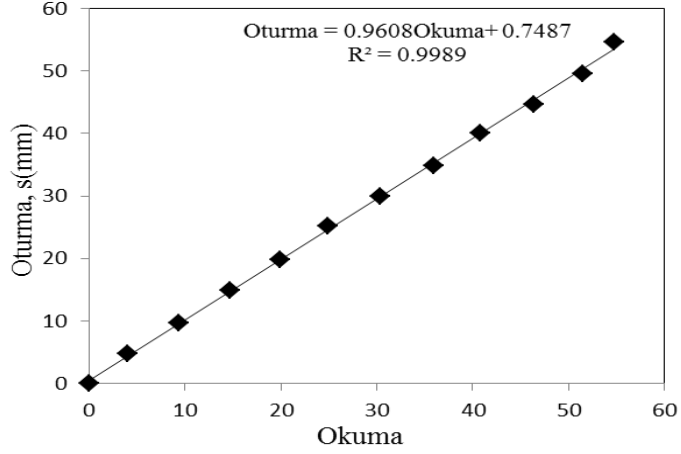
kullanılmıştır (Şekil 3.18.). Bu amaçla, iki adet deplasman ölçer temel merkezinden eşit uzaklıkta yükleme düzeneğine yerleştirilen plağın iki ucuna sabitlenmiştir. Çizelge 3.6’da LVDT 1 ve LVDT 2’ye ait bilgisayarda okunan ve ölçülen kalibrasyon değerleri verilmiştir. Deneylere başlamadan önce, deplasman ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için deplasman ölçerlerin kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 3.19.; Şekil 3.20.).



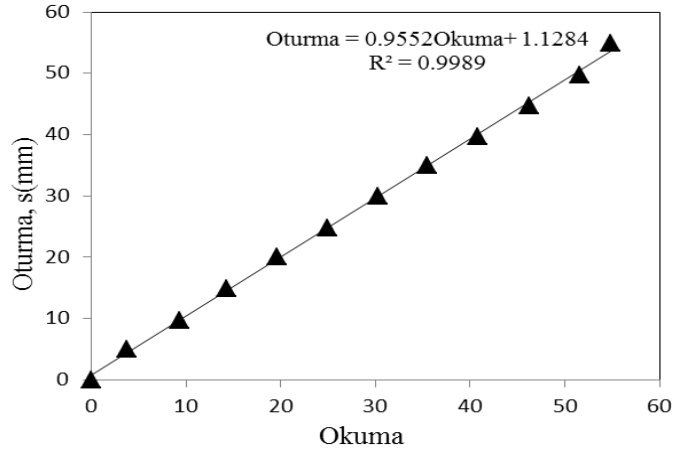
Şekil 3.18. Deplasman ölçer

Çizelge 3.6. LVDT 1 ve LVDT 2 deplasman ölçerlerine ait kalibrasyon değerleri

KALİBRASYONLAR LVDT 1		KALİBRASYONLAR LVDT 2	
Bilgisayarda Okunan	Ölçülen (Kalibrasyon) (mm)	Bilgisayarda Okunan	Ölçülen (Kalibrasyon) (mm)
0.00	0	0.00	0
3.87	5	3.92	5
9.16	10	9.18	10
14.45	15	14.48	15
19.73	20	19.72	20
25.01	25	24.99	25
30.32	30	30.29	30
35.61	35	35.50	35
40.86	40	40.76	40
46.15	45	46.04	45
51.36	50	51.27	50
54.92	55	55.06	55



Şekil 3.19. LVDT 1 düşey deplasman ölçer kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.20. LVDT 2 düşey deplasman ölçer kalibrasyon eğrisi

3.3.4. Gerilme Ölçerler

Zemin ortamında ilave yüklerden dolayı meydana gelen düşey gerilmeleri ölçebilmek için kullanılan yöntemlerden biri de zemin içerisinde gerilmeleri ölçecek derinliklere gerilme ölçerleri yerleştirmektir.

Zeminde meydana gelen düşey gerilmeleri ölçmek amacıyla HTD 20419 model Pulselectronic firması tarafından üretilen 2000kg kapasiteli gerilme ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.21.). Çizelge 3.7 ve Şekil 3.21’de sırasıyla gerilme ölçerin özellikleri ve şekli görülmektedir. Yük hücresi kalibrasyon değerleri ve kalibrasyon eğrisi Çizelge 3.8 ve Şekil 3.22’de görülmektedir.

Çizelge 3.7. Deneyleerde kullanılan gerilme ölçerin özellikleri

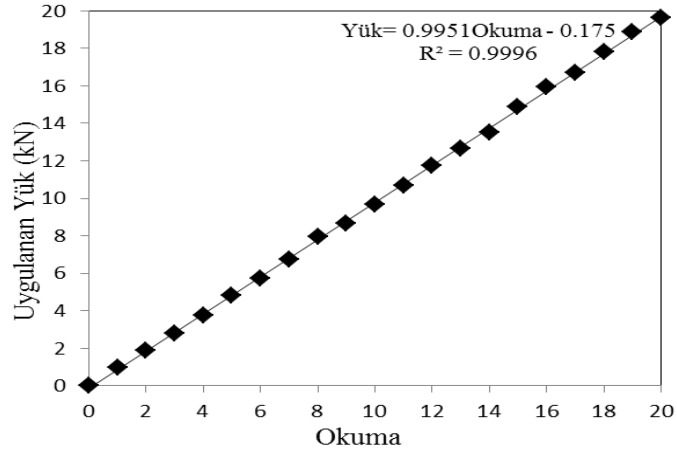
Teknik Özellikler	Birim	Açıklama
Model	---	HTD 20419
Kapasite	kgf	2000
Hassasiyet	mv/V	1.998
Sünme	%F.S	0.02
Üretim Tarihi	---	19.06.2013
Giriş Dayanımı	ohm	824.9
Çıkış Dayanımı	ohm	702.8
Yük Hücresi Malzemesi	---	Çelik
Çap	cm	11.8



Şekil 3.21. Gerilme ölçer

Çizelge 3.8. Gerilme ölçer kalibrasyon değerleri

Yük Değeri (kN)	Okuma
0	0.00
1	0.96
2	1.88
3	2.79
4	3.77
5	4.82
6	5.74
7	6.74
8	7.98
9	8.64
10	9.65
11	10.69
12	11.76
13	12.67
14	13.53
15	14.90
16	15.96
17	16.69
18	17.80
19	18.88
20	19.64



Şekil 3.22. Gerilme ölçer kalibrasyon eğrisi

3.4. Veri İşleme Ünitesi (ADU)

Uygulanan düşey yükler, yük hücresi yardımıyla 27-1495/01-5070 seri numaralı ve 16 kanal girişli ADU (Autonomous Data Unit) veri işleme cihazına aktarılmıştır (Şekil 3.23.). Bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında excel programı yardımıyla yük-oturma ve gerilme grafikleri şeklinde çizilmiştir. Deneyler sırasında oturma değerleri 2 adet deplasman ölçer (LVDT), gerilme değerleri ise 5 adet gerilme ölçer vasıtasıyla ölçülmüştür.



Şekil 3.23. Veri işleme ünitesi

3.5. Deney Yöntemi

Bu tez çalışmasında, gevşek kum zeminde farklı model temellerin ve yükleme koşullarının zeminde meydana getirdiği ilave düşey gerilme davranışları araştırılmıştır. İlave düşey gerilmeler farklı derinliklere ($z_1=0.1\text{m}$; $z_2=0.2\text{m}$; $z_3=0.3\text{m}$; $z_4=0.4\text{m}$; $z_5=0.5\text{m}$) yerleştirilen 5 adet gerilme ölçer vasıtasıyla yatay mesafelerde (temellerin merkezi ile $BX_1=0.12\text{m}$; $BX_2=0.24\text{m}$; $BX_3=0.36\text{m}$ ve $BY=0.12\text{m}$ konumlarında yerleştirilen) (burada X ve Y doğrultuları ifade etmektedir) ölçülmüştür. Aynı anda yük-deplasman değerleri de elde edilmiştir. Deneylerde iki farklı şerit (10cmx50cm, 10cmx30cm ve 10cmx20cm) ve iki farklı kare (30cmx30cm ve 20cmx20cm) temel modeli kullanılmıştır.

Deney aşamaları kısaca Şu Şekilde zetlenebilir:

- Deney yapılacak olan kasa uygun bir Şekilde düz bir yüzeye yerleŐtirildikten ve kasanın içerisindeki kumun düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edildikten sonra gerilme ölçerler deney kasanın içerisine deney esnasında hareket etmeyecek Şekilde istenen seviyeye yerleştirilmiştir (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Gerilme ölçerlerin yerleştirilmesi

- Daha sonra, gevşek durum için hesaplanan birim hacim ağırlığa göre kasa içerisine tabakalar halinde kum zemin yerleştirilmiştir. Kum zemin eklendikten sonra st yüzeyinin düzgünlüğü sağlanıp su terazisi ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. Kum zeminin düzgün bir Şekilde yerleştirilmesi

- Düzeltilen kum zemin üzerine model temel plakası aynı şekilde teraziye alınarak düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.26.).



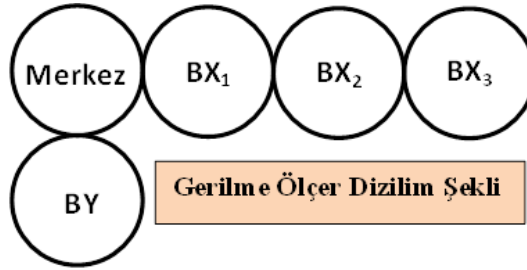
Şekil 3.26. Model temel plakasının yerleştirilmesi

- Deney sırasında, kademeli olarak yüklemeye devam edilmiş ve yükleme hızı her kademede sabit tutulmuştur.

•Her yükleme kademesinde oluşan gerilmeler, 16 kanal girişli ADU (Autonomous Data Unit) veri işleme cihazından okunarak sayısal hale dönüştürülmüştür. Veri işleme ünitesinden bilgisayara aktarılan değerler Geotechnical Software Ds7 yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Daha sonra da okumalar bilgisayarda Excel programıyla düzenlenerek grafik olarak sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, kum zemine oturan farklı boyutlardaki model temellerin beş farklı derinlik ($z_1=0.1\text{m}$, $z_2=0.2\text{m}$, $z_3=0.3\text{m}$, $z_4=0.4\text{m}$, $z_5=0.5\text{m}$) için ilave düşey gerilme değerleri ile yük-oturma ilişkileri iki farklı yük eksantrisitesinde incelenmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de dizilim şekilleri verilen ve teraziye alınarak yerleştirilen beş tane gerilme ölçer (temellerin merkezi ile temellerin merkezinden $BX_1=0.12\text{m}$, $BX_2=0.24\text{m}$, $BX_3=0.36\text{m}$ ve $BY=0.12\text{m}$ uzaklıktaki konumlarında yerleştirilen) vasıtasıyla gerilmeler her bir derinlik için yatay doğrultularda elde edilmiştir. Deneylerde ölçülen gerilme değerleri, literatürdeki mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. Gerilme ölçerlerin dizilim şekli

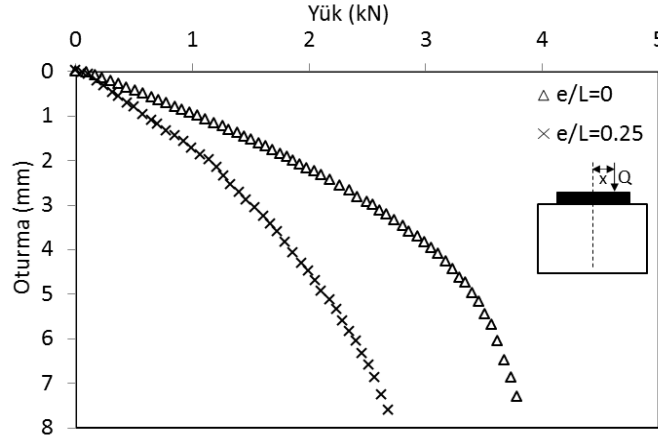


Şekil 4.2. Gerilme ölçerlerin görünümü

4.1. 10cmx50cm Şerit Temel Gerilme Analizi

Kum zemin, Bölüm 3’te anlatıldığı gibi kasa içerisine tabakalar halinde ve $\gamma_k=15.44\text{kN/m}^3$ (gevşek durum) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kenar boyutları

$B=10\text{cm}$ ve $L=50\text{cm}$ ile kalınlığı 8mm olan rijit çelik plaka model temel olarak kullanılmıştır. Deney sırasında temel plakası kademeli olarak yüklenmiş ve her kademedeki temel merkezinde ve yatay noktalarda oluşan ilave düşey gerilme artışları ölçülmüştür. Deneyler beş farklı derinlik ($z_1=1B$, $z_2=2B$, $z_3=3B$, $z_4=4B$, $z_5=5B$) için yapılmıştır. Ayrıca iki farklı yükleme türünde yük-oturma eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.3).

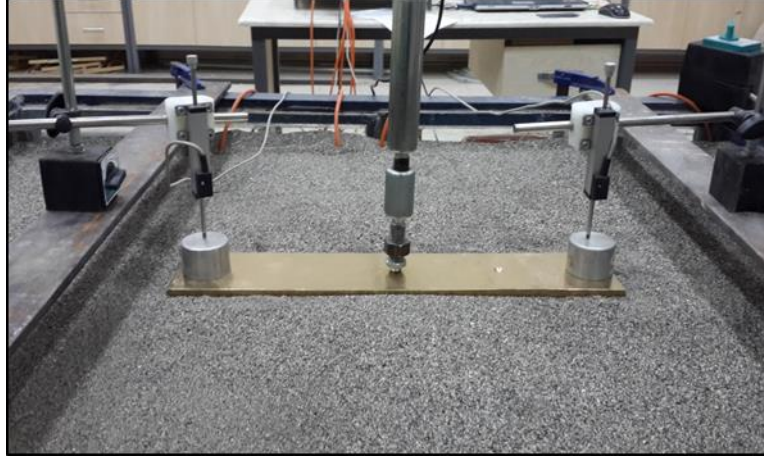


Şekil 4.3. $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ model temel için yük-oturma ilişkisi

Deney sonuçları, en büyük yük değerinin $e/L=0$ (merkez yükleme) durumunda elde edildiğini göstermiştir. Eksantrisite arttıkça yük değeri azalmıştır. Örneğin, merkez yükleme ($e/L=0$) durumunda $e/L=0.25$ yükleme durumuna göre 2 kata varan bir artış gözlenmiştir. Bu durum literatür verilerini de doğrulamaktadır (Moroğlu, 2001; Saran ve ark., 2007; Şadoğlu ve ark., 2009; Nawghare, ve ark. 2010).

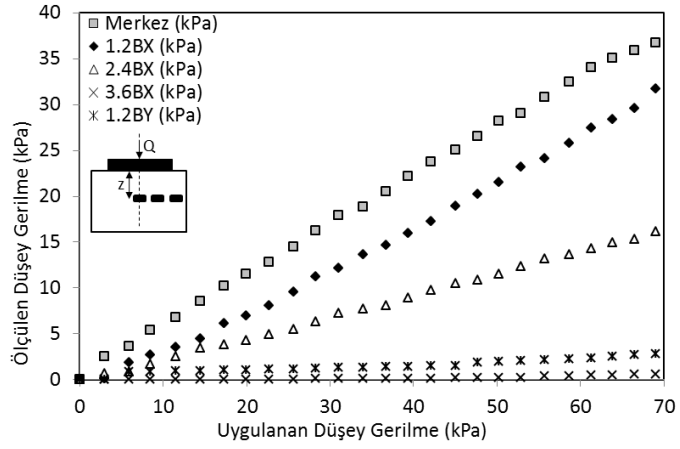
4.1.1. Beş Farklı Derinlikte $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ Şerit Temel için Gerilme Analizi

Hazırlanan sistemde iki farklı yükleme ($e/L=0$, $e/L=0.25$) koşulunda ve 5 farklı noktada yerleştirilen gerilme ölçer vasıtasıyla ilave düşey gerilme artışları ölçülmüştür. $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ şerit temel için yükleme düzeneği Şekil 4.4'de verilmiştir.

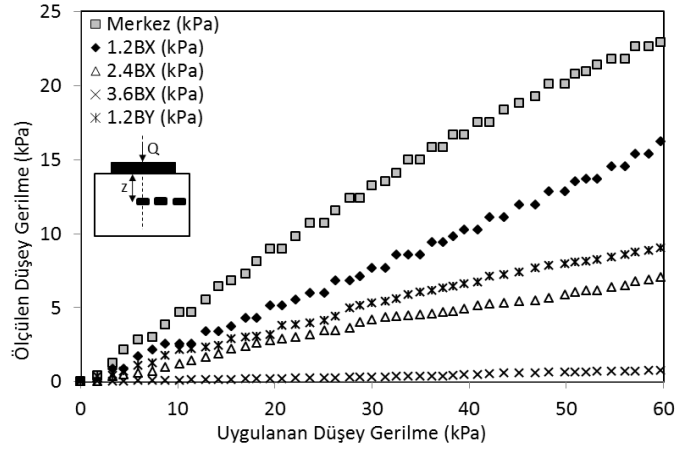


Şekil 4.4. 10cmx50cm model temelde $e/L=0$ yükleme durumunda (merkez) yükleme düzeneği

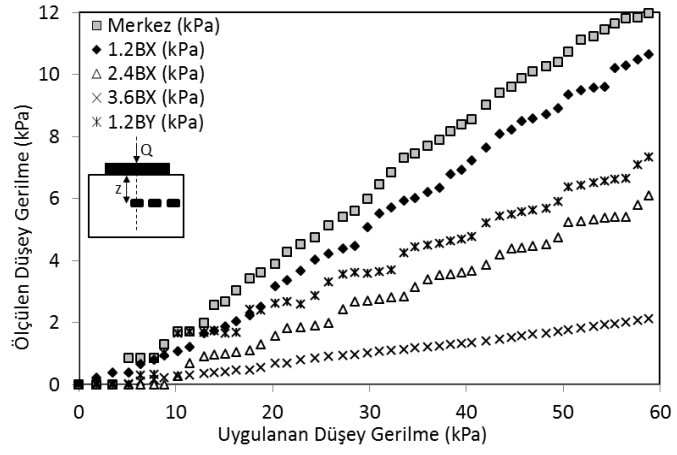
$e/L=0$ (merkez yükleme) durumu için 5 farklı derinlikte elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da grafik olarak sunulmuştur. Ayrıca Şekil 4.9’da göçme yüküne kadar olan gerilme değerleri de verilmiştir.



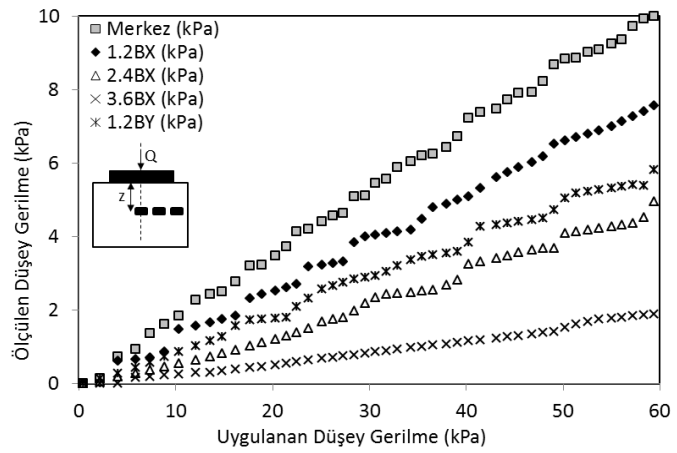
Şekil 4.5. $e/L=0$ yükleme durumunda 1B derinliğinde düşey gerilmeler



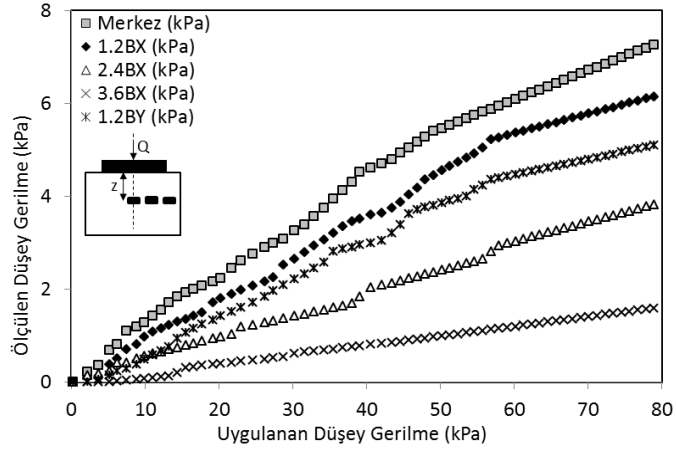
Şekil 4.6. $e/L=0$ yükleme durumunda 2B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.7. $e/L=0$ yükleme durumunda 3B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.8. $e/L=0$ yükleme durumunda 4B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.9. $e/L=0$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler

Deneylerde, merkezde ölçülen (merkezi) gerilme değeri diğerlerine göre daha fazla olarak elde edilmiştir. Yatayda ise yükün uygulandığı eksenden uzaklaştıkça düşey gerilme değerlerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen sayısal değerler Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. 10cmx50cm şerit temel, e/L=0 yükleme durumunda gerilme değerleri

Gerilme Ölçer	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Merkez	e/L=0	1.0B	50	28.203
		2.0B	50	20.768
		3.0B	50	10.719
		4.0B	50	8.840
		5.0B	50	5.466
1.2BX	e/L=0	1.0B	50	21.526
		2.0B	50	13.503
		3.0B	50	9.330
		4.0B	50	6.606
		5.0B	50	4.551
2.4BX	e/L=0	1.0B	50	11.502
		2.0B	50	6.032
		3.0B	50	5.220
		4.0B	50	4.088
		5.0B	50	2.414
3.6BX	e/L=0	1.0B	50	0.192
		2.0B	50	0.641
		3.0B	50	1.761
		4.0B	50	1.608
		5.0B	50	1.092
1.2BY	e/L=0	1.0B	50	1.991
		2.0B	50	8.051
		3.0B	50	6.369
		4.0B	50	5.035
		5.0B	50	3.856

Yukarıdaki şekil ve tablodan da görüleceği üzere, derinlik arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Örneğin 50kPa uygulanan düşey gerilme değeri için merkez, 1.2BX ve 2.4BX noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerlerde derinlik boyunca sırasıyla yaklaşık olarak %81, %79 ve %79 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. 3.6BX ve 1.2BY noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerlerin yükün uygulandığı noktadan uzak olmalarından dolayı, yüzeye yakın derinliklerde diğer derinliklere göre daha düşük gerilme değerleri elde edilmiştir. Aynı şekilde yüzeyden aşağı doğru inildikçe 3.6BX ve 1.2BY gerilme ölçerlerde sırasıyla %40 ve %53'e varan azalmalar görülmektedir.

Grafik sonuçları bu tez çalışmasının "Ek" kısmında verilen 10cmx30cm dikdörtgen (D1) (Bx3B), 10cmx20cm dikdörtgen (D2) (Bx2B) model temeller ile

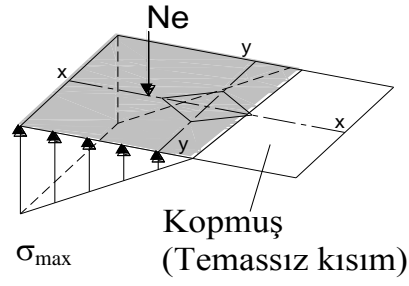
10cmx50cm şerit (Ş) (Bx5B) temelin $e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa uygulanan düşey gerilme için merkez gerilme ölçerden elde edilen değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Şerit ve dikdörtgen kesitli temellerin gerilme analizi

Temel	Yükleme	Derinlik	Gerilme Ölçer	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
(Ş) (10cmx50cm) (Bx5B)	$e/L=0$	1.0B	Merkez	40	22.720
		2.0B		40	16.900
		3.0B		40	8.423
		4.0B		40	7.214
		5.0B		40	4.533
(D1) (10cmx30cm) (Bx3B)	$e/L=0$	1.0B	Merkez	40	18.802
		2.0B		40	9.402
		3.0B		40	5.902
		4.0B		40	3.342
		5.0B		40	2.682
(D2) (10cmx20cm) (Bx2B)	$e/L=0$	1.0B	Merkez	40	13.514
		2.0B		40	7.768
		3.0B		40	4.932
		4.0B		40	2.902
		5.0B		40	1.374

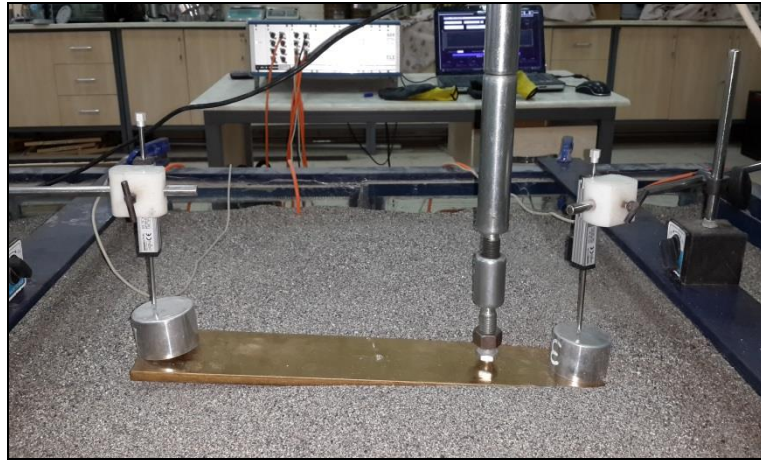
Boyut etkisinin incelendiği bu kısımda B kısa kenar boyu sabit kalmak şartıyla L uzun kenar boyu değişken (5B, 3B ve 2B) olması durumunda L boyu arttıkça aynı uygulanan gerilme değerine karşılık gelen ve derinlik boyunca ölçülen gerilme değerinin $\sigma_{5B} > \sigma_{3B} > \sigma_{2B}$ olduğu görülmektedir. Örneğin 3B derinlikte ölçülen gerilme değerleri şerit (Bx5B) temelde 8.423kPa, D1 (Bx3B) temelde 5.902kPa ve D2 (Bx2B) temelde 4.932kPa olarak ölçülmüştür. Şerit (Bx5B) temele göre sırasıyla %30 ve %42 azalmalar görülmüştür.

Eksantrik yükleme durumunda uygulanan düşey gerilme değerleri hesaplanırken, eksantrik yüklü temeller altında oluşan basınç dağılımındaki formülasyondan elde edilen σ_{max} değeri kullanılmıştır (Bölüm 1 - Eşitlik 1.5) (Şekil 4.10.). Bu tez çalışmasında tüm temel geometrilerinde eksantrik yüklemelerde belirlenen yük, çekirdek dışındadır ve benzer şekilde Eşitlik 1.5’den elde edilen σ_{max} değeri kullanılmıştır.

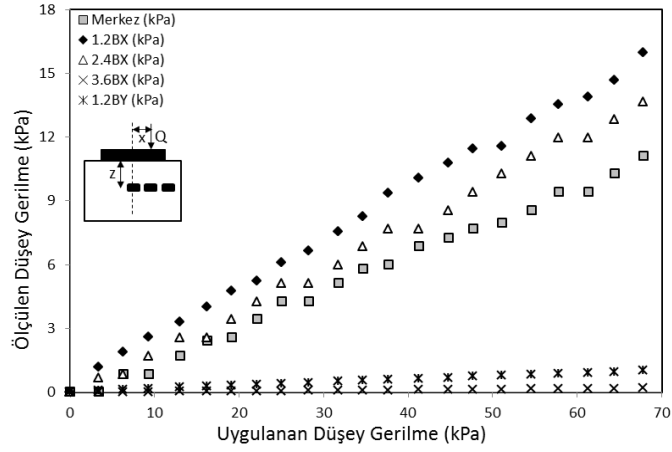


Şekil 4.10. Yük çekirdek dışında iken oluşan taban basınç dağılımı

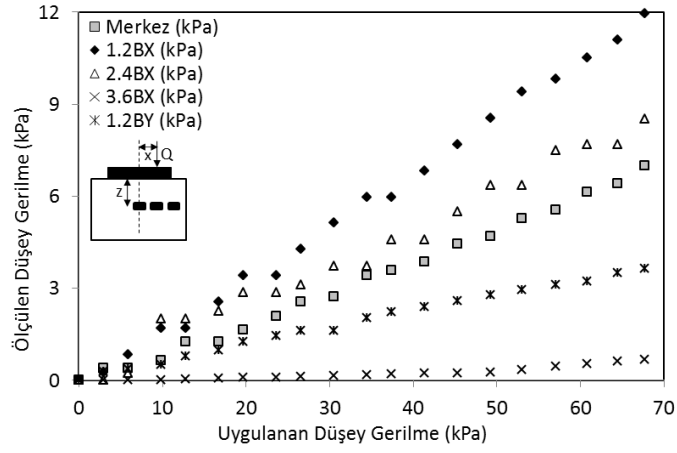
Beş farklı gerilme ölçer kullanılarak 5 farklı derinlikte yükleme eksantrisite durumu ($e/L=0.25$) için deneyler yapılarak gerilme değerleri elde edilmiştir. $e/L=0.25$ durumu için yükleme düzeneği Şekil 4.11 verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16'da grafik olarak sunulmuştur.



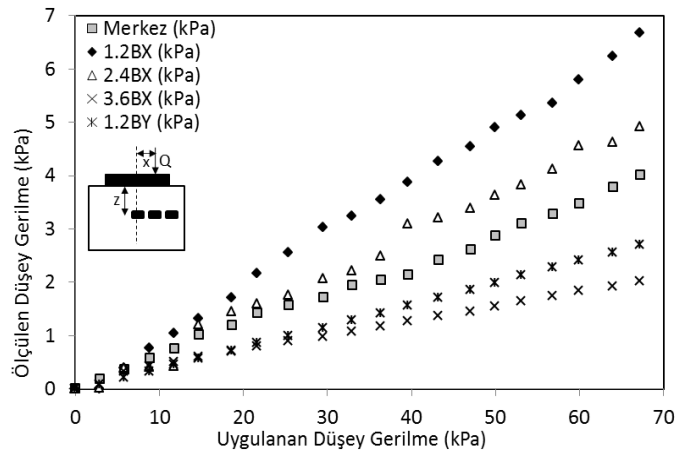
Şekil 4.11. 10cmx50cm model temelde $e/L=0.25$ yükleme durumunda (eksantrik) yükleme düzeneği



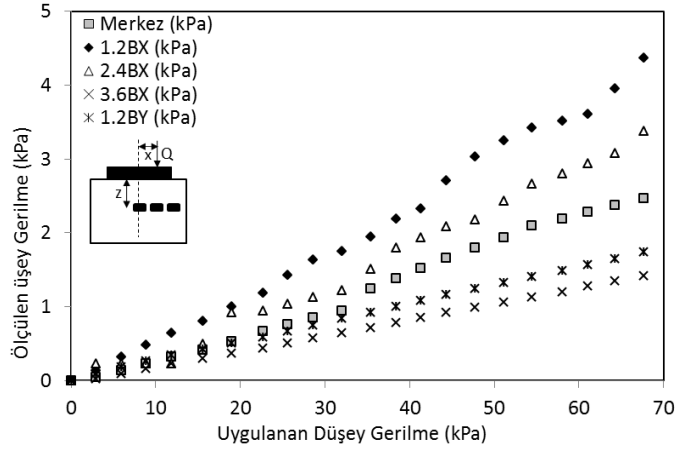
Şekil 4.12. e/L=0.25 yükleme durumunda 1B derinliğinde düşey gerilmeler



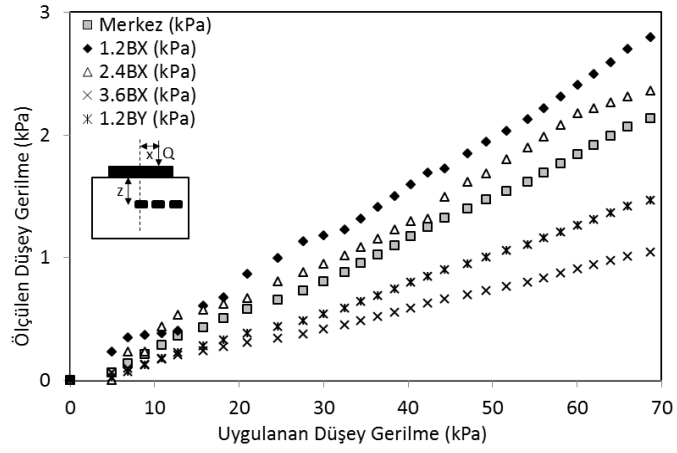
Şekil 4.13. e/L=0.25 yükleme durumunda 2B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.14. e/L=0.25 yükleme durumunda 3B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.15. $e/L=0.25$ yükleme durumunda 4B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.16. $e/L=0.25$ yükleme durumunda 5B derinliğinde düşey gerilmeler

Deney sonuçları, beş adet gerilme ölçerden elde edilen değerlere göre yüklemenin eksantrik olması durumunda taşıma kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Gerilme değeri yükleme yapılan noktaya yakın olan gerilme ölçerde daha fazla çıkmaktadır. Dolayısıyla 1.2BX gerilme ölçerden elde edilen gerilme değeri en fazla olmuştur. $e/L=0.25$ durumu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'de sayısal olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.3. 10cmx50cm şerit temel, $e/L=0.25$ yükleme durumunda gerilme değerleri

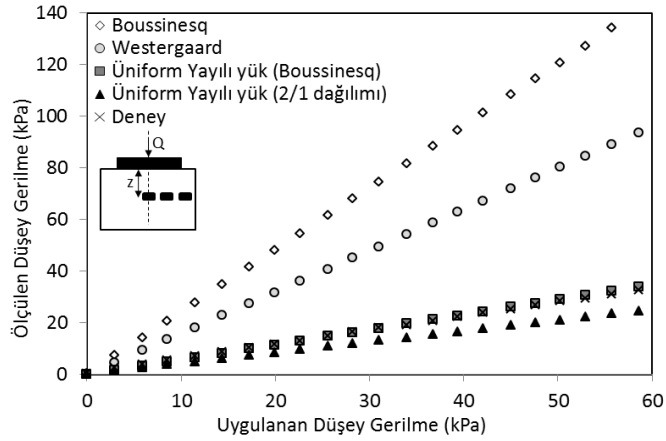
Gerilme Ölçer	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Merkez	$e/L=0.25$	1.0B	50	7.948
		2.0B	50	4.690
		3.0B	50	2.873
		4.0B	50	1.941
		5.0B	50	1.471
1.2BX	$e/L=0.25$	1.0B	50	11.566
		2.0B	50	8.546
		3.0B	50	4.896
		4.0B	50	3.248
		5.0B	50	1.941
2.4BX	$e/L=0.25$	1.0B	50	10.256
		2.0B	50	5.894
		3.0B	50	3.627
		4.0B	50	2.429
		5.0B	50	1.686
3.6BX	$e/L=0.25$	1.0B	50	0.145
		2.0B	50	0.256
		3.0B	50	1.552
		4.0B	50	1.063
		5.0B	50	0.731
1.2BY	$e/L=0.25$	1.0B	50	0.787
		2.0B	50	2.774
		3.0B	50	1.994
		4.0B	50	1.325
		5.0B	50	1.003

$e/L=0.25$ yükleme durumunda da benzer şekilde derinlik arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. 50kPa uygulanan düşey gerilme değerinde merkez, 1.2BX, 2.4BX, 3.6BX ve 1.2BY noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerlerde derinlik boyunca sırasıyla yaklaşık olarak %82, %83, %85, %53 ve %44 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. 3.6BX ve 1.2BY noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerler yüzeye yakın derinliklerde yükün uygulandığı noktadan uzak olmaları nedeniyle düşük değerler almıştır. Bu durum da gerilme soğanı şekli ile açıklanabilmektedir. Derinliğe bağlı olarak yatayda elde edilen gerilme değerleri değişmektedir.

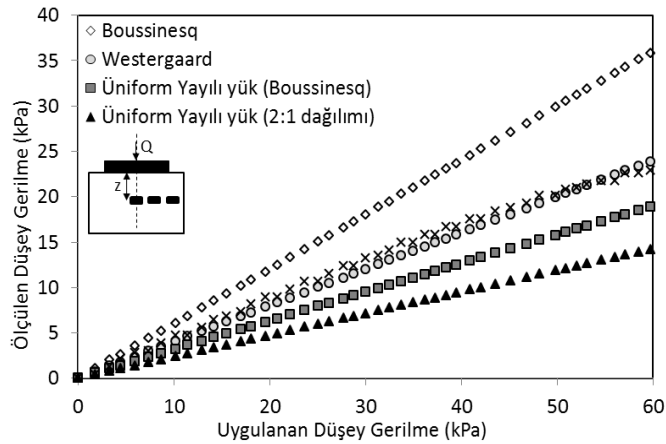
4.1.2. 10cmx50cm Şerit Temel Deneysel Sonuçlarının Literatür Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Bu bölümde beş farklı derinlikte (1B, 2B, 3B, 4B ve 5B) elde edilen düşey gerilme artışı değerleri; Boussinesq (1885), Westergaard (1938), üniform yayılı yük (Boussinesq) ve basit kabul çözümleriyle karşılaştırılmıştır. Literatürde yer alan bu formülasyonlarla ilgili ayrıntılar Bölüm 1 ve Bölüm 2’de yer almaktadır.

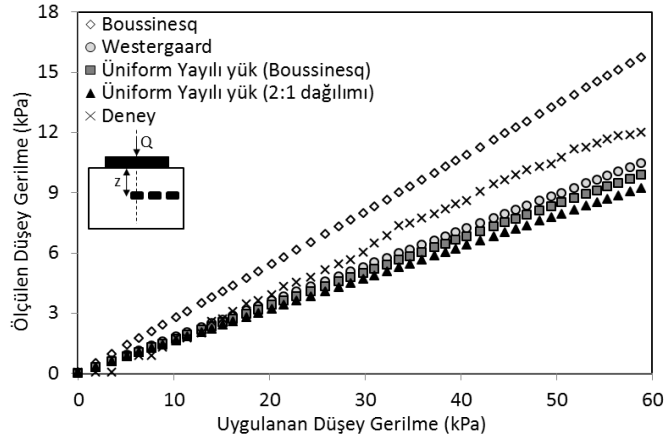
Hazırlanan kum zemin içerisinde 5 farklı derinlikte ve düşey konumda yerleştirilen merkez gerilme ölçer yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de literatürde mevcut teorik sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur.



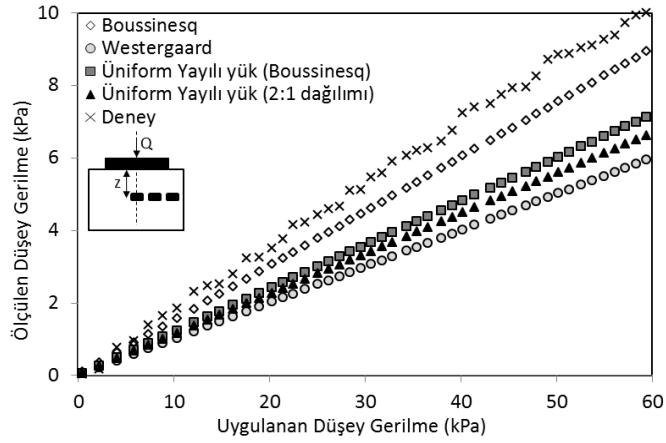
Şekil 4.17. 10cmx50cm şerit temel için 1B derinlikte literatür karşılaştırması



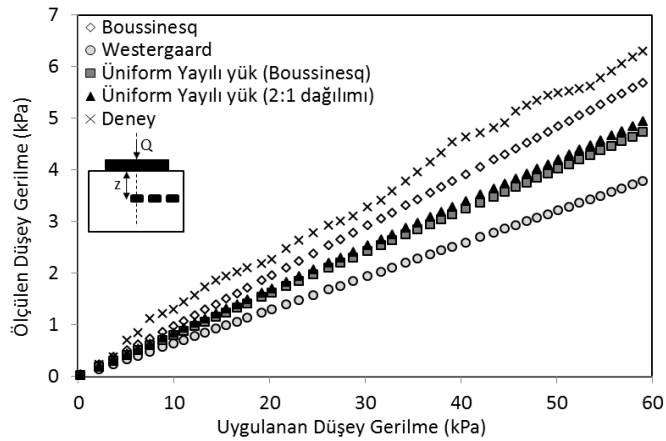
Şekil 4.18. 10cmx50cm şerit temel için 2B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.19. 10cmx50cm şerit temel için 3B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.20. 10cmx50cm şerit temel için 4B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.21. 10cmx50cm şerit temel için 5B derinlikte literatür karşılaştırması

$e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa uygulanan düşey gerilme değeri için deney ve teorik yöntemlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de verilerek karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4. 10cmx50cm şerit temel için 40kPa uygulanan düşey gerilme için deney ve teorik sonuçlar

Yöntem	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Deney	e/L=0	1.0B	40	22.220
		2.0B	40	16.665
		3.0B	40	8.546
		4.0B	40	7.214
		5.0B	40	4.611
Boussinesq	e/L=0	1.0B	40	94.368
		2.0B	40	23.703
		3.0B	40	10.830
		4.0B	40	6.036
		5.0B	40	3.892
Üniform Yayılı yük (Boussinesq)	e/L=0	1.0B	40	22.805
		2.0B	40	12.483
		3.0B	40	6.823
		4.0B	40	4.829
		5.0B	40	3.243
Westergaard	e/L=0	1.0B	40	62.912
		2.0B	40	15.802
		3.0B	40	7.220
		4.0B	40	4.024
		5.0B	40	2.594
Üniform Yayılı yük (2:1 dağılımı)	e/L=0	1.0B	40	16.383
		2.0B	40	9.406
		3.0B	40	6.346
		4.0B	40	4.471
		5.0B	40	3.378

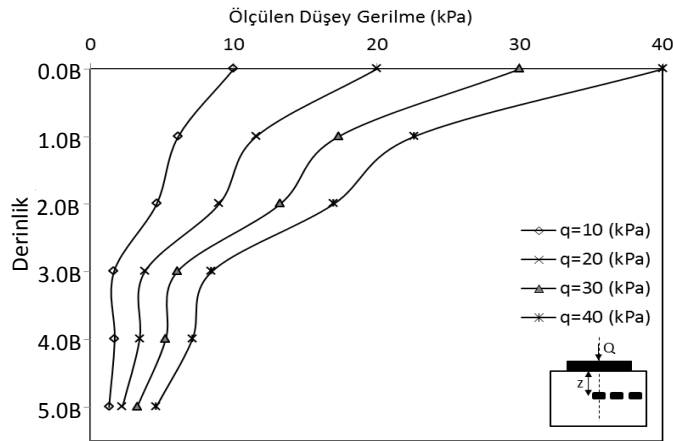
Boussinesq ve Westergaard yaklaşımlarına ait gerilme değerlerinin yüzeye yakın kısımlarda çok yüksek ve deney sonuçlarından oldukça farklı oldukları görülmektedir. Örneğin 40kPa'lık bir düşey gerilme durumunda 1.0B derinlikte Boussinesq yaklaşımı 94.368kPa, Westergaard yaklaşımı 62.912kPa değerlerini verirken, deney sonucu 22kPa olarak elde edilmiştir. Literatürde yapılan bu tür problemlerin çözümü incelendiğinde yüzeye yakın noktalardaki gerilmelerin bu iki hesap yöntemine göre farklılıklar gösterdiği ve buna karşılık derinlik arttıkça değerlerin birbirine yaklaştığı görülmüştür (Özaydın, 2011). Derinlere inildikçe bütün sonuçların birbirine yakın değerler verdiği görülmektedir. 5.0B derinlikte 40kPa uygulanan düşey gerilme değeri için deney, Boussinesq yaklaşımı, Üniform Yayılı yük (Boussinesq) yaklaşımı, Westergaard

yaklaşımı, Üniform Yayılı yük (2:1 dağılımı) yaklaşımı ile ölçülen düşey gerilme değerleri sırasıyla 4.611kPa, 3.892kPa, 3.242kPa, 2.594kPa ve 3.378kPa değerleri elde edilmiştir.

4.1.3. 10cmx50cm Şerit Temel için Farklı Derinliklerde ve Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Araştırılması

Bu bölümde 10cmx50cm şerit temel altında, 5 farklı derinlikte (1B, 2B, 3B, 4B ve 5B) yüzeyde uygulanan farklı gerilme değerlerinde oluşan ilave düşey gerilmeler grafik halinde sunulmuştur.

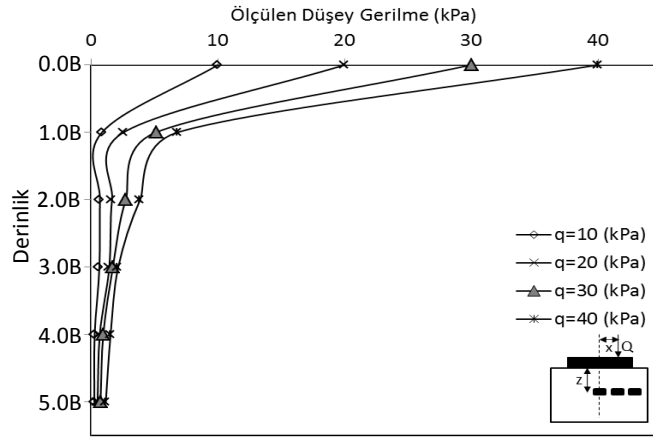
Merkez gerilme ölçer tarafından $e/L=0$ yüklemesi için farklı derinliklerde okunan düşey gerilme değişimleri grafik halinde Şekil 4.22’de sunulmuştur.



Şekil 4.22. $e/L=0$ yüklemesinde farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler

$e/B=0$ yüklemesinde, uygulanan farklı yük ($q=10\text{kPa}$, $q=20\text{kPa}$, $q=30\text{kPa}$, $q=40\text{kPa}$) değerlerinde derinlik boyunca düşey gerilme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Temel yüzeyinden 1.0B derinlikte meydana gelen düşey gerilme değerlerinde, temel yüzeyine göre yaklaşık %40, 5B için ise yaklaşık %90 oranlarına varan azalmalar görülmektedir.

Merkez gerilme ölçer, $e/B=0.25$ için farklı derinliklerde ölçülen düşey gerilmeler ise grafik olarak Şekil 4.23’de sunulmuştur.

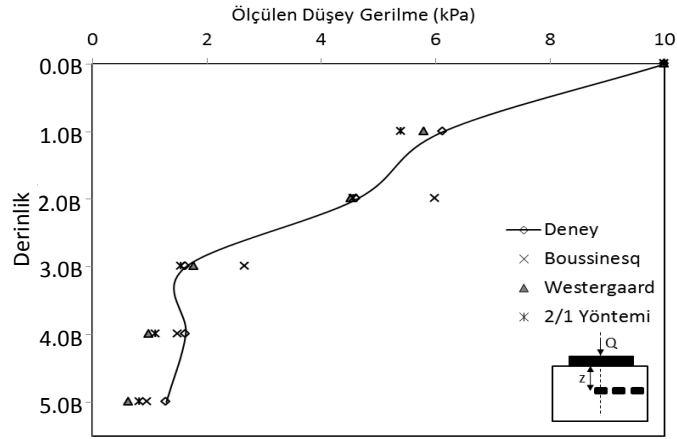


Şekil 4.23. $e/L=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler

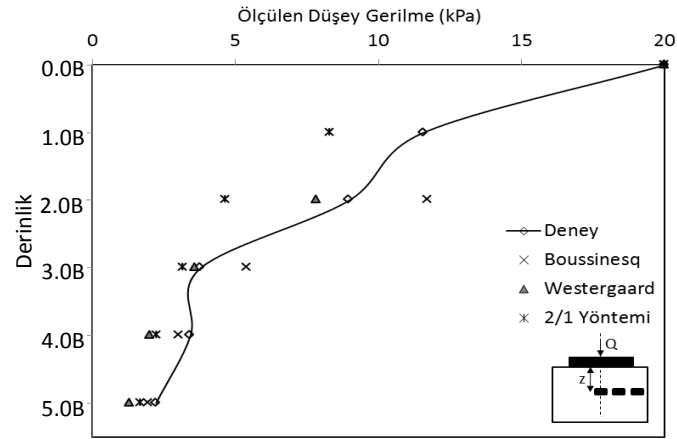
$e/B=0.25$ yükleme durumunda, uygulanan farklı yük ($q=10\text{kPa}$, $q=20\text{kPa}$, $q=30\text{kPa}$, $q=40\text{kPa}$) değerlerinde derinlik boyunca düşey gerilme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Temel yüzeyinden $1.0B$ (0.1m) derinlikte meydana gelen düşey gerilme değerlerinde temel yüzeyine göre yaklaşık %90, 0.5m için ise yaklaşık %98 oranlarına varan azalmalar görülmektedir.

4.1.4. $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ Şerit Temel, Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Literatür Sonuçları ile Karşılaştırılması

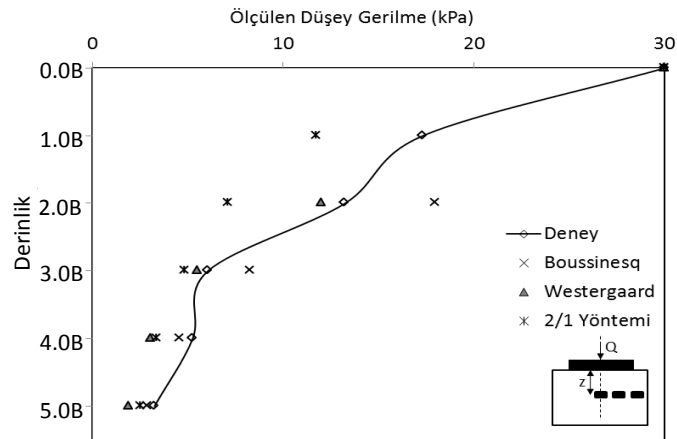
Aşağıdaki şekillerde $10\text{cm} \times 50\text{cm}$ şerit temel altında, 5 farklı derinlikte oluşan ilave düşey gerilmeler belirlenmiş, deney sonuçları teorik sonuçlarla birlikte grafik halinde toplu olarak sunulup karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27).



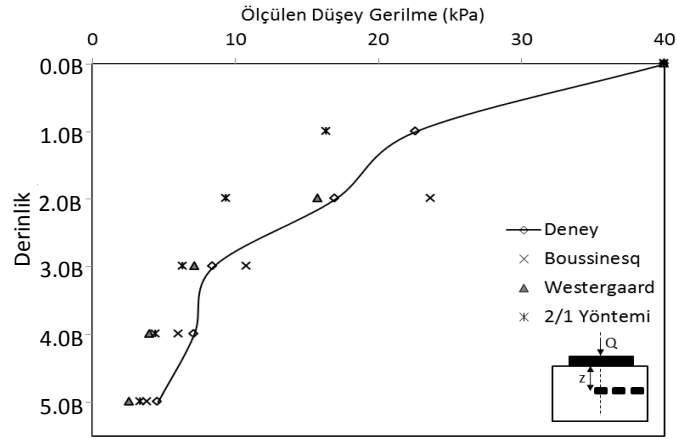
Şekil 4.24. $e/L=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



Şekil 4.25. $e/L=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



Şekil 4.26. $e/L=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

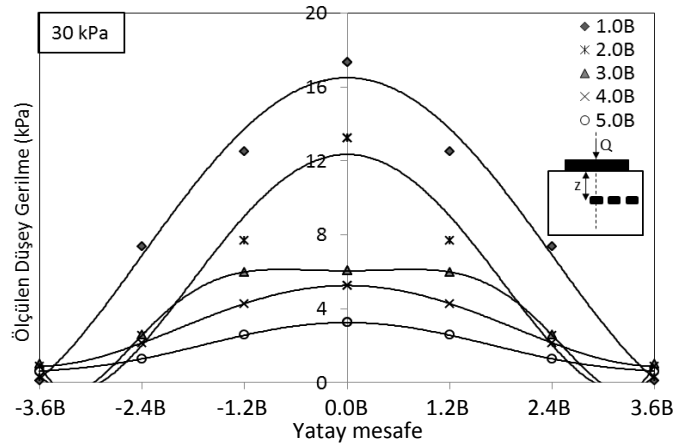


Şekil 4.27. $e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

Şekillerden de görüldüğü gibi uygulanan düşey gerilmeye bağlı olarak oluşan gerilme değerleri derinlik arttıkça azalmakta ve Boussinesq, Westergaard, 2/1 yaklaşımı çözümlerinin deney sonuçlarına oldukça yakın oldukları görülmektedir. Sadece yüzeye yakın kısımlarda Boussinesq yaklaşımında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan bu tür problemlerin çözümü incelendiğinde yüzeye yakın noktalardaki gerilmelerin özellikle Boussinesq yaklaşımına göre farklılıklar gösterdiği ve buna karşılık derinlik arttıkça değerlerin birbirine yaklaştığı görülmüştür.

4.1.5. 10cmx50cm Şerit Temelde $e/L=0$ için Her bir Derinlik için Yatayda Oluşan Düşey Gerilmelerin Araştırılması

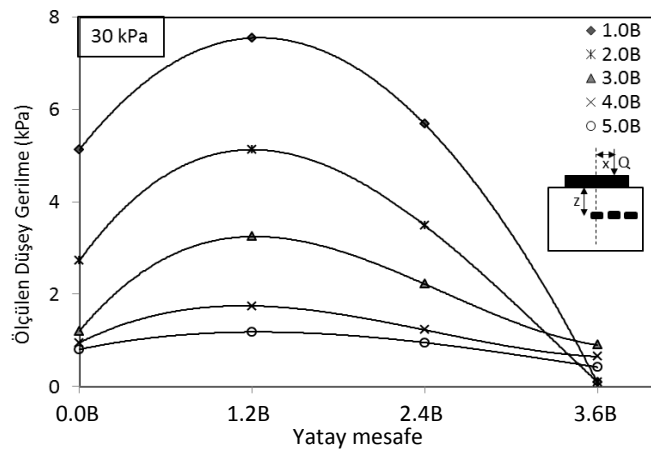
Çalışmada 10cmx50cm şerit temelin merkezi yükleme ($e/L=0$) durumunda derinlik boyunca (1.0B, 2.0B, 3.0B, 4.0B ve 5.0B) oluşan yatay noktalardaki gerilme değerleri yüzeyde uygulanan 30kPa yükleme durumu için aşağıdaki şekilde grafik halinde verilmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. $e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Şekilden, yüzeyde 30kPa uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin her bir derinlik için temel merkezinde maksimum değerler verdiği ve temel merkezinden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Temel merkezinden 2.4B (0.24m) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel merkezine göre gerilmelerde %57 oranında, temel merkezinden 3.6B (0.36m) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel merkezine göre gerilmelerde %99 oranlarında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.

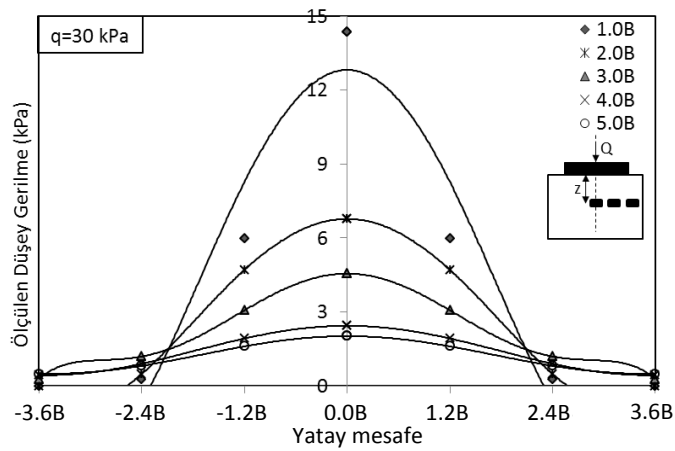
10cmx50cm şerit temelin eksantrik yükleme ($e/L=0.25$) durumunda yatay noktadaki gerilme değerleri yüzeyde uygulanan 30kPa yükleme durumu için sonuçlar Şekil 4.29'da grafik halinde verilmiştir.



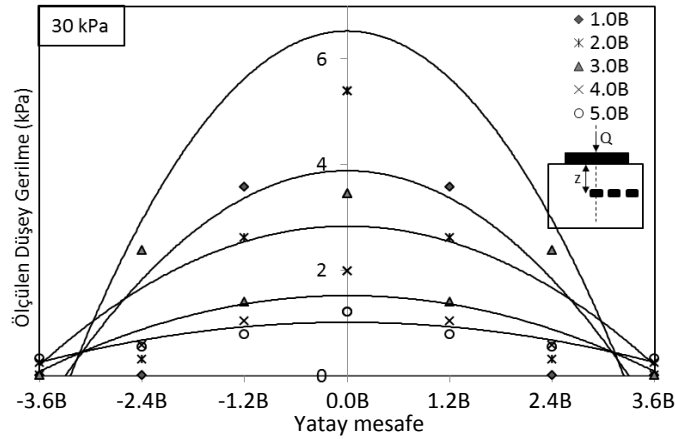
Şekil 4.29. $e/L=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Eksantrik yükleme ($e/L=0.25$) durumu için yüzeyde 30 kPa uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin her bir derinlik için yükün yüklendiği noktaya en yakın olan $X_1=1.2B$ 'de ($X_1=0.12m$) diğer noktalara daha fazla olduğu görülmektedir. X_1 gerilme ölçerden elde edilen gerilme değerlerinin, merkez gerilme ölçerden elde edilen değerlerine göre %50 oranlarında artışlar gösterdiği belirlenmiştir.

Ek 1. ve Ek 2. kısmında grafik sonuçları verilen D1 (10cmx30cm) ile D2 (20cmx10cm) dikdörtgen temellerinin merkez ($e/L=0$) yükleme durumunda yatayda oluşan düşey gerilme grafikleri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.30. 10cmx30cm (Bx3B) D1 temelinde, $e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması



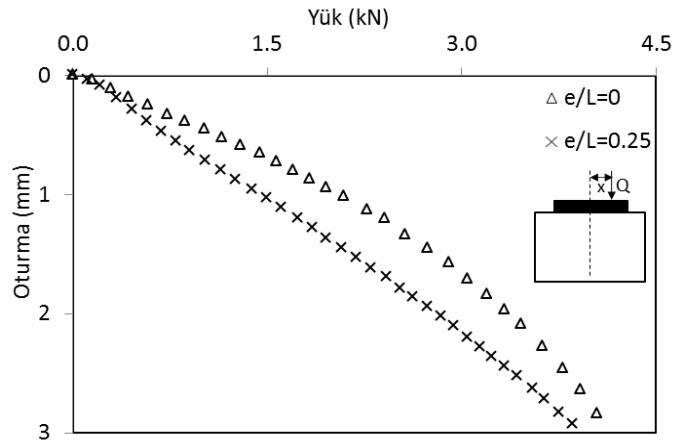
Şekil 4.31. 10cmx20cm (Bx2B) D2 temelinde, $e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Benzer şekilde 30kPa uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin her bir derinlik için temel merkezinde maksimum değer verdiği ve temel

merkezinden uzaklaştıkça azaldığı ve derinlik arttıkça ölçülen gerilme değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

4.2. 30cmx30cm Kare Temel için Gerilme Analizi

Gevşek kum zemine oturan, 30cmx30cm boyutlarında ve kalınlığı 8mm olan rijit çelik plaka model temelin beş farklı derinlik (0.33B, 0.66B, 1.00B, 1.33B, 1.66B) için ilave düşey gerilme değerleri ile yük-oturma ilişkileri iki farklı yükleme durumunda ($e/L=0.0$, $e/L=0.25$) incelenmiştir. Gerilmeler beş farklı noktaya (temellerin merkezi ile $0.4BX=0.12m$, $0.8BX=0.24m$, $1.2BX=0.36m$ ve $0.4BY=0.12m$ konumlarında) yerleştirilen gerilme ölçerler vasıtasıyla her bir derinlik için yatay doğrultularda elde edilmiştir. Şekil 4.32’de iki farklı yükleme türünde elde edilen yük-oturma eğrileri gösterilmiştir.

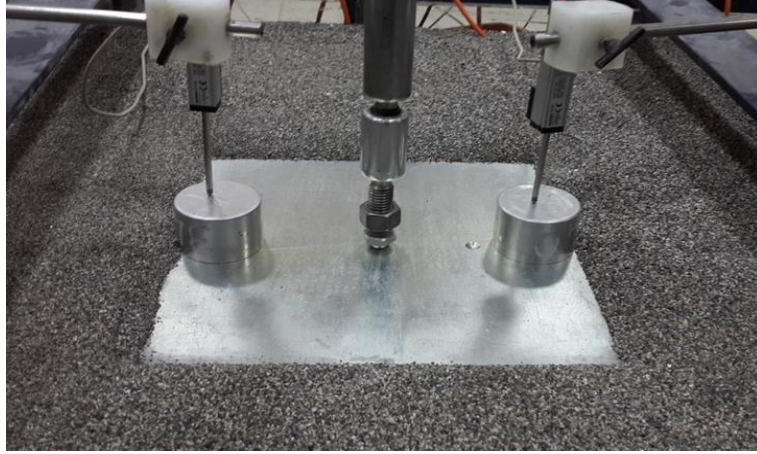


Şekil 4.32. 30cmx30cm temel modeli için yük-oturma ilişkisi

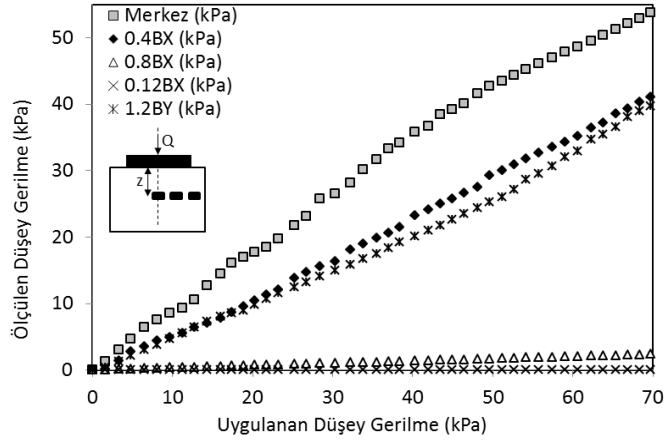
Şekilden görüldüğü gibi $e/L=0$ (merkez yükleme) durumunda en yüksek yük değeri elde edilmiştir. Eksantrisite arttıkça yük değeri de azalmıştır. Merkez yükleme durumunda $e/B=0.25$ yükleme durumuna göre %20'ye varan artışlar gözlenmiştir. Bu durum literatür verilerini de doğrulamaktadır (Moroğlu 2001; Saran ve ark. 2007; Şadoğlu ve ark. 2009; Nawghare ve ark. 2010).

4.2.1. 30cmx30cm Kare Temel, Beş Farklı Derinlikte Gerilme Analizi

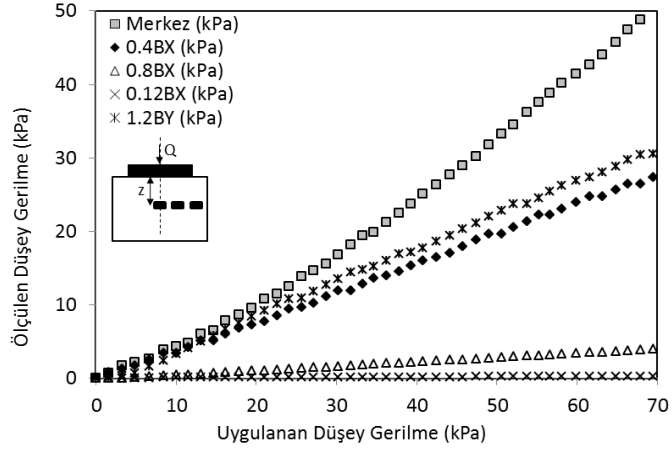
Deney düzeneğinin görünümü Şekil 4.33’de verilen, $e/B=0$ (merkez yükleme) durumu için derinlik boyunca (0.33B, 0.66B, 1.0B, 1.33B ve 1.66B) elde edilen sonuçlar, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de grafik olarak sunulmuştur. Şekil 4.35’de ise göçme yüküne kadar olan gerilme değerleri verilmiştir.



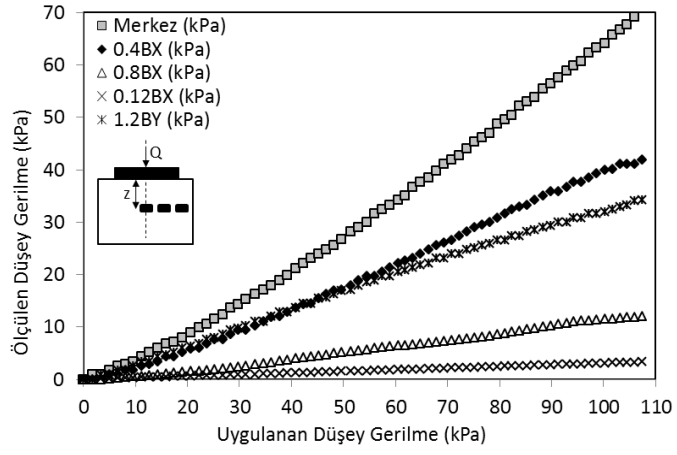
Şekil 4.33. 30cmx30cm model temelde yük $e/B=0$ durumunda (merkez yükleme) yükleme düzeneği



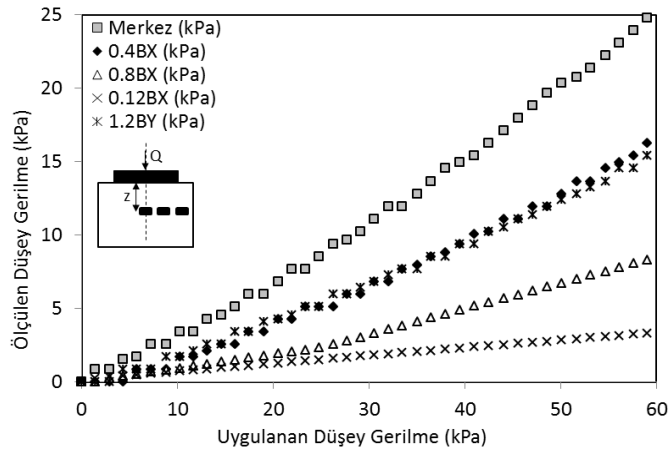
Şekil 4.34. $e/B=0$ yükleme durumunda 0.33B derinliğinde düşey gerilmeler



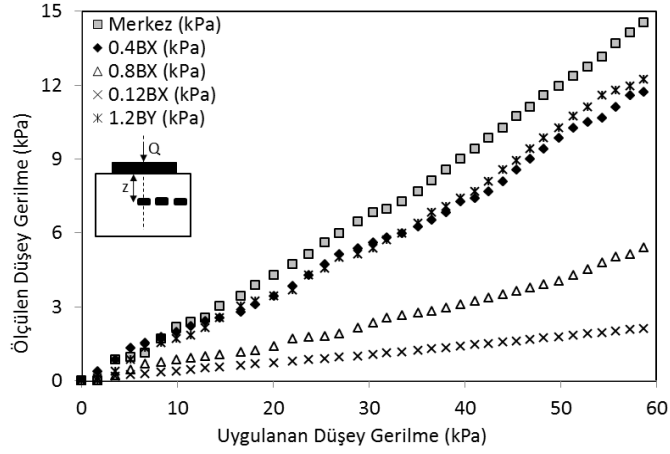
Şekil 4.35. $e/B=0$ yükleme durumunda $0.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.36. $e/B=0$ yükleme durumunda $1.00B$ derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.37. $e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.38. $e/B=0$ yükleme durumunda $1.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler

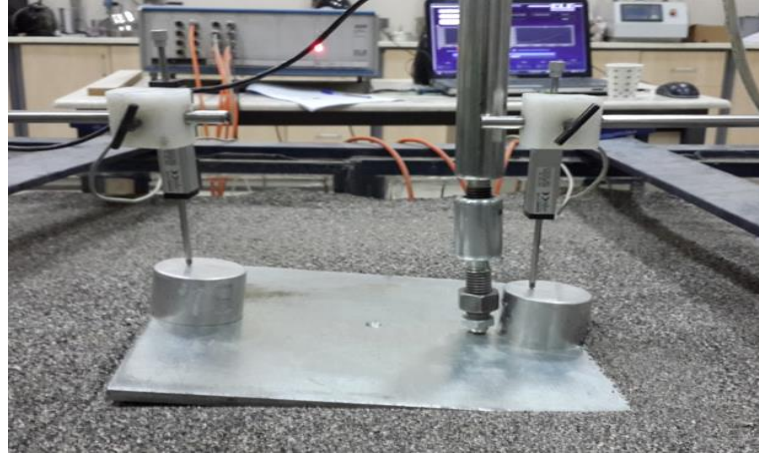
Yukarıda yer alan şekillerden de görüleceği üzere, merkezde ölçülen gerilme değeri diğerlerine göre daha fazla elde edilmiştir. BX_1 ve BY gerilme ölçerlerden elde edilen sonuçlar beklenildiği gibi birbirine yakın veya aynı çıkmıştır. Bunun nedeni model temelin kare kesitli olmasından dolayıdır. 60kPa uygulanan düşey gerilme değeri için elde edilen sayısal değerler, Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. 30cmx30cm kare temel, $e/B=0$ yükleme durumunda gerilme değerleri

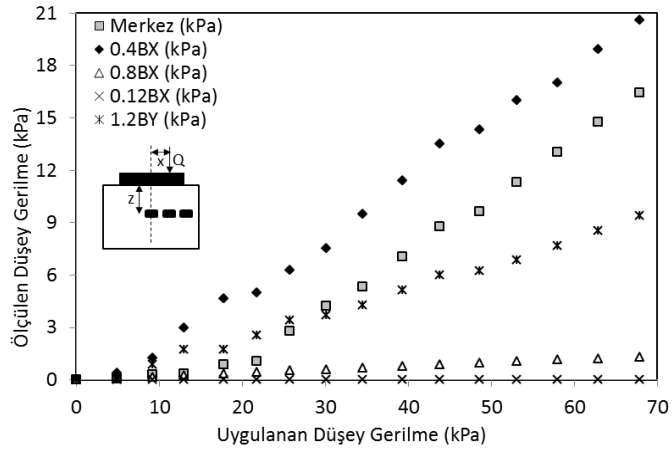
Gerilme Ölçer	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Merkez	$e/B=0$	0.33B	60	48.640
		0.66B	60	41.427
		1.00B	60	34.185
		1.33B	60	25.639
		1.66B	60	14.992
1.2BX	$e/B=0$	0.33B	60	34.000
		0.66B	60	23.930
		1.00B	60	22.220
		1.33B	60	16.238
		1.66B	60	11.965
2.4BX	$e/B=0$	0.33B	60	2.057
		0.66B	60	3.405
		1.00B	60	6.410
		1.33B	60	8.582
		1.66B	60	5.520
3.6BX	$e/B=0$	0.33B	60	0.000
		0.66B	60	0.238
		1.00B	60	1.830
		1.33B	60	3.390
		1.66B	60	2.173
1.2BY	$e/B=0$	0.33B	60	32.900
		0.66B	60	26.963
		1.00B	60	20.511
		1.33B	60	15.383
		1.66B	60	12.619

60kPa uygulanan düşey gerilme değeri için merkez, 0.4BX ve 0.4BY noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerlerde derinlik boyunca sırasıyla yaklaşık olarak %70, %65 ve %62 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. 0.8BX ve 1.2BX noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerler yükün uygulandığı noktadan uzak olmaları yüzeye yakın derinliklerde diğer derinliklere göre daha düşük gerilme değerleri elde edilmiştir.

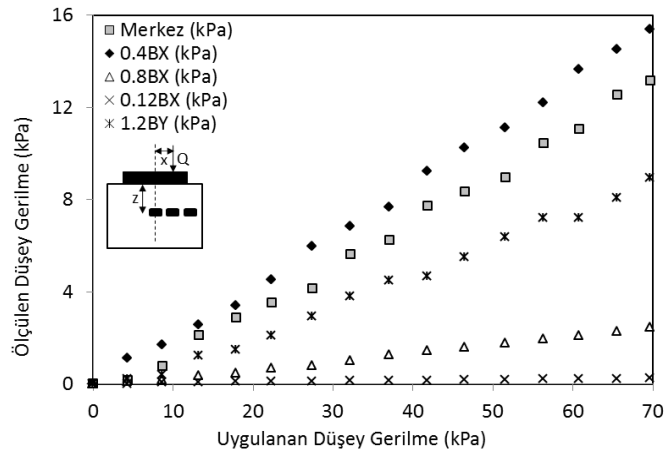
$e/B=0.25$ durumu için yükleme düzeneği Şekil 4.39'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43'de grafik olarak sunulmuştur.



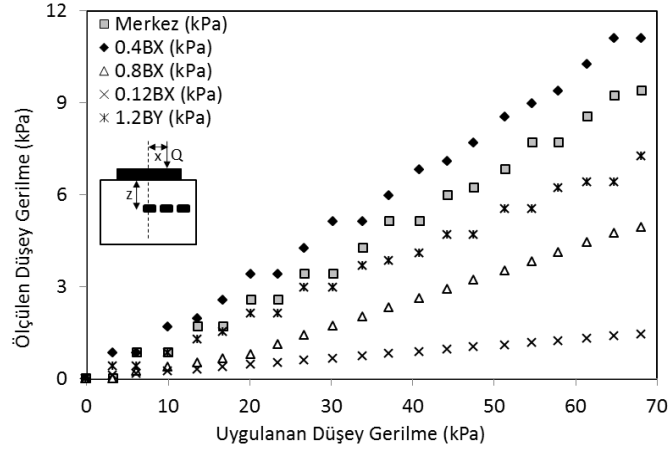
Şekil 4.39. 30cmx30cm model temelde yük $e/B=0.25$ durumunda yükleme düzeneği



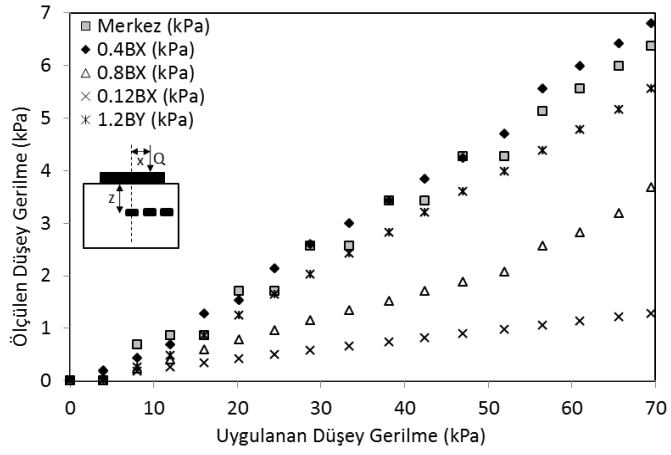
Şekil 4.40. $e/B=0.25$ yükleme durumunda 0.33B derinliğinde düşey gerilmeler



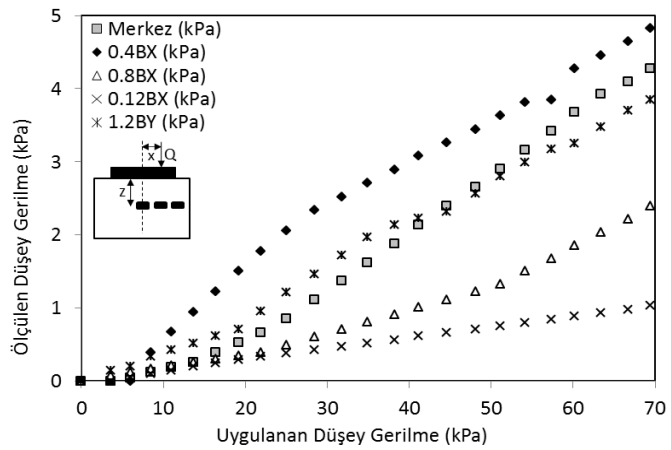
Şekil 4.41. $e/B=0.25$ yükleme durumunda 0.66B derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.42. $e/B=0.25$ yükleme durumunda $1.00B$ derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.43. $e/B=0.25$ yükleme durumunda $1.33B$ derinliğinde düşey gerilmeler



Şekil 4.44. $e/B=0.25$ yükleme durumunda $1.66B$ derinliğinde düşey gerilmeler

$e/L=0.25$ yükleme durumunda 30cmx30cm kare temel için gerilme değeri yükleme yapılan noktaya yakın olan gerilme ölçerde daha fazla elde edilmiştir. $e/B=0.25$ durumu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6’da sayısal olarak sunulmuştur.

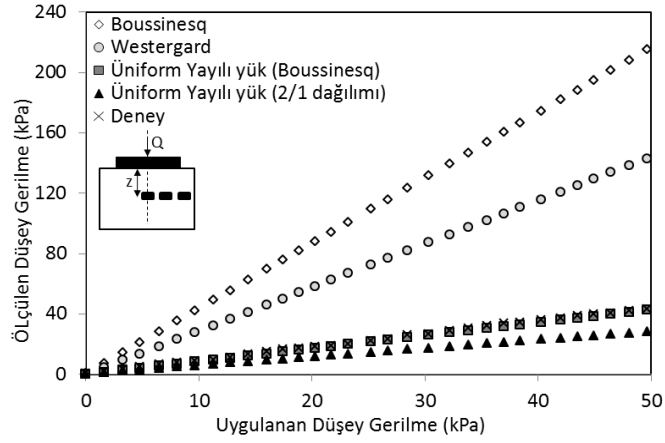
Çizelge 4.6. 30cmx30cm kare temel, $e/B=0.25$ yükleme durumunda gerilme değerleri

Gerilme Ölçer	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Merkez	$e/B=0.25$	0.33B	60	14.010
		0.66B	60	11.056
		1.00B	60	8.546
		1.33B	60	5.550
		1.66B	60	3.675
1.2BX	$e/B=0.25$	0.33B	60	17.920
		0.66B	60	13.674
		1.00B	60	10.256
		1.33B	60	5.981
		1.66B	60	4.273
2.4BX	$e/B=0.25$	0.33B	60	1.200
		0.66B	60	2.118
		1.00B	60	4.441
		1.33B	60	2.817
		1.66B	60	1.859
3.6BX	$e/B=0.25$	0.33B	60	0.000
		0.66B	60	0.224
		1.00B	60	1.314
		1.33B	60	1.126
		1.66B	60	0.890
1.2BY	$e/B=0.25$	0.33B	60	8.124
		0.66B	60	7.229
		1.00B	60	6.140
		1.33B	60	4.771
		1.66B	60	3.248

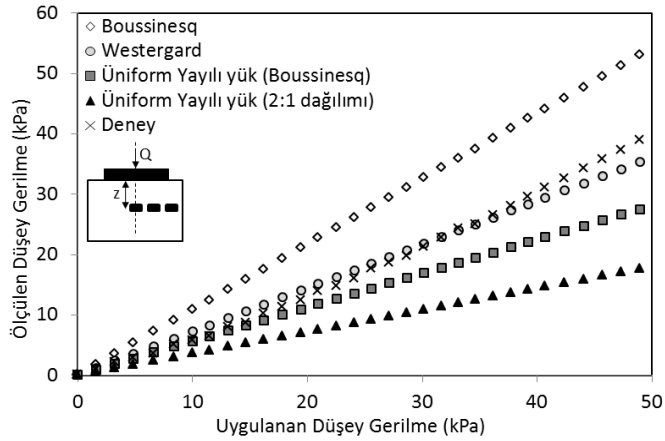
60kPa uygulanan düşey gerilme değerinde Merkez, 1.2BX ve 1.2BY noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerlerde derinlik boyunca sırasıyla yaklaşık olarak %74, %77, %60 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. 2.4BX ve 3.6BX noktalarına yerleştirilen gerilme ölçerler yüzeye yakın derinliklerde yükün uygulandığı noktadan uzak olmalarından dolayı yüzey 0.33B ve 0.66B derinliklerde daha düşük değerler almıştır.

4.2.2. 30cmx30cm Kare Temel Deneysel Sonuçlarının Literatür Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

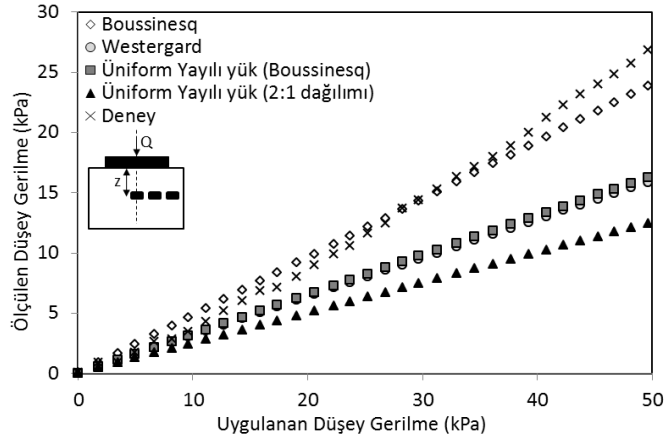
Bu bölümde beş farklı derinlikte (0.33B, 0.66B, 1.0B, 1.33B ve 1.66B) elde edilen düşey gerilme artışı değerleri; Boussinesq (1885), Westergaard (1938), üniform yayılı yük (Boussinesq) ve basit kabul yaklaşımlarıyla karşılaştırılmıştır. Literatürde yer alan bu formülasyonlarla ilgili ayrıntılar Bölüm 1 ve Bölüm 2’de yer almaktadır. Sonuçlar, Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da literatürde mevcut teorik sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur.



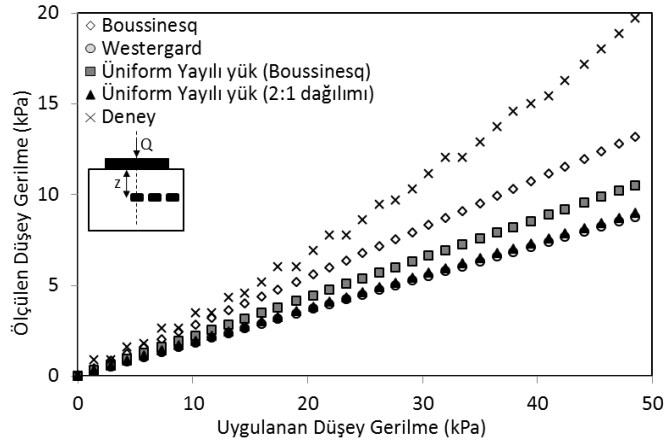
Şekil 4.45. 30cmx30cm kare temel için 0.33B derinlikte literatür karşılaştırması



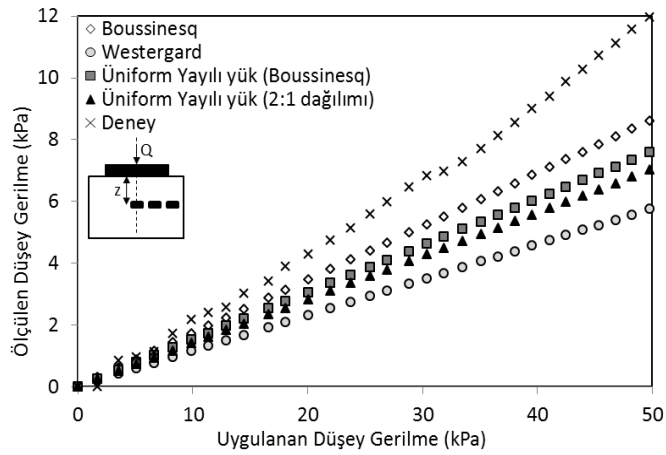
Şekil 4.46. 30cmx30cm kare temel için 0.66B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.47. 30cmx30cm kare temel için 1.00B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.48. 30cmx30cm kare temel için 1.33B derinlikte literatür karşılaştırması



Şekil 4.49. 30cmx30cm kare temel için 1.66B derinlikte literatür karşılaştırması

$e/B=0$ yükleme durumunda 40kPa uygulanan düşey gerilme değeri için deney ve teorik yöntemlerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.4'de verilerek karşılaştırılmıştır.

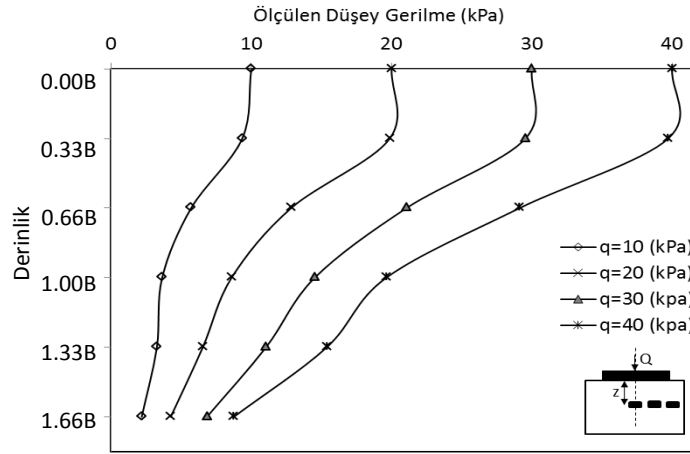
Çizelge 4.7. 30cmx30cm kare temel için 50kPa uygulanan düşey gerilmede deney ve teorik sonuçlar

Yöntem	Yükleme Durumu	Derinlik	Uygulanan Düşey Gerilme (kPa)	Ölçülen Düşey Gerilme (kPa)
Deney	e/B=0	0.33B	50	42.660
		0.66B	50	40.000
		1.00B	50	26.750
		1.33B	50	20.340
		1.66B	50	11.967
Boussinesq	e/B=0	0.33B	50	214.310
		0.66B	50	54.856
		1.00B	50	23.856
		1.33B	50	13.529
		1.66B	50	8.613
Üniform Yayılı yük (Boussinesq)	e/B=0	0.33B	50	42.688
		0.66B	50	28.314
		1.00B	50	16.281
		1.33B	50	10.823
		1.66B	50	7.576
Westergaard	e/B=0	0.33B	50	142.954
		0.66B	50	36.403
		1.00B	50	15.884
		1.33B	50	9.020
		1.66B	50	5.742
Üniform Yayılı yük (2:1 dağılımı)	e/B=0	0.33B	50	27.921
		0.66B	50	18.202
		1.00B	50	12.204
		1.33B	50	9.204
		1.66B	50	7.009

Şerit temele benzer şekilde, Boussinesq ve Westergaard yaklaşımı sonuçlarının, yüzeye yakın kısımlarda çok yüksek ve deneyden oldukça farklı sonuçlar verdikleri görülmektedir. Derinlere inildikçe bütün sonuçların birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. 1.0B derinlikte 50kPa uygulanan düşey gerilme değeri için deney, Boussinesq yaklaşımı, Üniform Yayılı yük (Boussinesq) yaklaşımı, Westergaard yaklaşımı, Üniform Yayılı yük (2:1 dağılımı) yaklaşımı ile ölçülen düşey gerilme değerleri sırasıyla 26.750kPa, 23.856kPa, 16.281kPa, 15.884kPa ve 12.409kPa olarak elde edilmiştir.

4.2.3. 30cmx30cm Kare Temel için Farklı Derinliklerde ve Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Araştırılması

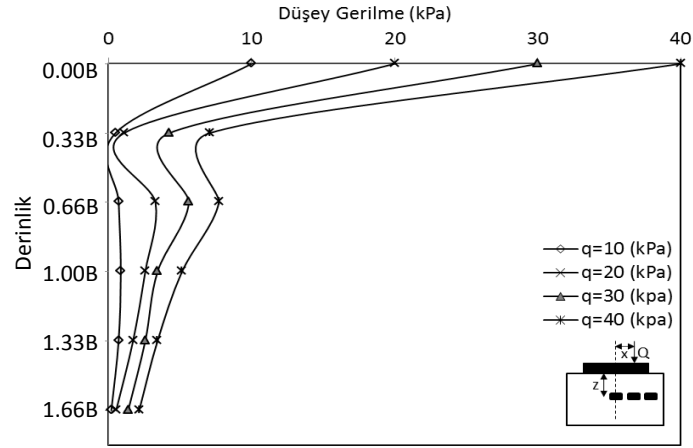
Bu bölümde 30cmx30cm kare temel altında, 5 farklı derinlikte yüzeyde uygulanan farklı gerilme değerlerinde oluşan ilave düşey gerilmeler grafik halinde sunulmuştur. Merkez gerilme ölçer tarafından $e/B=0$ yüklemesi için farklı derinliklerde okunan düşey gerilme değişimleri grafik halinde Şekil 4.50'de sunulmuştur.



Şekil 4.50. $e/B=0$ yüklemesinde farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler

Uygulanan farklı yük ($q=10\text{kPa}$, $q=20\text{kPa}$, $q=30\text{kPa}$, $q=40\text{kPa}$) değerlerinde $e/B=0$ yüklemesinde, derinlik boyunca düşey gerilme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Temel yüzeyinden 0.1m derinlikte meydana gelen düşey gerilme değerlerinde, temel yüzeyine göre yaklaşık %6, 0.5m için ise yaklaşık %80 oranlarına varan azalmalar görülmektedir.

Merkez gerilme ölçer, $e/B=0.25$ eksantrik yüklemesi için farklı derinliklerde ölçülen düşey gerilmeler grafik halinde Şekil 4.51'de sunulmuştur.

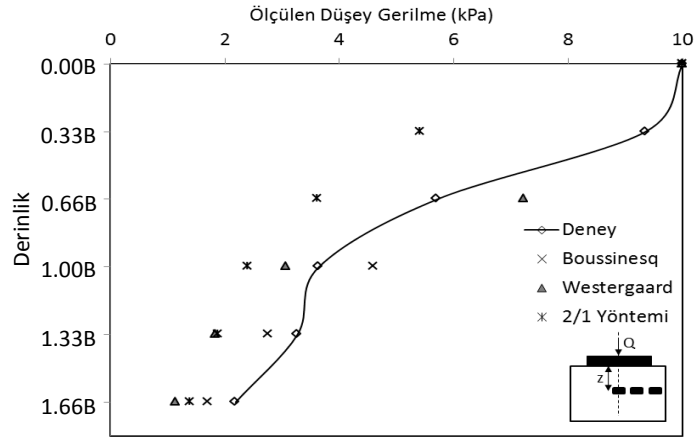


Şekil 4.51. $e/B=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler

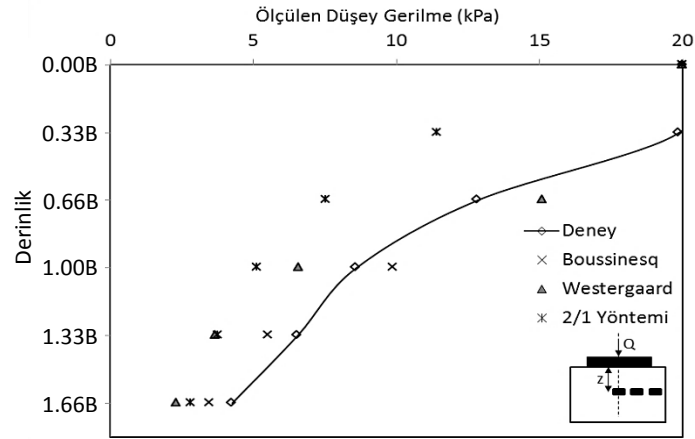
$e/B=0.25$ yükleme durumunda, uygulanan farklı yük ($q=10\text{kPa}$, $q=20\text{kPa}$, $q=30\text{kPa}$, $q=40\text{kPa}$) değerlerinde derinlik boyunca düşey gerilme değerlerinin azaldığı görülmektedir. $0.33B$ derinlikte yükün uygulandığı noktadan uzak olduğu için daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu durum, gerilme soğanının şekli ile açıklanabilmektedir. $0.66B$ (0.2m) derinlikte meydana gelen düşey gerilme değerlerinde temel yüzeyine göre yaklaşık %82, 0.5m seviyesine göre ise yaklaşık %95 oranlarına varan azalmalar görülmektedir.

4.2.4. $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ Kare Temel, Farklı Yükleme Durumlarında Düşey Gerilmelerin Literatür Sonuçları ile Karşılaştırılması

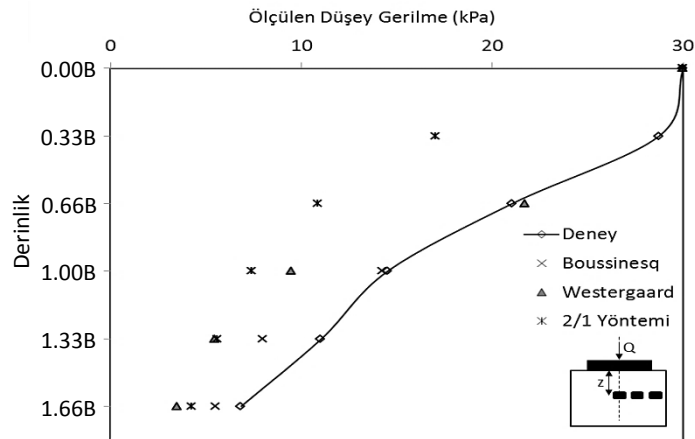
$30\text{cm} \times 30\text{cm}$ kare temel için, beş farklı derinlikte oluşan ilave düşey gerilmeler belirlenmiş, deney sonuçları teorik sonuçlarla birlikte grafik halinde toplu olarak sunulup karşılaştırılmıştır (Şekil 4.52.; Şekil 4.53.; Şekil 4.53.; Şekil 4.54.).



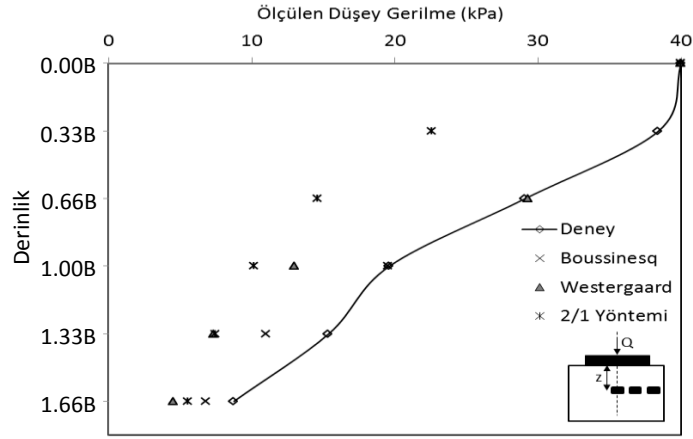
Şekil 4.52. $e/B=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



Şekil 4.53. $e/B=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



Şekil 4.54. $e/B=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

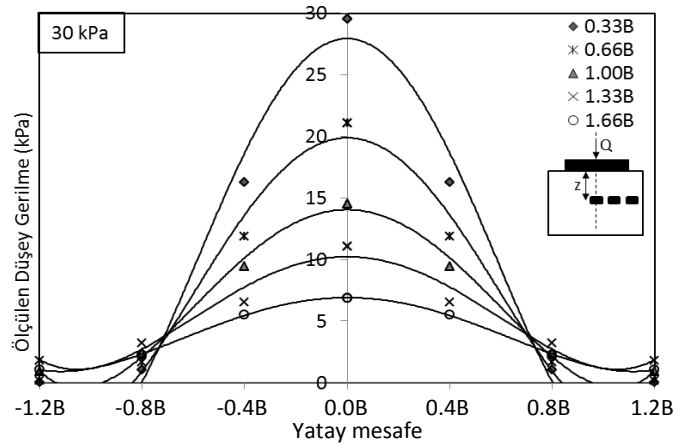


Şekil 4.55. $e/B=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

Grafiklerden, gerilme değerlerinin derinlik arttıkça azaldığı; Boussinesq, Westergaard ve 2/1 yaklaşımı çözümlerinin deney sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmektedir. Sadece yüzeye yakın kısımlarda Boussinesq yaklaşımında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu durum, literatürle de doğrulanmaktadır (Uzuner, 2012).

4.2.5. 30cmx30cm Kare Temelde $e/B=0$ için Her bir Derinlik için Yatayda Oluşan Düşey Gerilmelerin Araştırılması

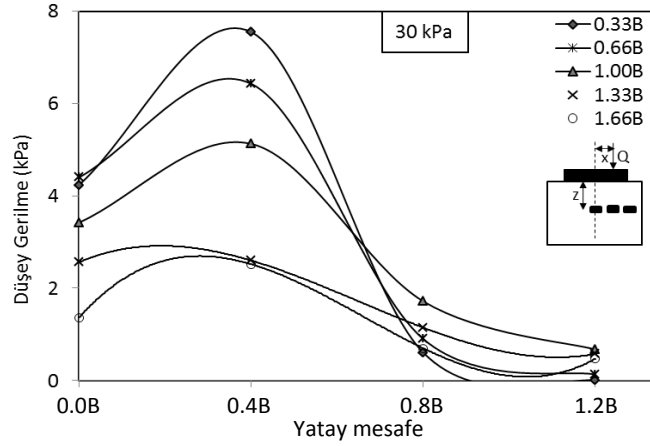
30cmx30cm kare kesitli temelin merkez yükleme ($e/B=0$) durumunda derinlik boyunca (0.33B, 0.66B, 1.00B, 1.33B ve 1.66B) oluşan yatay noktadaki gerilme değerleri yüzeyde uygulanan 30kPa yükleme durumu için aşağıdaki şekilde grafik halinde verilmiştir (Şekil 4.56.).



Şekil 4.56. $e/B=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Şekilden, yüzeyde 30kPa uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin her bir derinlik için temel merkezinde maksimum değerler verdiği ve temel merkezinden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Temel merkezinden 0.8B (0.24m) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel merkezine göre gerilmelerde %96 oranında, temel merkezinden 1.2B (0.36m) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel merkezine göre gerilmelerde %99 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Kenar noktalarda (0.8B=0.24m) ve 1.2B (0.36m=yatay noktalar) daha az okuma alınmasının sebebi, temel boyutu ve yükün uygulandığı noktanın gerilme ölçere uzak olmasıdır.

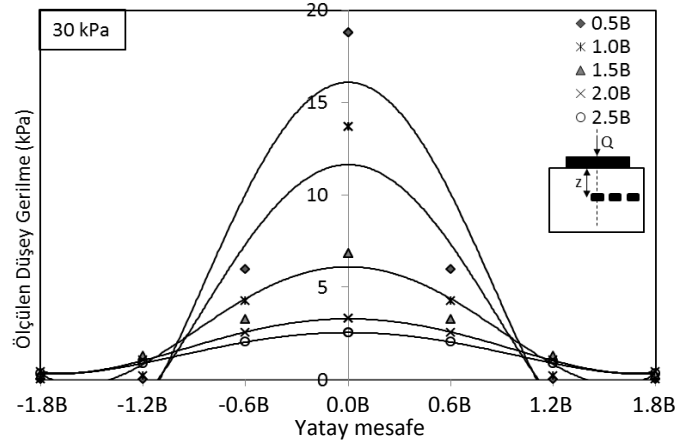
30cmx30cm kare kesitli temelin eksantrik yükleme ($e/B=0.25$) durumunda yatay noktalardaki gerilme değerleri yüzeyde uygulanan 30kPa yükleme durumu için sonuçlar Şekil 4.57'de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.57. $e/B=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Eksantrik yükleme ($e/B=0.25$) durumu için yüzeyde 30kPa'lık bir düşey yüklemeye bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin her bir derinlik için yükün yüklendiği noktaya en yakın olan 0.4B diğer noktalara göre daha fazla olduğu görülmektedir. 0.4B gerilme ölçerden elde edilen gerilme değerlerinin, merkez gerilme ölçerden elde edilen değerlerine göre %45 oranlarına varan artışlar gösterdiği görülmektedir.

Ek 3 kısmında grafik sonuçları verilen K1 kare kesitli (20cmx20cm) temelin merkez ($e/B=0$) yükleme durumunda yatayda oluşan düşey gerilme grafikleri ise Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.58. 20cmx20cm K2 temelinde, $e/B=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

10cmx30cm ve 10cmx20cm dikdörtgen kesitli temeller ve 20cmx20cm kare kesitli temel için yapılan model deney sonuçları ekler kısmında grafik olarak sunulmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, gevşek kum zemine oturan farklı geometri model temellerin (şerit, dikdörtgen ve kare kesitli) farklı yükleme koşullarında zeminde meydana getirdiği ilave düşey gerilme davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. İlave düşey gerilme artışları 5 farklı derinlikte ($z_1=0.1m$, $z_2=0.2m$, $z_3=0.3m$, $z_4=0.4m$, $z_5=0.5m$) her bir derinlik için yatayda aynı anda 5 farklı noktada (temellerin merkezi ile $BX_1=0.12m$, $BX_2=0.24m$, $BX_3=0.36m$ ve $BY=0.12m$ konumlarında) (burada X ve Y doğrultuları ifade etmektedir) yerleştirilen gerilme ölçerler vasıtasıyla laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak ölçülmüştür. Ayrıca yük-oturma değerleri de elde edilmiştir. Deney sonuçları, literatürde mevcut teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır.

- Hem merkez hem de eksantrik yükleme durumlarında derinliğe bağlı olarak düşey gerilme değerlerinde azalmalar görülmüştür.
- Model temellere etkiyen yük artışına bağlı olarak ilave düşey gerilme değerlerinde de artışlar elde edilmiştir.
- Şerit temel (10cmx50cm), iki farklı dikdörtgen temel (10cmx30cm ve 10cmx20cm) ve iki farklı kare temel (30cmx30cm ve 20cmx20cm) üzerinde gerçekleştirilen model deney sonuçlarına göre, büyük alana sahip olan model temeller altında meydana gelen gerilme artışları da daha büyük olmuştur.
- Şerit ve dikdörtgen kesitli temeller kullanılarak merkez yükleme koşullarında boyut etkisinin de incelendiği bu çalışmada temel alanı arttıkça her bir derinlik seviyesinde okunan gerilme değerlerinde de artışlar gözlenmiştir.
- Eksantrik yükleme durumunda yükün uygulandığı noktaya yakın olan gerilme ölçerden okunan gerilme değeri daha fazla olmuştur.
- Merkez yükleme durumunda yatayda yükleme noktasından uzaklaştıkça gerilme değerleri azalmıştır.
- Deneysel sonuçlar, teorik sonuçlar ile karşılaştırıldığında yüzeysel kısımlarda teorik sonuçlar daha büyük çıkmıştır. Ancak derinlik arttıkça teorik sonuçlarla büyük oranda

örtüşmektedir. Literatür çözümleri incelendiğinde de benzer sonuçların elde edildiği belirlenmiştir.

- Özellikle Boussinesq ve Westergaard yaklaşımlarına göre yüzeysel kısımlarda deneysel sonuçlar çok daha küçük sonuçlar vermiştir. Basit yaklaşım (2/1 Yöntemi) ve üniform yayılı yük (Boussinesq) yaklaşımı ile deney sonuçları birbirine daha yakın elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

- Deney sonuçları sayısal analizlerle de desteklenerek iki ve üç boyutlu ortamda kapsamlı parametrik çalışmalar yapılabilir.
- Gerilmelerin ölçülebileceği derinlik seviyeleri artırılabilir.
- Eksantrisite miktarı arttırılabilir ve çift yönlü eksantrisite uygulanabilir.
- Daire, ring vb. gibi farklı model temeller kullanılabilir.
- Deneysel arazi ortamında tam ölçek koşullarında yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acun, N., 1960. Temel Zemini ve Yapı. **Teknik Üniversite Matbaası**, İstanbul, 460s.
- Ahlvin, R.G., and Ulery, H.H., 1962. Tabulated Values for Determining the Complete Pattern of Stresses, Strains and Deflections Beneath a Uniform Load on a Homogeneous Half Space. **Highway Research Board**, Bulletin 342, 1-13.
- Bağrıaçık, B., 2010. Zeminlerdeki Gerilme Durumlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Boussinesq, J., 1885. Application des Potentiels a L'etude de L'equilibre et du Movement des Solids Elastiques. **Gauthier-Villars**, Paris.
- Cho, S., and Vipulanandan, C., 1998. Verification of Stress Distribution in a Soil Box. **CIGMAT-Department of Civil and Environmental Engineering University of Houston**, Texas, 77204-4003.
- Das, B.M., 2001. Principles of Geotechnical Engineering. **Brooks Cole**, USA.
- Donath, A.D., 1891. Untersuchungen Veber den Erddruck auf Stuetzwaende. **Zeitschrift fuer Bauwesen**, Berlin, Germany.
- Hanna, A., and Ghaly, A., 1992. Effects of K_0 and Overconsolidation on Uplift Capacity. **Journal of Geotechnical Engineering**, 118 (9), 1449-1469.
- Hanna, A.M., and Solıman-Saad, N., 2001. Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed. **Geotechnical Testing Journal**, 24 (4), 430-438.
- Hendron, A.J., 1963. The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression. Ph.D. Thesis, University of Illinios, USA.
- Jaky, J., 1948. Pressure in Soils. Proc. 2nd Conf. On Soil Mech. And Found. Engrg., **A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands**, 1, 103-107
- Kanıt, R., 2003. Temel İnşaatı. **GAZİ Kitabevi Tic. Ltd. Şti.**, Ankara, 102-105.
- Kayadelen, C., 2005. Doygun Olmayan İnce Daneli Zeminlerin K_0 koşullarındaki Yanal Basınçlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Keskin, M.S., 2004. Zeminlerde Oluşan İlave Düşey Gerilmelerin Değişik Yöntemlerle İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, Adana.

- Keskin, M.S., Laman, M. ve Baran T., 2008. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi. **İMO Teknik Dergi**, 2008 4521-4538, Yazı 299
- Kjellman, W., 1936. Report on an Apparatus for the Determination of the Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest. Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mech. And Fnd. Engrg., **Harvard Printing Office, Cambridge, Mass.**, 2, 16-20.
- Laman, M. ve Keskin, M.S., 2004. Kumlu Zeminlerde Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. **Türkiye Mühendislik Haberleri**, Sayı 431-2004/3, 53-57.
- Laman, M. ve Keskin, M.S., 2005. Üniform Yüklü Dairesel Temel Altında Yatay Gerilme Analizi. **Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 20, Sayı 1, Ç.Ü. **İnşaat Mühendisliği Bölümü**, Adana, 95s-103s.
- Moroğlu, B. ve Uzuner B.A., 2002. Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Yüzey Şerit Temelinin Davranışı. **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Kongresi, Anadolu Üniversitesi**, Eskişehir, 277s-287s.
- 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.
- Örnek M., Türedi Y., Dal K., 2014. Kum Zemine Oturan Eksantrik Yüklü Şerit Temellerin Analizi. **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu**, 24-25 Nisan 2014, Antalya
- Özaydın, K., 1989. Zemin Mekaniği. **MEYA Matbaacılık ve Yayıncılık**, İstanbul, 395s.
- Özaydın, K., 2011. Zemin Mekaniği. **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 140s,146s.
- Özüdoğru, K., Tan, O., Aksoy, İ.H., 1996. **Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği**. **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 160s.
- Poulos, H.G., and Davis, E.H., 1974. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics. **John Wiley and Sons, Inc.**, 411p.
- Şadoğlu, E., Cure, E., Moroğlu, B. and UZUNER, B.A. 2009. Ultimate loads for eccentrically loaded model shallow strip footings on geotextile-reinforced

- sand. **Geotextiles and Geomembranes**, 27:176-182.
- Sağlam, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saran, S., Kumar, S., Garg, K.G. and Kumar, A. 2007. Analysis of Square and Rectangular Footings Subjected to Eccentric-Inclined Load Resting on Reinforced Sand. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 25:123-137.
- Scheidig and Kogler, 1926. Die Verteilung Senkrechter Drücke in Schüttungen. **Dissertation**, Freiberg.
- Tekinsoy, M.A., 1995. Zeminlerde Yeni Bünye Denklemleri ve Zemin Özelliğine Bağlı Gerilme Artımı Problemi. **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi**, İstanbul.
- Tekinsoy, M.A. ve Laman, M., 2000. Elastik Zemin Problemleri. **Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi**, Isparta.
- Tekinsoy, M.A., Taşkiran, T., Kayadelen C., BARAN, T., 2009. An Approximation to the Stress Distribution Analysis For Anisotropic Clayey Soil. **Scientific Research and Essay**, 4 (2), 78-87.
- Terzaghi, K., 1920. Old Earth Pressure Theories and New Test Results. **Engrg. News-Rec.**, 85 (14), 632-637.
- Uzuner, B.A., 1975. Centrally and Eccentrically Loaded Strip Foundations on Sand. Doktora Tezi, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- Uzuner, B.A., 1980. Geleneksel Yöntem Üzerine Zemin. **Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni**, 2 (3), 94-104.
- Uzuner, B.A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. **Teknik Yayınevi**, Ankara, 376s.
- Uzuner, B.A., Bektaş, F. ve Moroğlu, .B., 2000. Kumda Merkezi ve Eksantrik Yüklü Şerit Temellerde Taban Gerilmelerinin Dağılımları. **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 32s-38s.
- Uzuner, B.A., 2012. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. **Derya Yayınevi**, Trabzon, 397s-400s.

Van Horn, A.D., 1963. A Study of Loads on Underground Structures. **Part III, Iowa Engineering Experiment Station.**

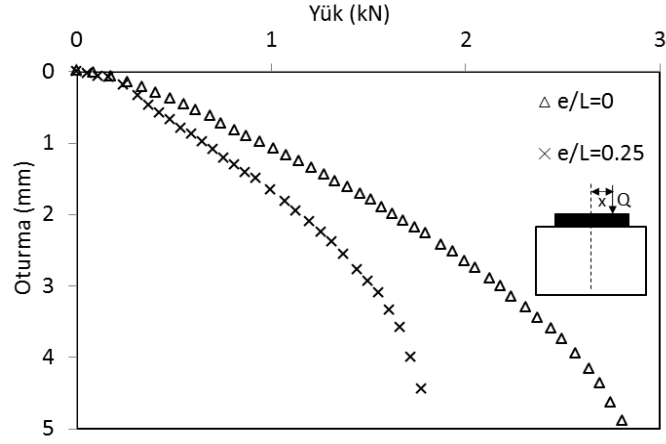
Westergaard, H.M., 1938. A Problem of Elasticity Suggested by a Problem in Soil Mechanics, Soft Material Reinforced by Numerous Strong Horizontal Sheets, Contributions to the Mechanics of Solids. **S. Timoshenko 60th Anniversary Volume**, Newyork-Mac Millan.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Konya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Karaman’da tamamladı. 2006 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2008 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 2011 yılında Selçuk Üniversitesi’nden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2012 yılı Kasım ayında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2013 yılı Ocak ayında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’na yatay geçiş yaptı. Yazar, halen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

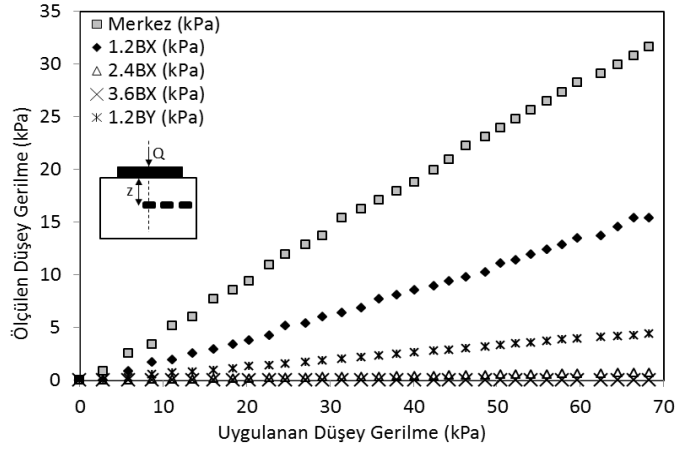
Ek 1. 10cmx30cm Dikdörtgen Kesitli Temelde Gerilme Analizi



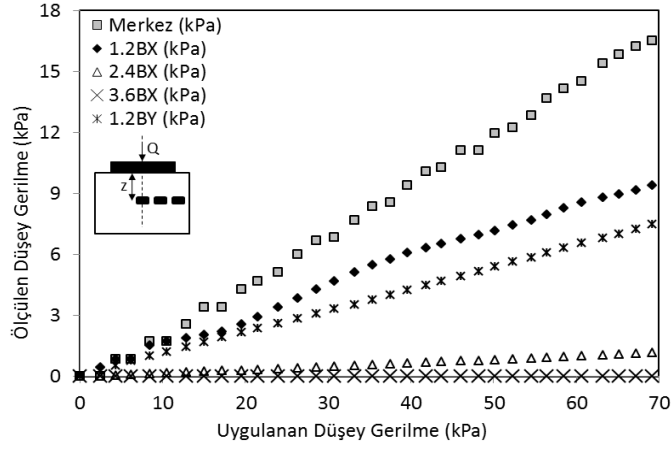
10cmx30cm model temel için yük-oturma ilişkisi



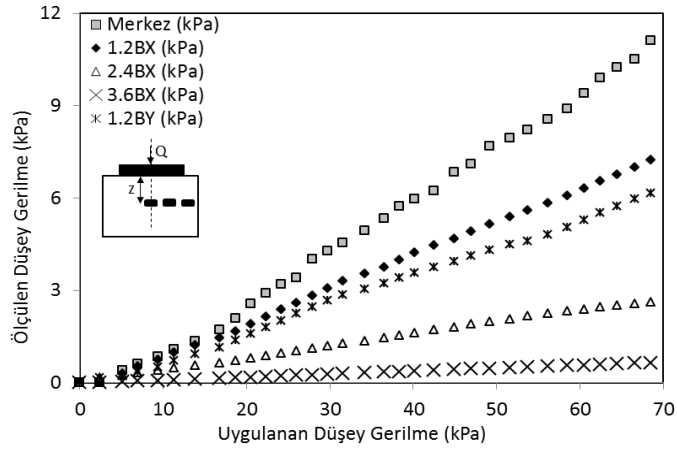
10cmx30cm model temelde yük $e/L=0$ durumunda (merkez yükleme) yükleme düzeneği



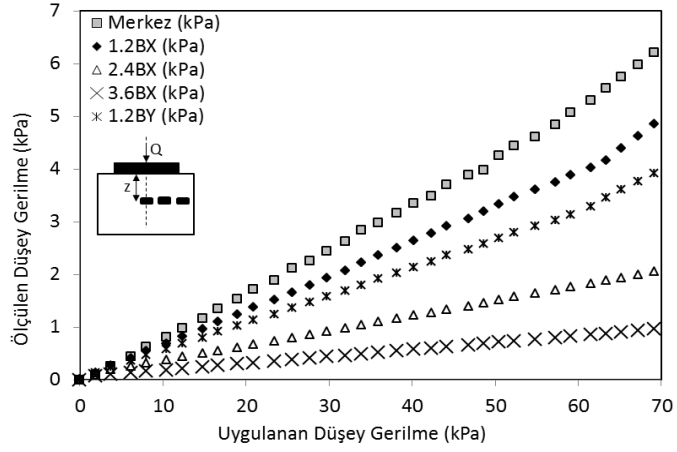
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=1B$ derinliğinde düşey gerilmeler



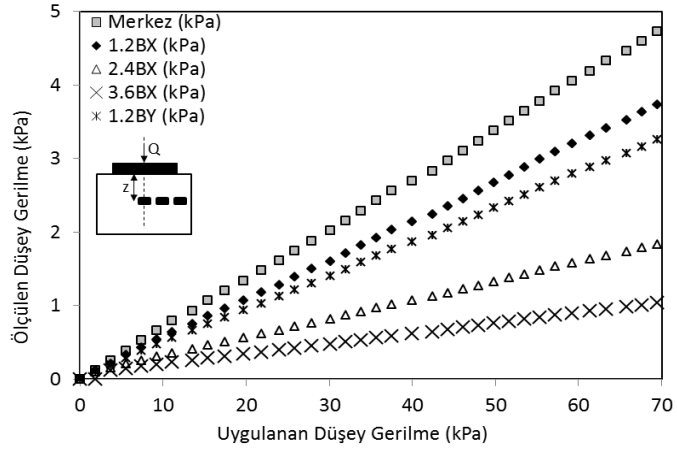
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler



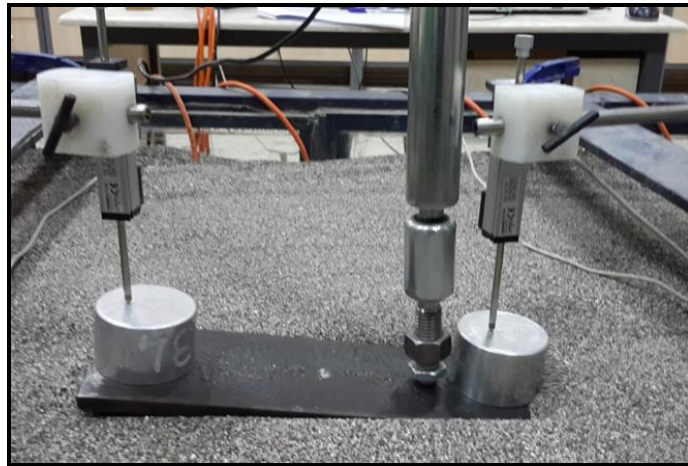
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler



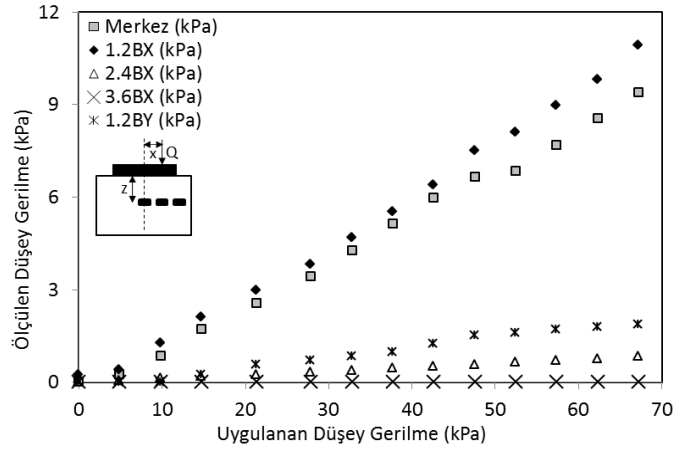
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler



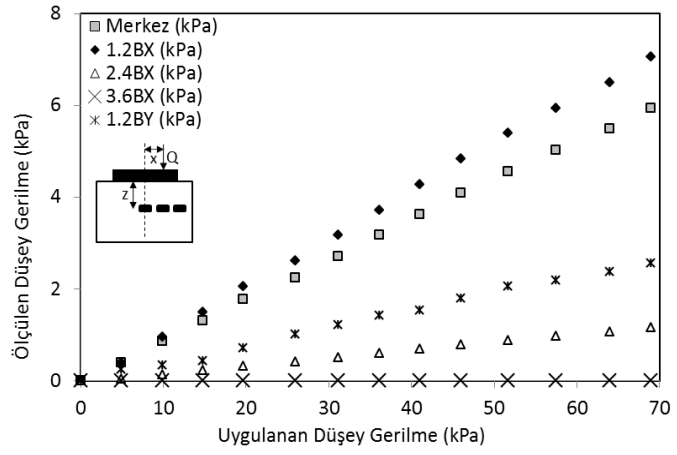
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



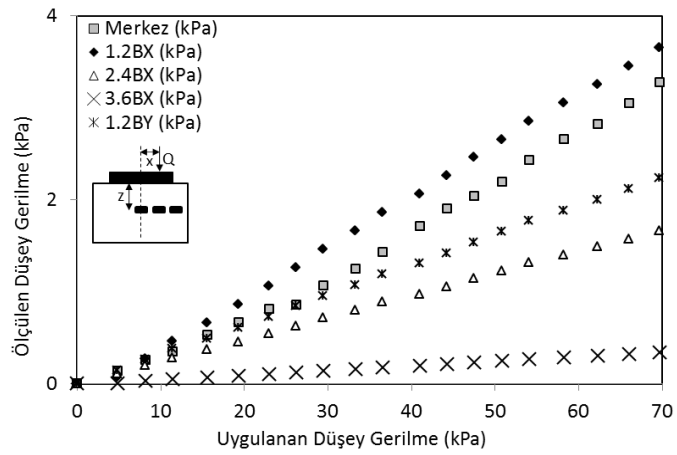
10cmx30cm model temelde yük $e/L=0.25$ durumunda yükleme düzeneği



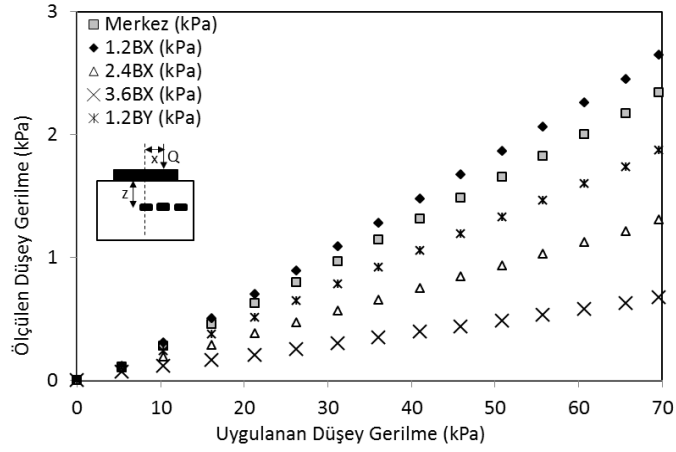
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=1B$ derinliğinde düşey gerilmeler



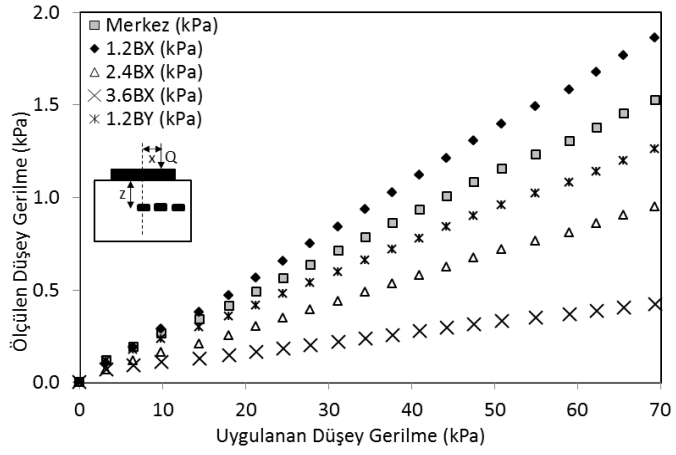
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler



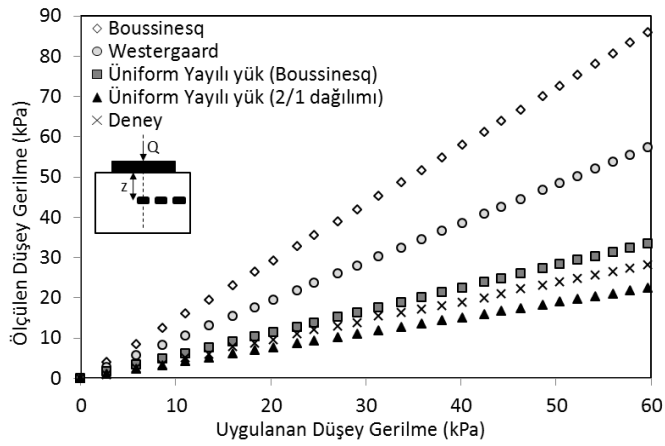
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler



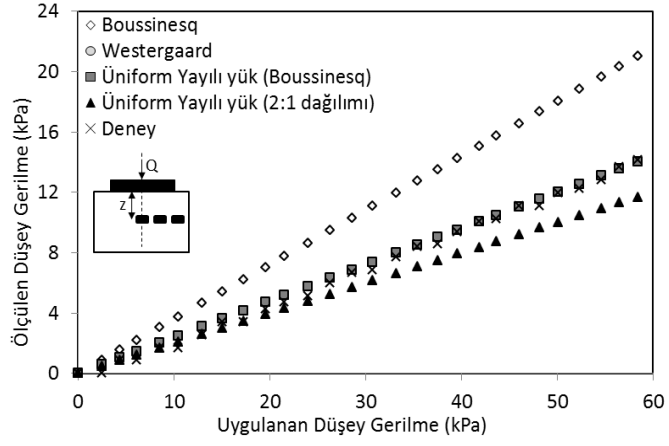
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler



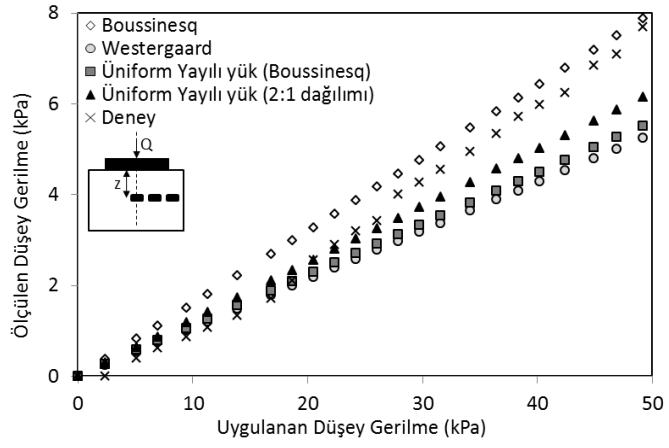
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



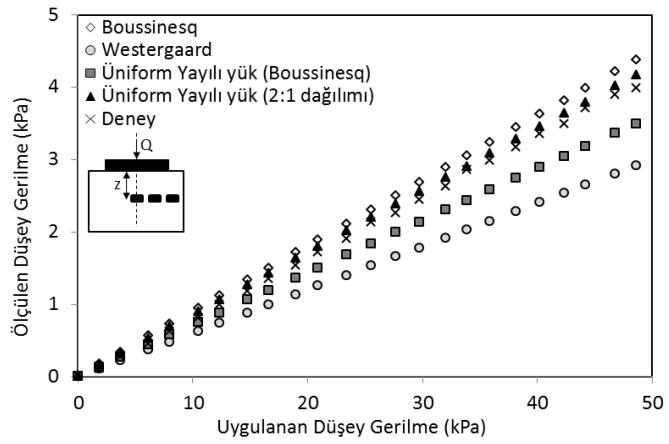
10cmx30cm dikdörtgen temel için $z=1B$ derinlikte literatür karşılaştırması



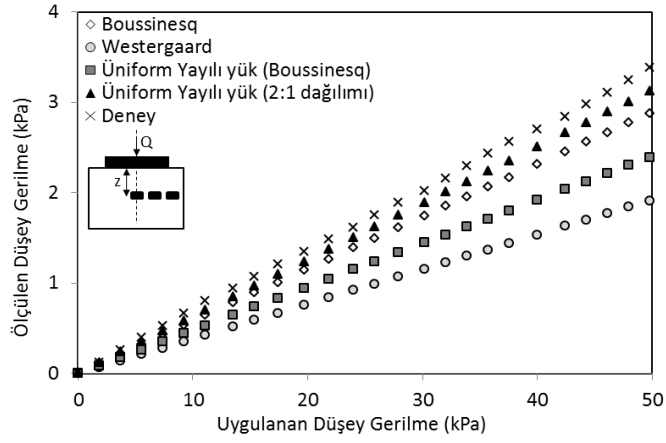
10cmx30cm dikdörtgen temel için $z=2B$ derinlikte literatür karşılaştırması



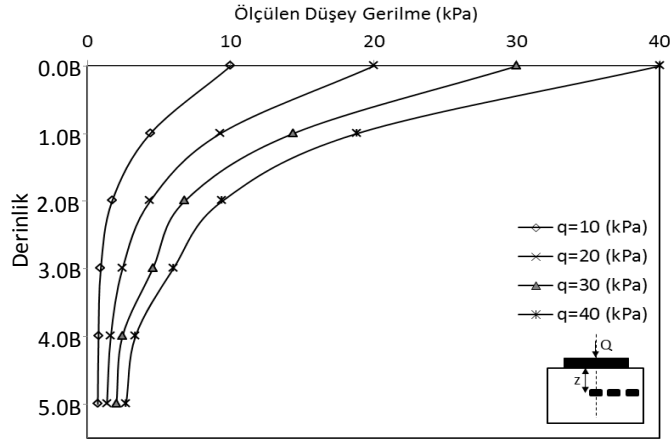
10cmx30cm dikdörtgen temel için $z=3B$ derinlikte literatür karşılaştırması



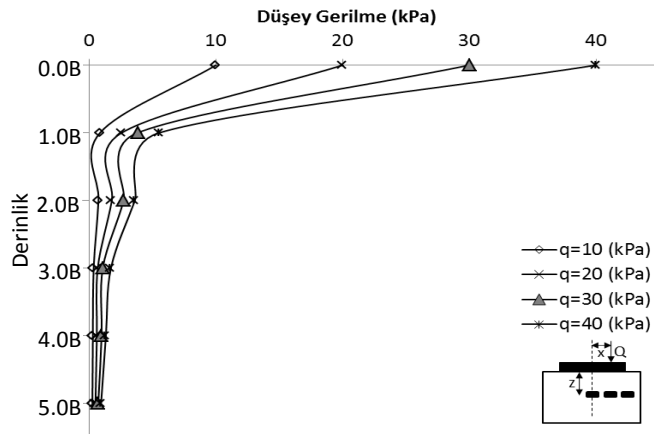
10cmx30cm dikdörtgen temel için $z=4B$ derinlikte literatür karşılaştırması



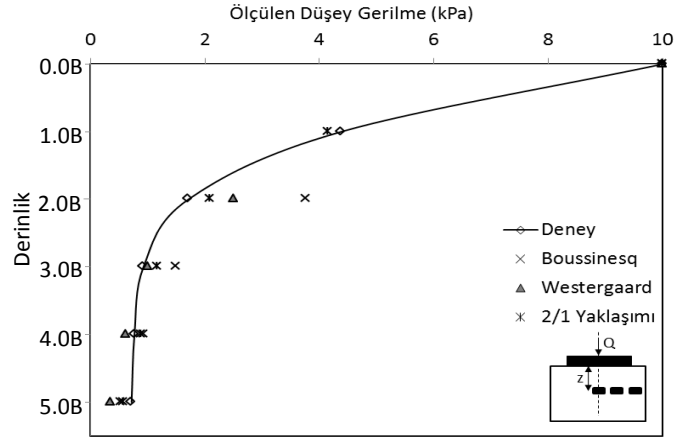
10cmx30cm dikdörtgen temel için $z=5B$ derinlikte literatür karşılaştırması



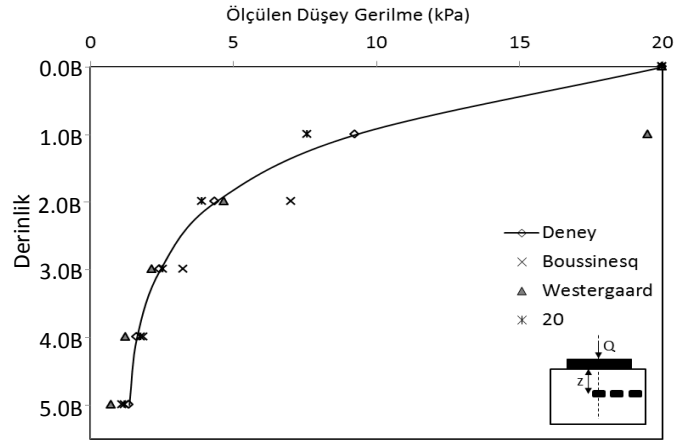
$e/L=0$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



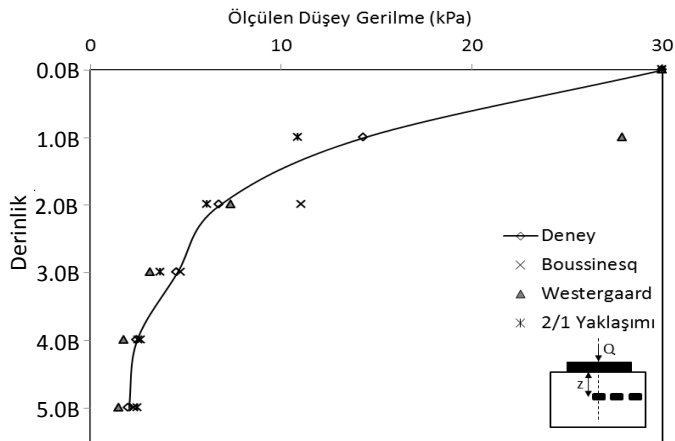
$e/L=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



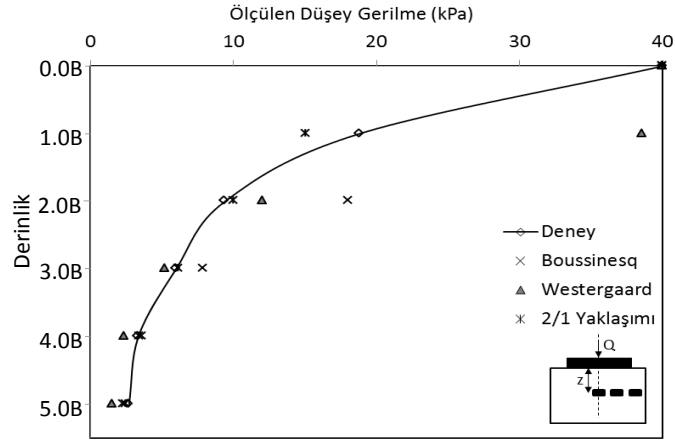
$e/L=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



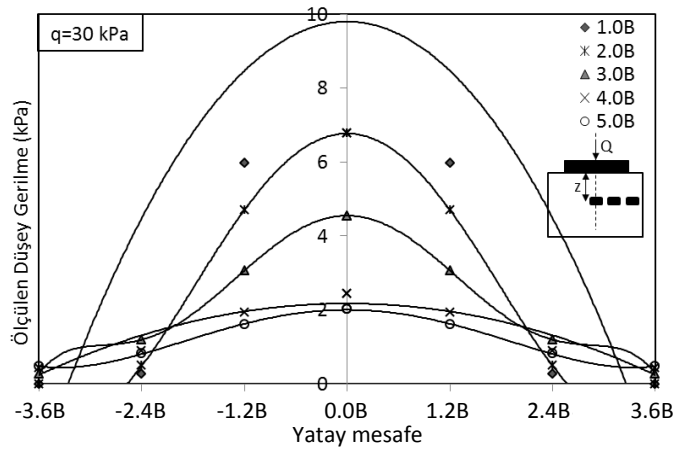
$e/L=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



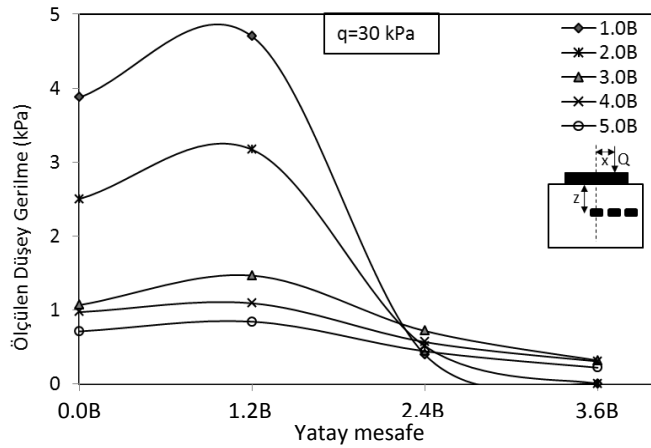
$e/L=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



$e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

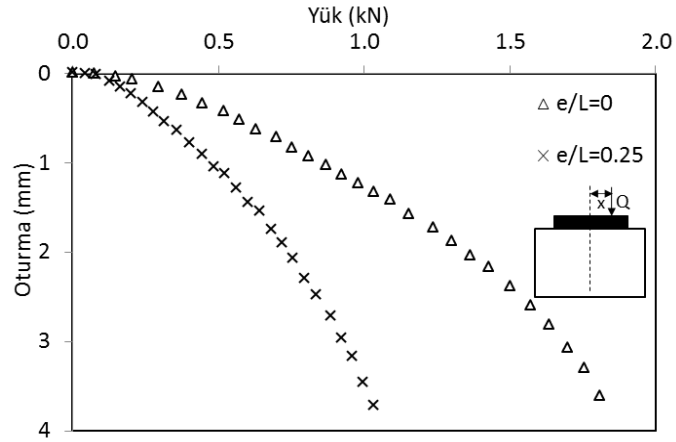


$e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması



$e/L=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

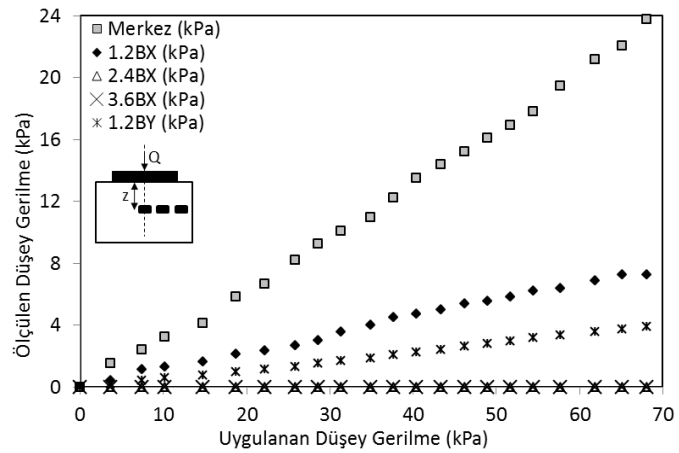
Ek 2. 10cmx20cm Dikdörtgen Kesitli Temelde Gerilme Analizi



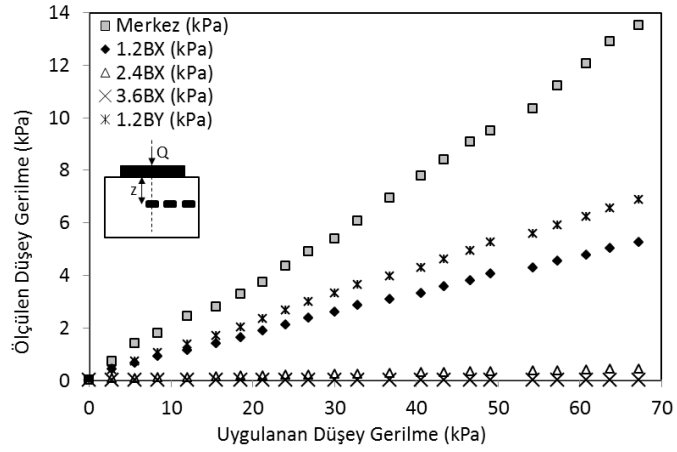
10cmx20cm model temel için yük-oturma ilişkisi



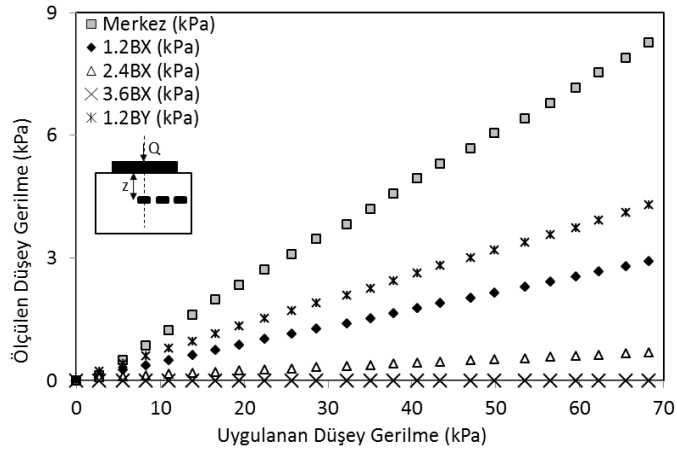
10cmx20cm model temelde yük e/B=0 durumunda (merkez yükleme) yükleme düzeneği



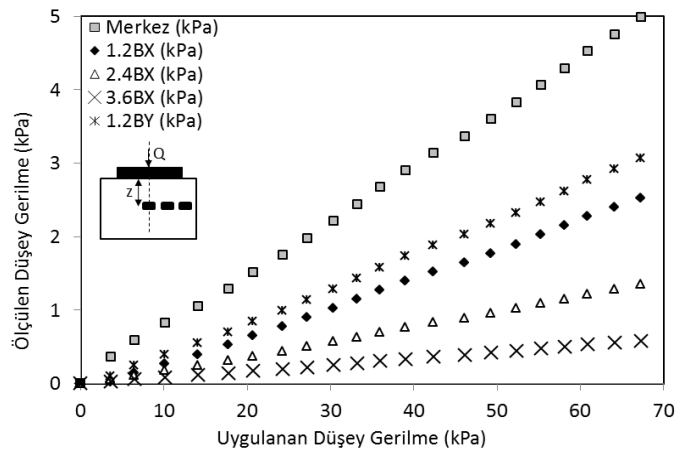
e/L=0 yükleme durumunda z=1B derinliğinde düşey gerilmeler



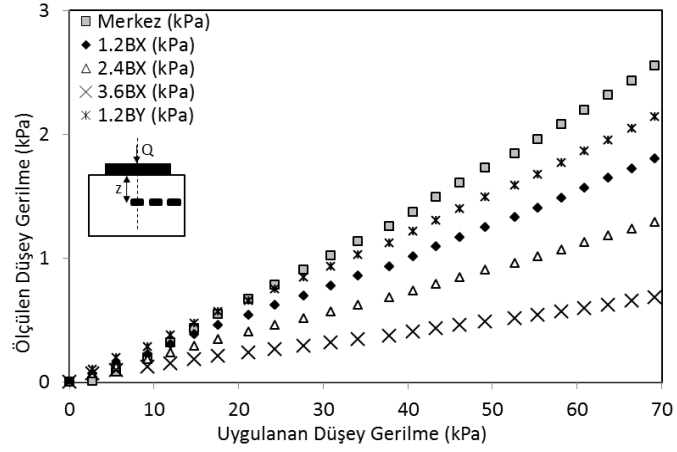
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler



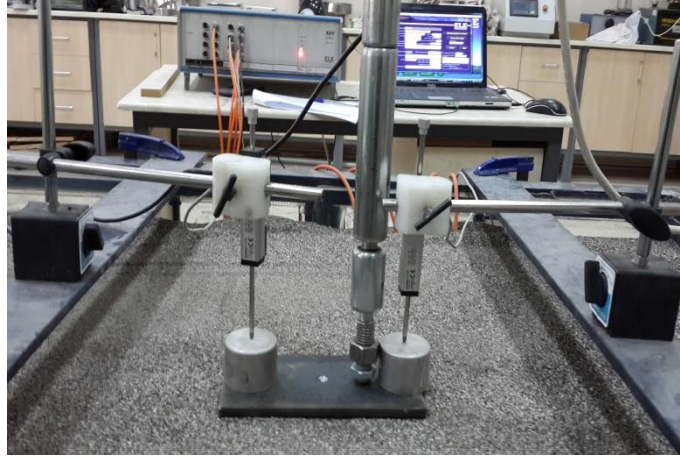
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler



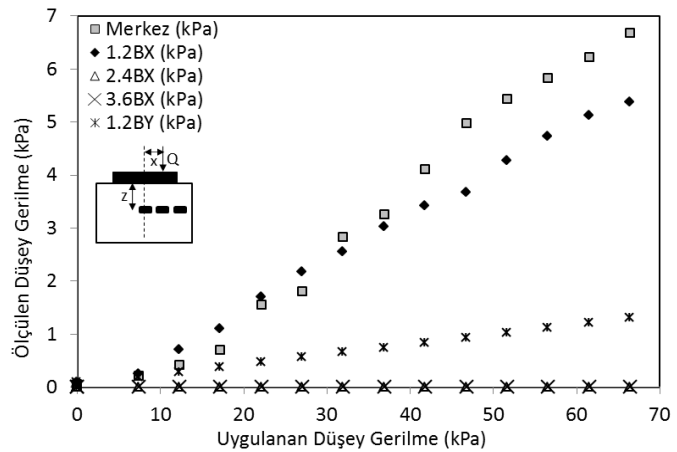
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler



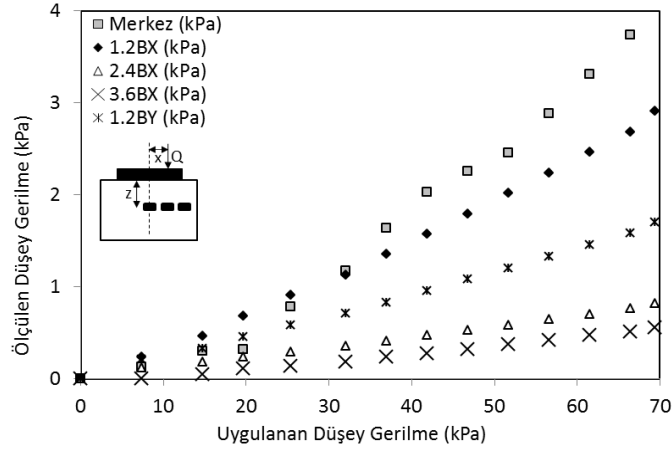
$e/L=0$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



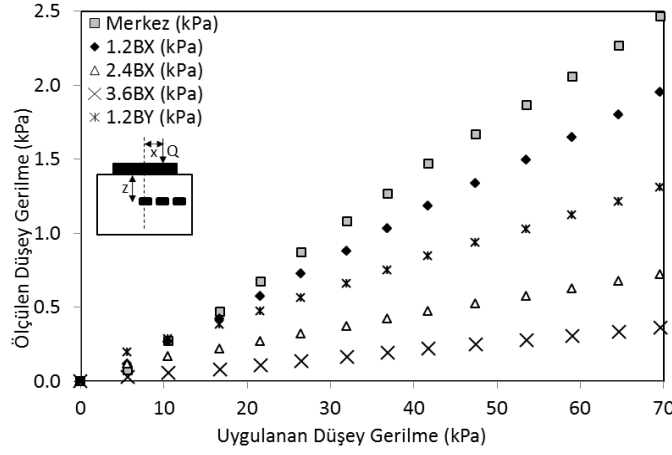
10cmx20cm model temelde yük $e/B=0.25$ durumunda yükleme düzeneği



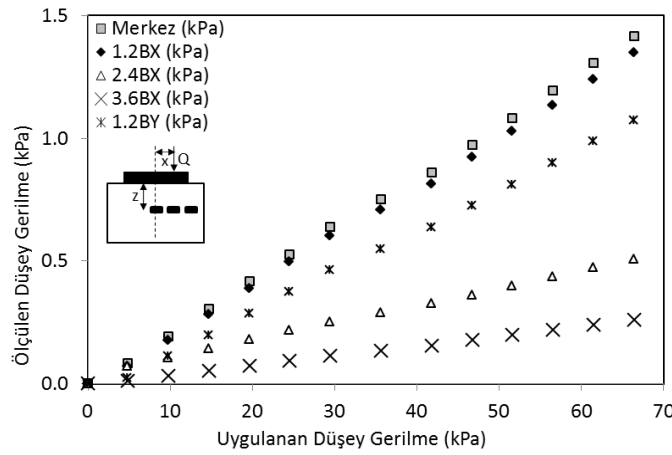
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=1B$ derinliğinde düşey gerilmeler



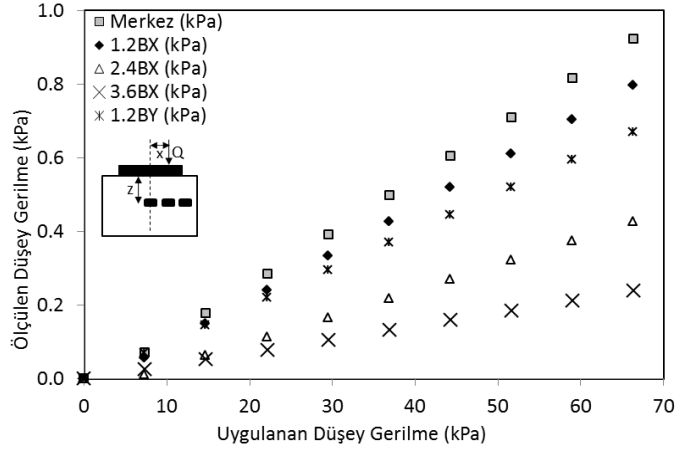
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=2B$ derinliğinde düşey gerilmeler



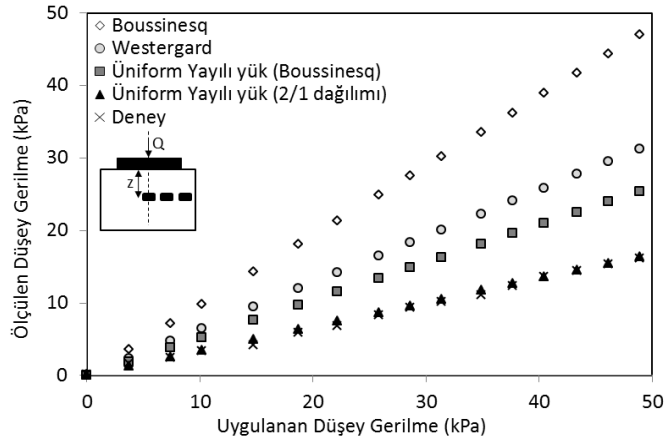
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=3B$ derinliğinde düşey gerilmeler



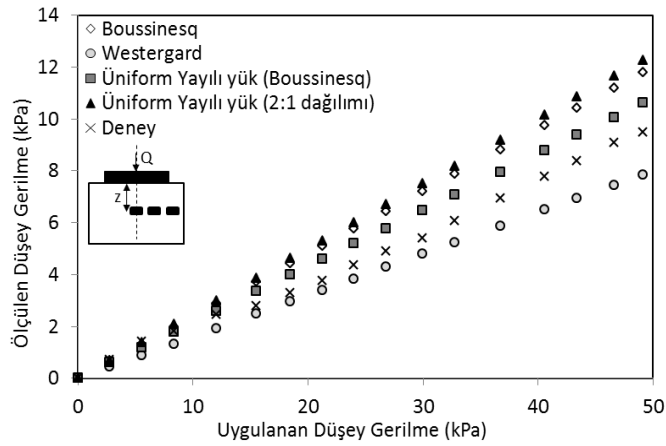
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=4B$ derinliğinde düşey gerilmeler



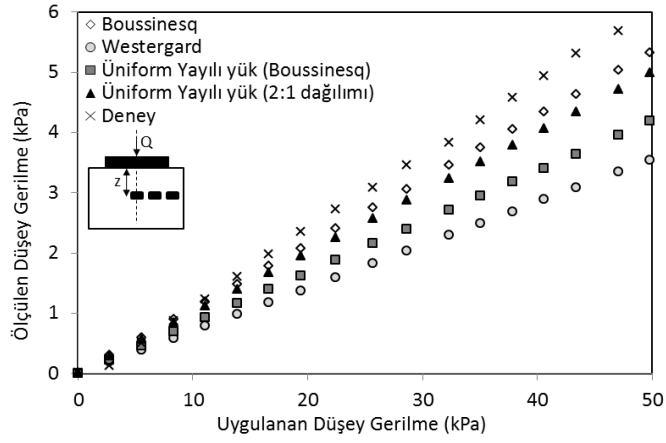
$e/L=0.25$ yükleme durumunda $z=5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



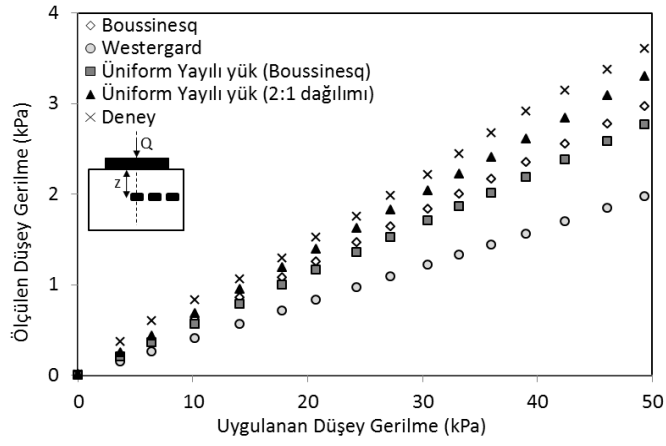
10cmx20cm dikdörtgen temel için $z=1B$ derinlikte literatür karşılaştırması



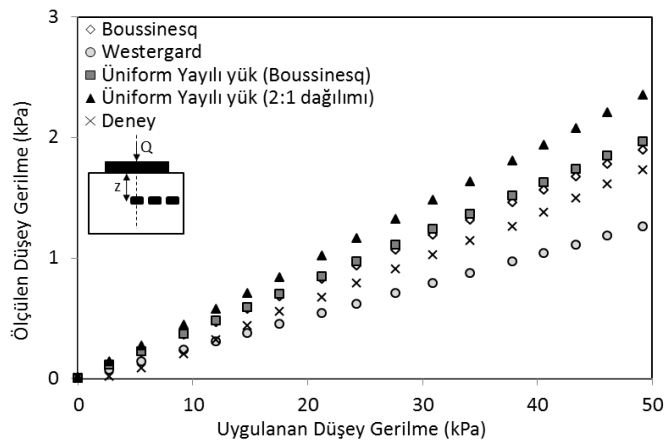
10cmx20cm dikdörtgen temel için $z=2B$ derinlikte literatür karşılaştırması



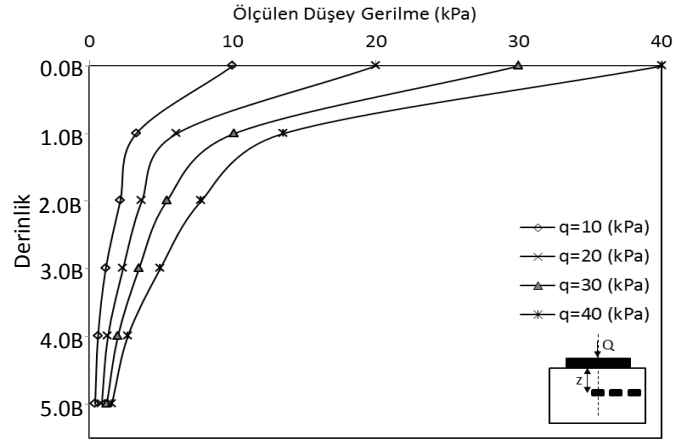
10cmx20cm dikdörtgen temel için $z=3B$ derinlikte literatür karşılaştırması



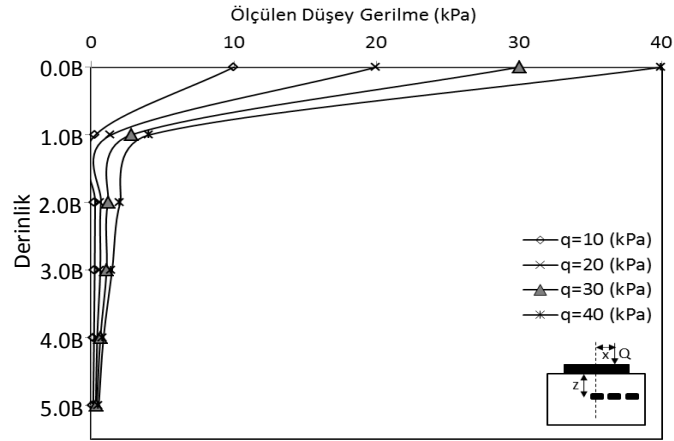
10cmx20cm dikdörtgen temel için $z=4B$ derinlikte literatür karşılaştırması



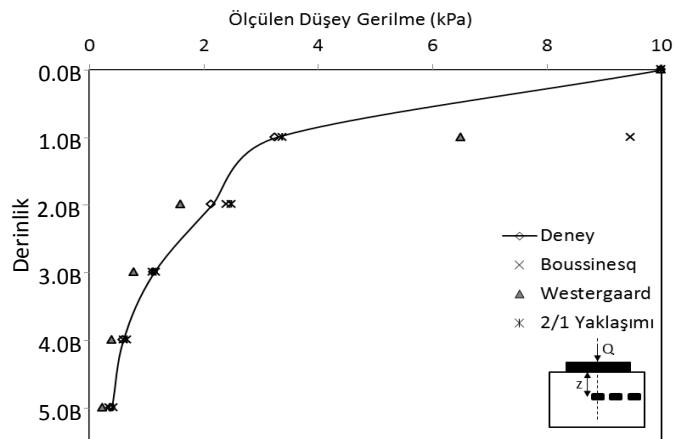
10cmx20cm dikdörtgen temel için $z=5B$ derinlikte literatür karşılaştırması



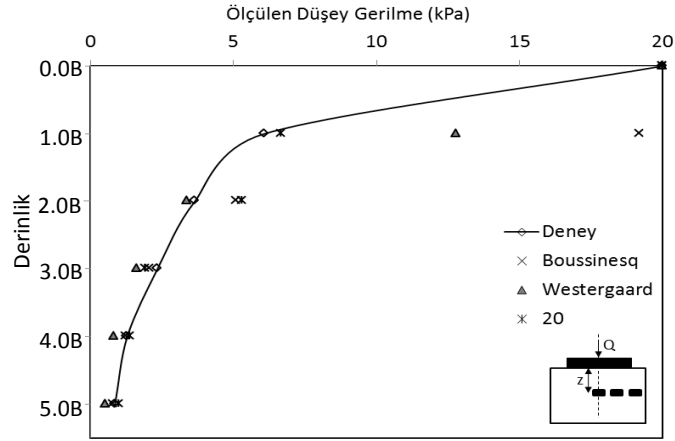
$e/L=0$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



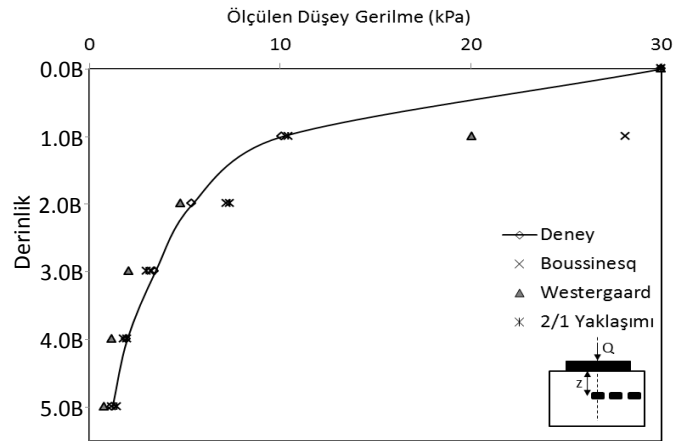
$e/L=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



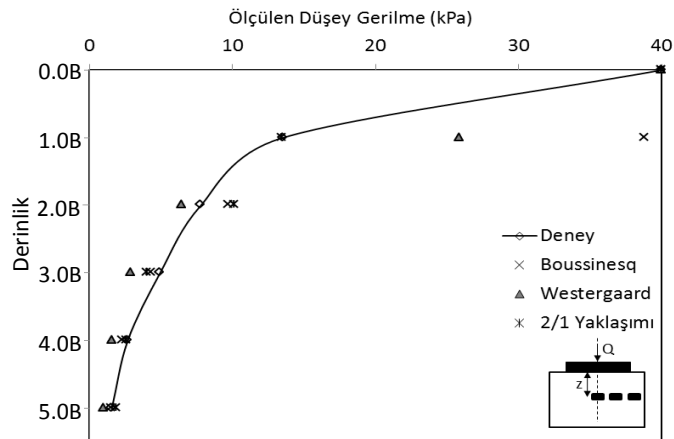
$e/L=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



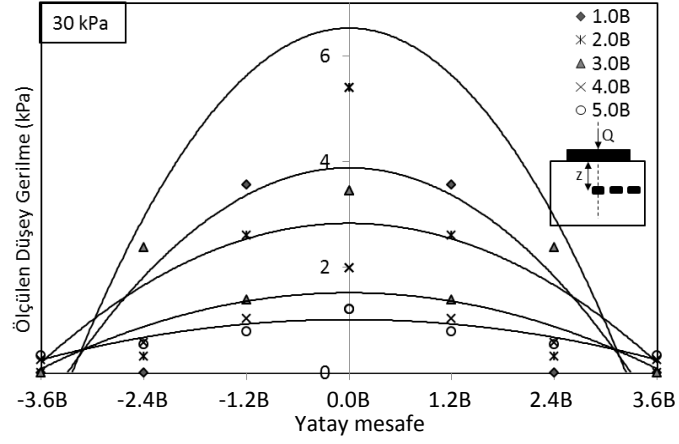
$e/L=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



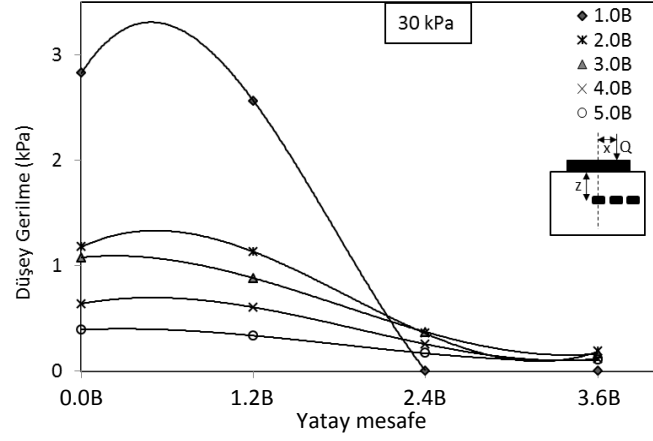
$e/L=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



$e/L=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması

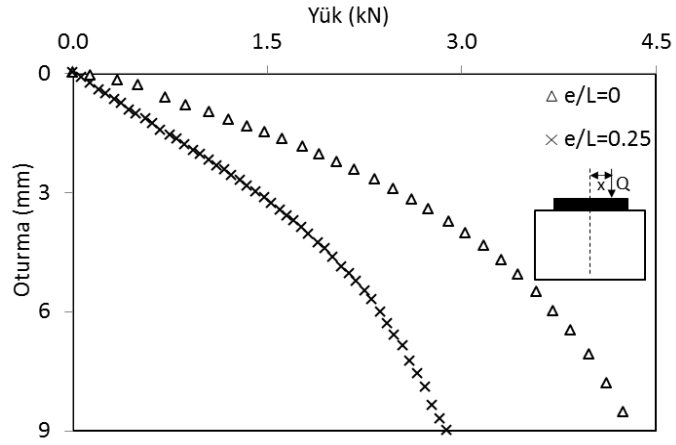


$e/L=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

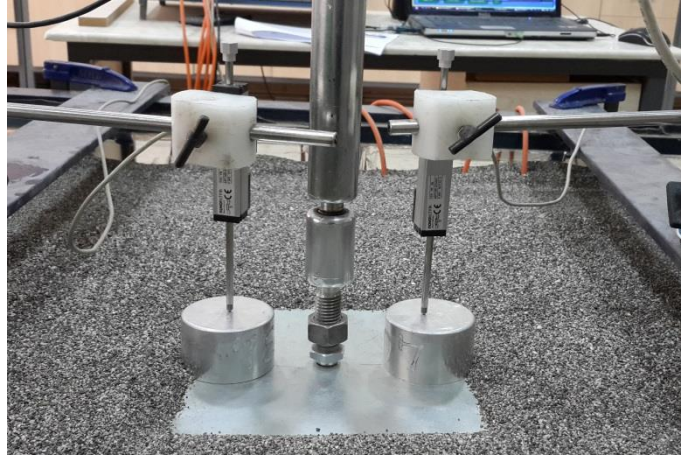


$e/L=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması

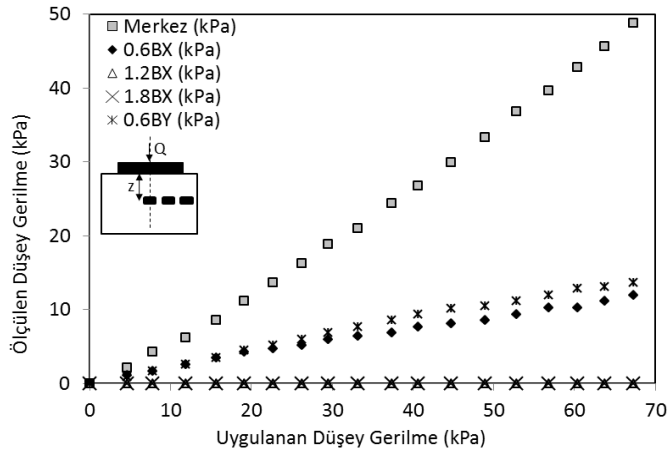
Ek 3. 20cmx20cm Kare Kesitli Temelde Gerilme Analizi



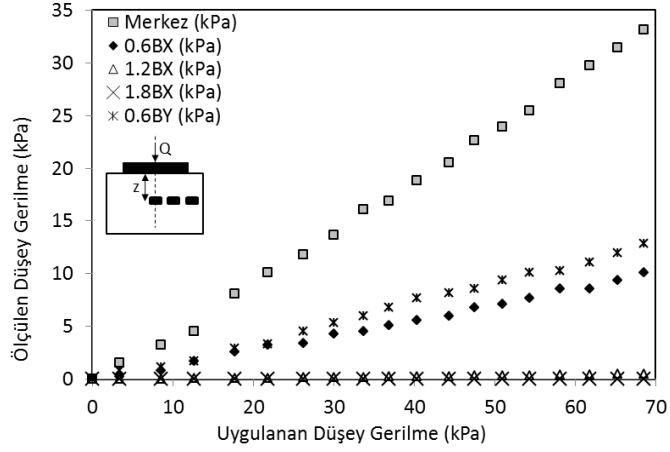
20cmx20cm model temel için yük-oturma ilişkisi



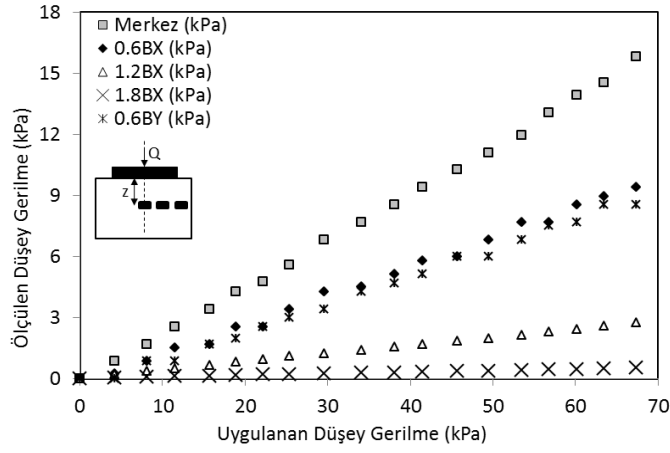
20cmx20cm model temelde yük $e/B=0$ durumunda (merkez yükleme) yükleme düzeneği



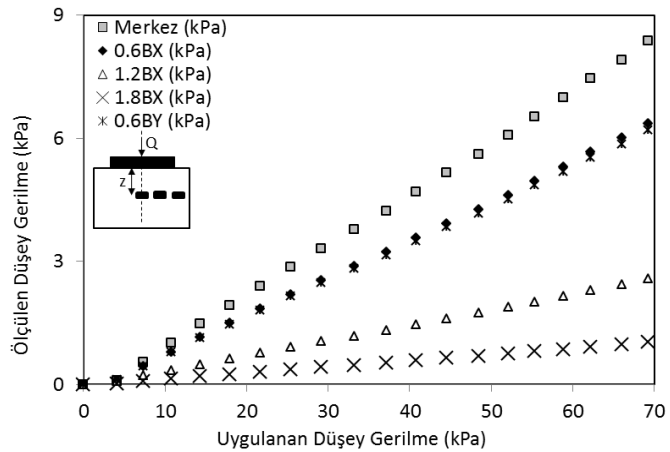
$e/B=0$ yükleme durumunda $z=0.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



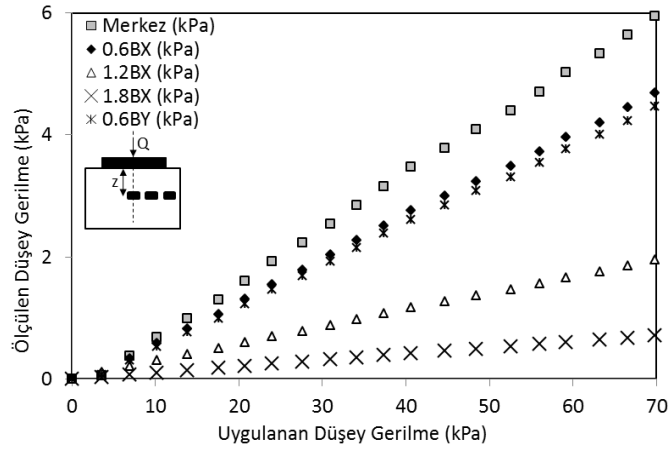
$e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler



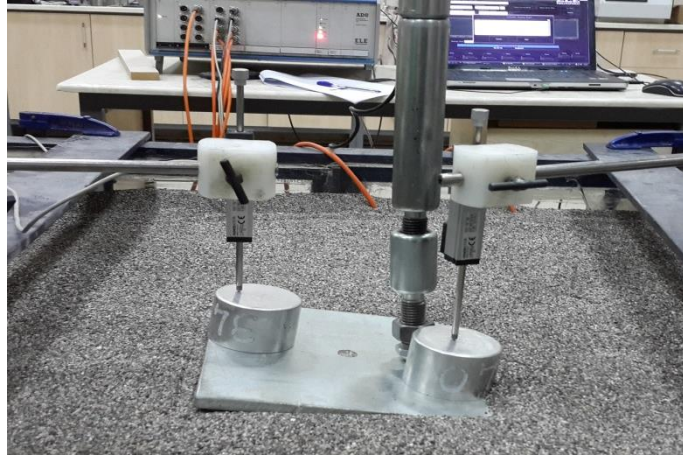
$e/B=0$ yükleme durumunda $z=1.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



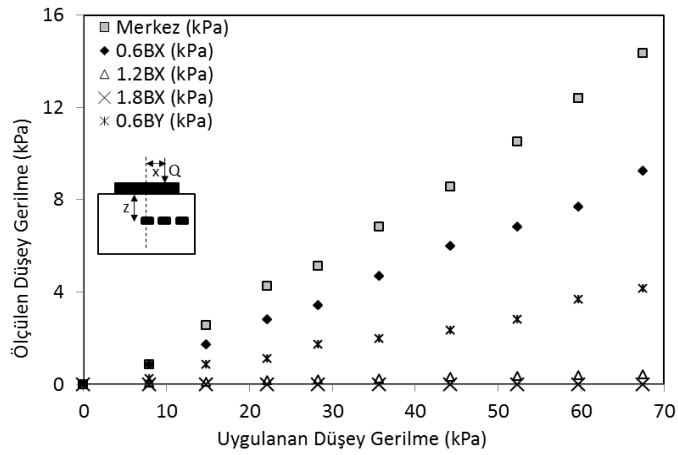
$e/B=0$ yükleme durumunda $z=2.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler



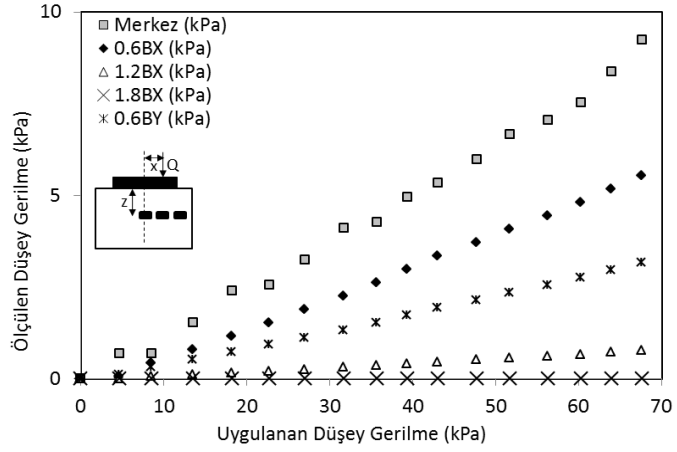
$e/B=0$ yükleme durumunda $z=2.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



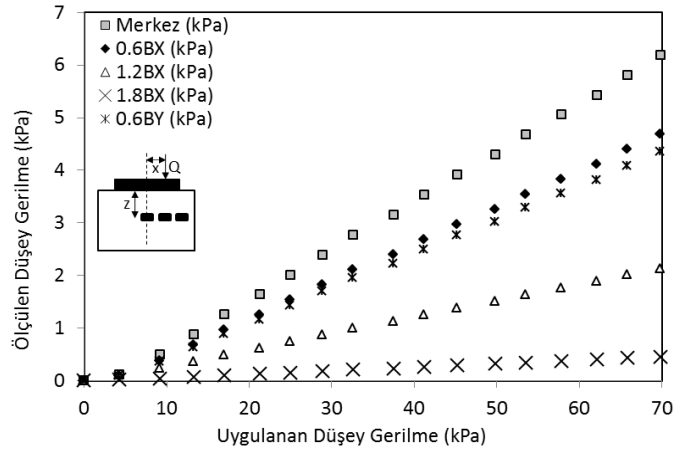
20cmx20cm model temelde yük $e/B=0.25$ durumunda yükleme düzeneği



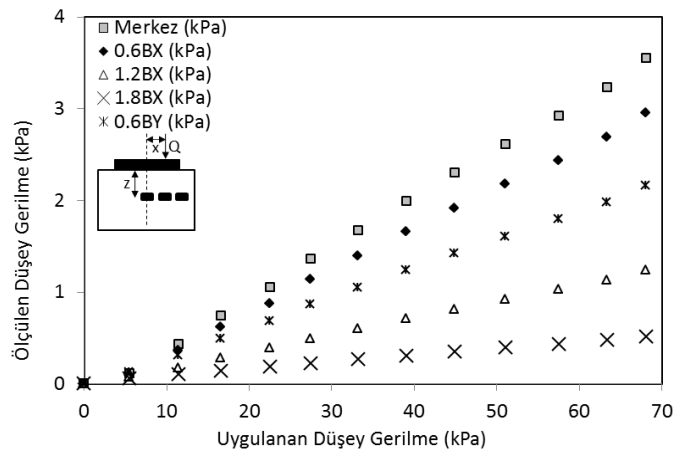
$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=0.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



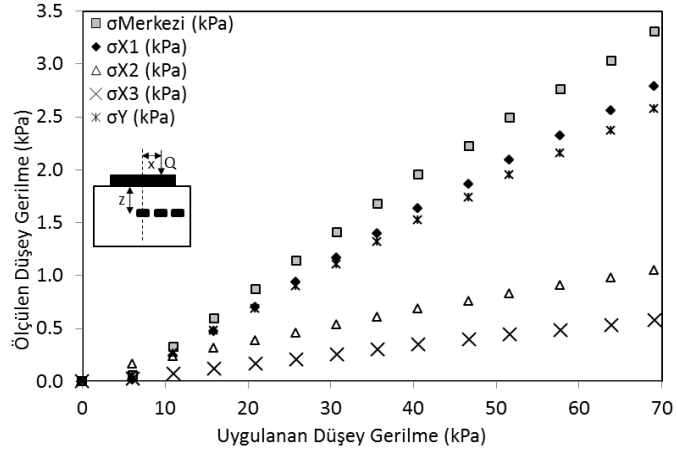
$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=1.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler



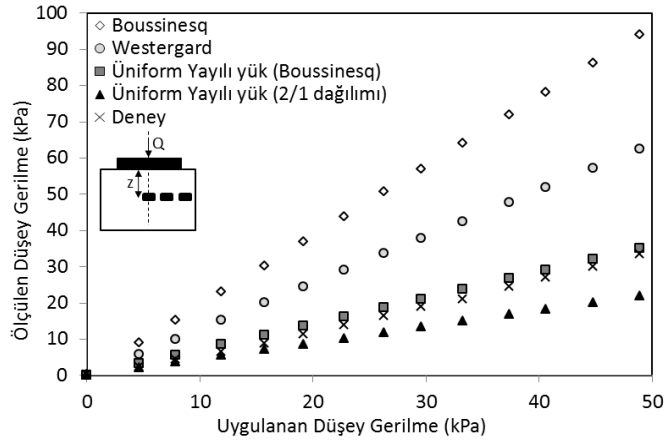
$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=1.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



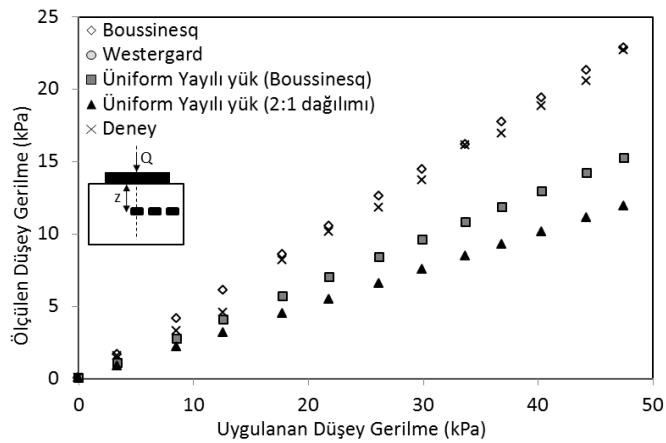
$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=2.0B$ derinliğinde düşey gerilmeler



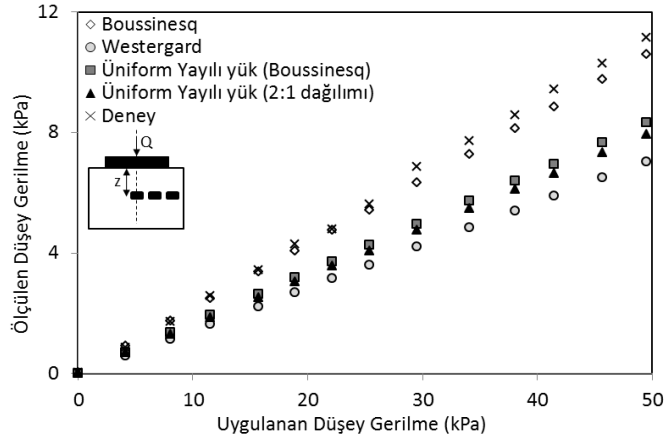
$e/B=0.25$ yükleme durumunda $z=2.5B$ derinliğinde düşey gerilmeler



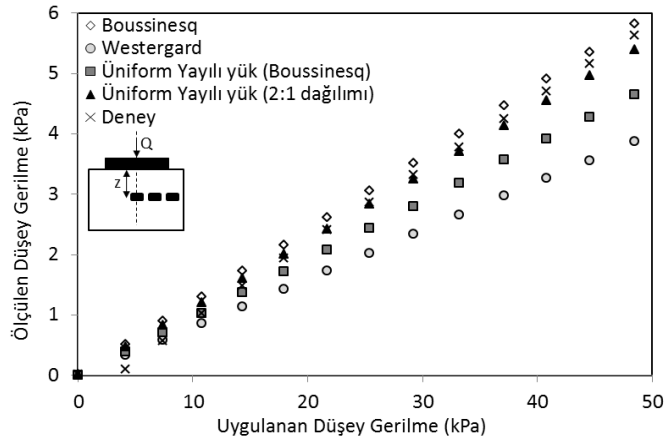
20cmx20cm kare temel için $z=0.5B$ derinlikte literatür karşılaştırması



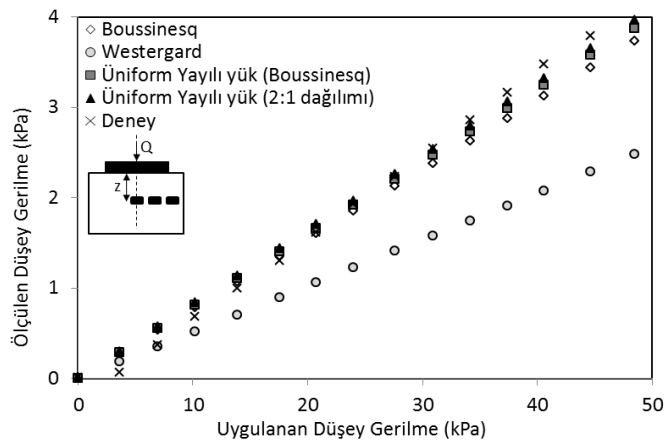
20cmx20cm kare temel için $z=1.0B$ derinlikte literatür karşılaştırması



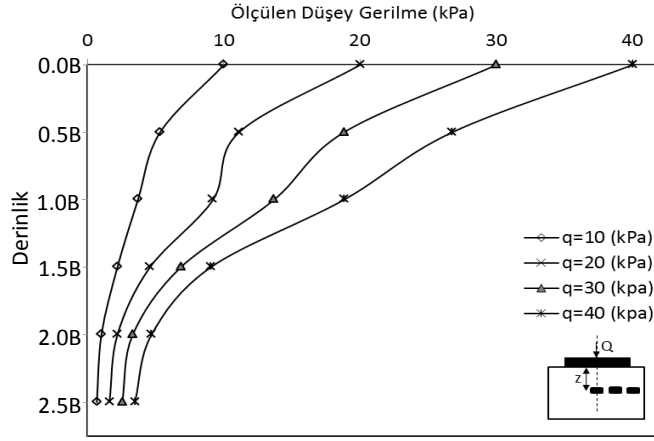
20cmx20cm kare temel için $z=1.5B$ derinlikte literatür karşılaştırması



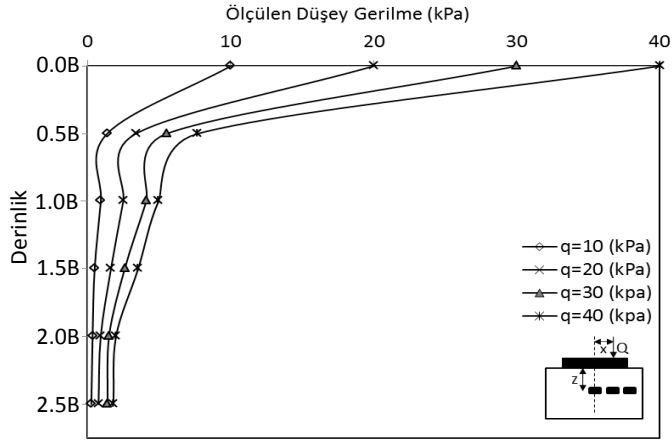
20cmx20cm kare temel için $z=2.0B$ derinlikte literatür karşılaştırması



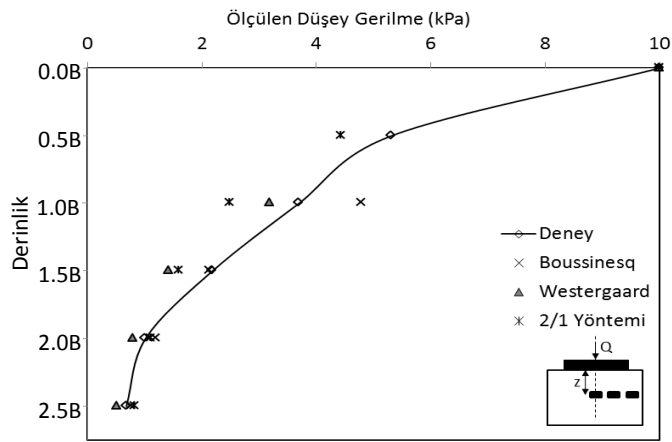
20cmx20cm kare temel için $z=2.5B$ derinlikte literatür karşılaştırması



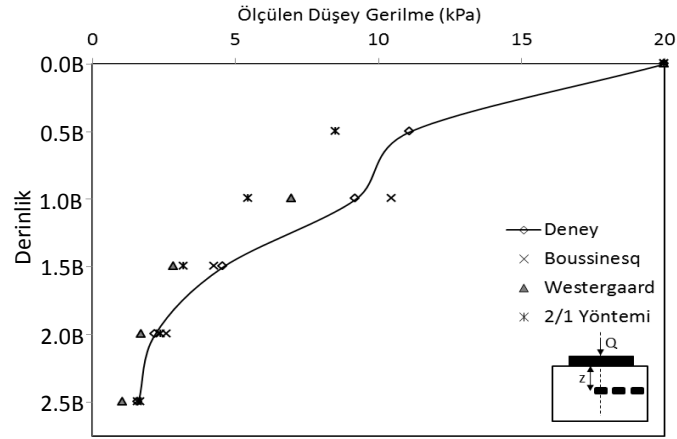
$e/B=0$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



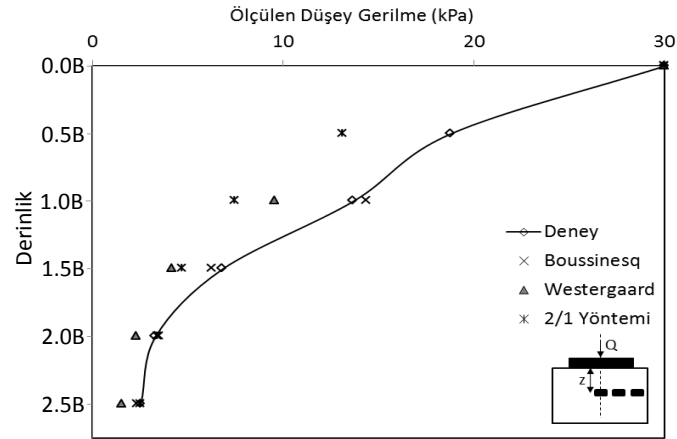
$e/B=0.25$ yükleme durumunda farklı derinliklerde ve yük değerlerinde oluşan düşey gerilmeler (merkez gerilme ölçer)



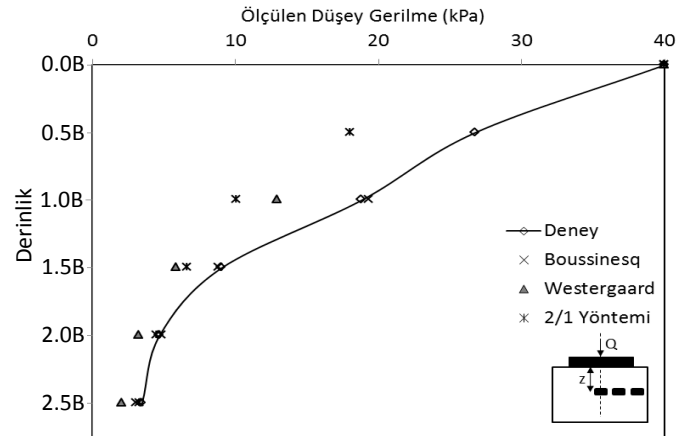
$e/B=0$ yükleme durumunda 10kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



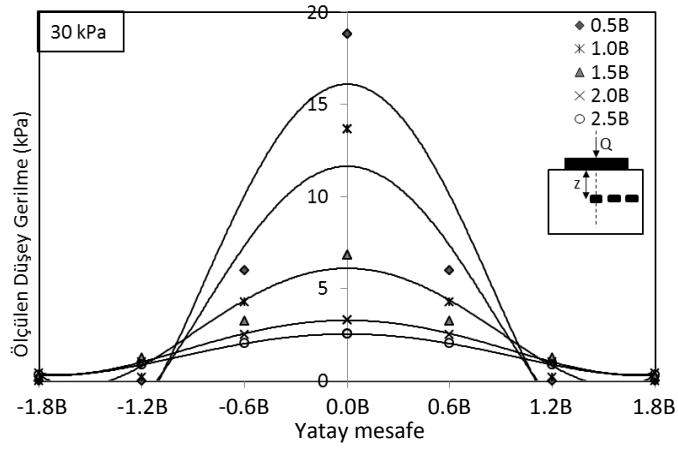
$e/B=0$ yükleme durumunda 20kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



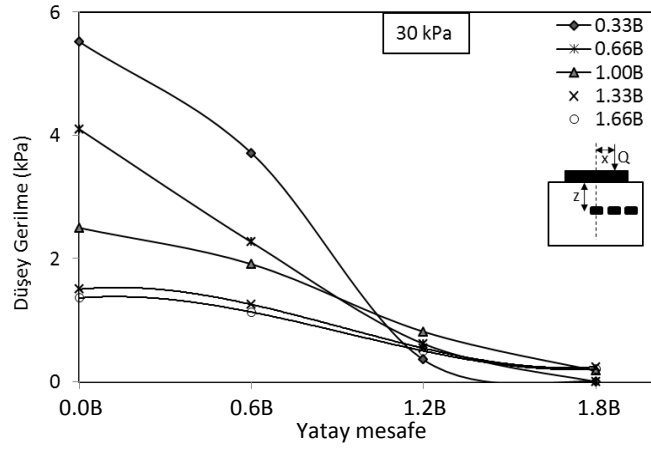
$e/B=0$ yükleme durumunda 30kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



$e/B=0$ yükleme durumunda 40kPa için farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmelerin teori ile karşılaştırılması



$e/B=0$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması



$e/B=0.25$ yükleme durumunda 5 farklı derinlikte, yatayda oluşan düşey gerilme değerlerinin karşılaştırılması