

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DONATILI KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE GERİLME DAĞILIŞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Bayram ATEŞ

HAZİRAN 2013
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DONATILI KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE GERİLME DAĞILIŞI

İnş. Müh. Bayram ATEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Ana Bilim Dalında

Bayram ATEŞ tarafından Hazırlanan

DONATILI KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE GERİLME DAĞILIŞI

**başlıklı bu çalışmada, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2013 gün ve 1507 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER

Üye : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilen bu çalışmada tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlanmama imkan tanıyan Sayın Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU'na sonsuz saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında her türlü bilgi, belge ve deneyimlerini benimle paylaşan çok değerli arkadaşım Sayın Arş. Gör. Ahmet KUVAT'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca hep yanımda olan, desteklerini hep hissettiren ve bütün zorluklara katlanarak yetişmemde en büyük rolü oynayan başta annem olmak üzere tüm aile bireylerime minnettarlığımı belirtir, sonsuz saygı ve sevgilerimi sunar; bu çalışmanın ülkemizin ve milletimizin yararına olmasını dilerim.

Bayram ATEŞ
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Donatılı Kohezyonsuz Zeminlerde Gerilme Dağılışı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2013

Bayram ATEŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Taban Basıncı	2
1.3. Yüzey Yüklerinden Oluşan Düşey Gerilme Artışları	4
1.3.1. Noktasal Yükten Kaynaklanan Gerilmeler.....	6
1.3.1.1. İzobarlar.....	8
1.3.1.2. Yatay Bir Düzlemde Düşey Gerilme Dağılışı	8
1.3.1.3. Düşey Bir Düzlemde Gerilme Dağılışı	9
1.3.2. Üniform Çizgisel Yükten Kaynaklanan Gerilme Dağılışı	9
1.3.3. Üniform Şerit Yük.....	10
1.3.4. Üçgen Şerit Yük	11
1.3.5. Yamuk Şerit Yük	12
1.3.6. Üniform Yüklü Dairesel Alan	13
1.3.7. Üniform Yüklü Dikdörtgen Alan	14
1.3.8. Newmark Etki Diyagramı	16
1.3.9. Yaklaşık Yöntem	18
1.3.10. Eşdeğer Tekil Yük Yöntemi.....	19
1.4. Sınırlı Tabaka Çözümleri	20
1.4.1. Üniform Şerit Yük Durumu	20
1.4.2. Üçgensel Yük Durumu.....	21

1.4.3.	Üniform Dairesel Yayılı Yük Durumu.....	23
1.4.4.	Üniform Dikdörtgen Yayılı Yük Durumu.....	24
1.5.	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilmelerin Hesabı.....	27
1.6.	Geosentetik Malzemeler.....	28
1.6.1.	Geotekstiller	29
1.6.1.1.	Örgülü Geotekstiller	30
1.6.1.2.	Örgüsüz Geotekstiller.....	31
1.6.1.3.	Geotekstillerin Genel Özellikleri.....	32
1.6.1.4.	Geotekstillerin Fonksiyonları	33
1.6.2.	Geogridler.....	34
1.6.3.	Geonet	35
1.6.4.	Geomembran	36
1.6.5.	Geokompozitler	37
1.6.6.	Geohücre	38
1.7.	Literatür İncelemesi.....	39
1.7.1.	Donatılı Zeminde Yapılan Çalışmalar	39
1.7.2.	Zeminde Gerilme Dağılımları ile İlgili Yapılan Çalışmalar	53
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	56
2.1.	Giriş.....	56
2.2.	Deney Düzeneği	56
2.2.1.	Deney Tankı	56
2.2.2.	Model Şerit Temel.....	58
2.2.3.	Deneylerde Kullanılan Kumun Özellikleri.....	59
2.2.4.	Örgülü Geotekstil	64
2.2.5.	Yükleme Düzeneği	65
2.2.6.	Yük Halkası.....	66
2.2.7.	Basınç Ölçerler	67
2.2.8.	Veri Toplama Sistemi ve CoDA Locomotive Programı	67
2.3.	Bir Deneyin Yapılışı.....	68
2.4.	ANSYS Programı ile Yapılan Modelleme ve Çözümleri	71
2.5.	Boussinesq Yöntemi ile Düşey Gerilmelerin Hesabı	76
2.6.	Sınırlı Tabaka Yöntemi İle Düşey Gerilmelerin Hesabı	76
3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR	78

3.1.	B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları	78
3.2.	2B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları	80
3.3.	3B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları	84
3.4.	Farklı Rölatif Sıkılıklardaki Donatılı Zeminin Basınç Soğanları.....	85
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
5.	KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ		

DONATILI KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE GERİLME DAĞILIŞI

Bayram ATEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
2013, 88 Sayfa

Teknolojinin gelişmesi insanoğluna daha geniş, daha ağır ve daha karmaşık yapılar yapma fırsatı vermiştir. Artan ve karmaşık hale gelen yükleri zemine aktarma problemi ile karşılaşan geoteknik mühendisleri, zemini iyileştirmek, zeminde meydana gelecek oturmaları ve gerilme dağılımlarını tespit etmek kaçınılmaz hale gelmiştir. Son yıllarda zemini iyileştirmede kullanımı artan bir yapı malzemesi olan geotekstiller, zeminlerin taşıma gücünü etkilemektedir. Zeminde meydana gelecek oturmalar açısından gerilme dağılışı ve taşıma gücü temel tasarımının en önemli parametrelerden birkaçıdır. Bu çalışmada donatılı kohezyonsuz zemin yüzeyine oturan model şerit temelle düzlem deformasyon koşullarında deneyler yapılmış ve uygulanan düşey yükten dolayı zeminde belirli noktalarda meydana gelen düşey gerilme artışları tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, üç farklı rölatif sıkılıkta geotekstille güçlendirilmiş kum tabakalarında, önceden belirlenen noktalara yerleştirilen basınç ölçerler yardımıyla gerilme artışları kaydedilmiştir. Daha sonra model deney düzeneği ANSYS programı ile modellenip analiz edilerek düşey gerilme artışları hesaplatılmıştır. Ayrıca model zeminin, Elastisite Teorisine dayalı olarak geliştirilen analitik yöntemler ile gerilme dağılışı hesaplanmıştır. Elde edilen tüm bu değerler incelendiğinde, rölatif sıkılığın donatılı zemindeki gerilme dağılışı etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, yaygın kullanılan Elastisite Teorisine dayalı çözümlerin düşük rölatif sıkılıktaki donatılı zeminlerde oldukça hatalı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düşey Gerilme Artışı, ANSYS, Basınç Ölçer, Donatılı Zemin

Master Thesis

SUMMARY

STRESS DİSTRUBITIONS IN REINFORCEMENT AND COHESIONLESS SOILS

Bayram ATEŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
2013, 88 Pages

Development of technology gives the opportunity to mankind to build larger, heavier and more complex structures. For geotechnical engineers, faced with transferring the loads that is more complex and increasing, stabilization of soil, and determination of stress distribution and settlement has become inevitable. Geotextiles which have been used in soil stabilization increasingly in recent years affect bearing capacity of soil. Stress distribution in terms of settlement calculation and bearing capacity are some of the most important parameters for foundation design. In this study, several tests were carried out with model strip footing in plane strain conditions in reinforced cohesionless soil and the vertical stress increments occurred in the soil medium due to applied vertical surface loads were determined at several specific locations. In experimental studies, the sand reinforced with geotextile sheet was placed in layers in a tank with three different relative densities and additional vertical stress increments were measured by strain gauges placed at predetermined locations. Subsequently, vertical stress increments were obtained from modeling and analyzing the experimental setup with ANSYS. Additionally vertical stress distribution in soil was calculated with analytical methods based on elasticity theory. As the findings obtained from these studies were examined, it was understood that relative density is a very effective parameters for stress distribution in soils. However, methods based on elasticity theory give rather erroneous results in low relative density reinforced soil.

Key Words: Stress Increment, ANSYS, Strain Gauges, Vertical Stress Distrubition, Reinforced soil

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Rijit bir temel altında taban basıncı dağılışı	3
Şekil 1.2.	Doğrusal kabule göre düşey tekil yük için taban basıncı dağılışı	3
Şekil 1.3.	Zeminde mevcut ve ilave düşey gerilmeler	4
Şekil 1.4.	Bazı yüzey yükleri	5
Şekil 1.5.	Zemin içinde tekil yükten dolayı oluşan gerilmeler	6
Şekil 1.6.	Noktasal yükten kaynaklanan izobarlar	8
Şekil 1.7.	Üniform kare ve üniform şerit yükten kaynaklanan izobarlar	8
Şekil 1.8.	Tekil yükten dolayı oluşan yatay doğrultuda düşey gerilme dağılışı	9
Şekil 1.9.	Tekil yükten dolayı oluşan düşey gerilme dağılışı	9
Şekil 1.10.	Çizgisel yükten kaynaklanan düşey ve yatay gerilme artışları	10
Şekil 1.11.	Şerit yükten kaynaklanan düşey ve yatay gerilme artışları	11
Şekil 1.12.	Üçgen şerit yükten kaynaklanan düşey gerilme artışları	12
Şekil 1.13.	Yamuk şerit yük ve eşdeğerleri	13
Şekil 1.14.	Üniform yüklü dairesel alanın merkezi altındaki gerilme dağılımı	13
Şekil 1.15.	Üniform yüklü dikdörtgen alanın bir köşesi altında düşey gerilme artışı	14
Şekil 1.16.	Bölgelere ayırma	16
Şekil 1.17.	Newmark etki diyagramı	17
Şekil 1.18.	Düşeyle 26,5 derecelik dağılış yöntemi	18
Şekil 1.19.	Düşeyle 30 derecelik dağılış yöntemi	19
Şekil 1.20.	Eşdeğer tekil yük yöntemi	19
Şekil 1.21.	Üniform çizgisel yük durumu	20
Şekil 1.22.	Poisson oranı (μ) 0.2 için etki faktörü eğrileri	21
Şekil 1.23.	Poisson oranı (μ) 0.4 için etki faktörü eğrileri	21
Şekil 1.24.	Üçgensel yük ile yüklü ile sınırlı tabaka	22
Şekil 1.25.	Üçgensel yükün merkezi altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$)	22
Şekil 1.26.	Üçgensel yükün kenar noktaları altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$)	23
Şekil 1.27.	Dairesel alan yükleme ile yüklü sınırlı tabaka	23

Şekil 1.28. Dairesel alanın merkezi altında oluşabilecek düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$)	24
Şekil 1.29. Dairesel alanın kenar noktaları altında oluşabilecek düşey gerilme artışı değerleri ($\Delta\sigma_z$)	24
Şekil 1.30. Üniform dikdörtgen alan ile yüklü sınırlı tabaka	25
Şekil 1.31. $z=0.2h$ için dikdörtgen alanın köşe noktaları altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$)	26
Şekil 1.32. Örgülü geotekstil	30
Şekil 1.33. Örgüsüz geotekstil	31
Şekil 1.34. Geotekstillerin fonksiyonları	33
Şekil 1.35. Geogrid	35
Şekil 1.36. Değişik geonet çeşitleri	35
Şekil 1.37. Geonet saha uygulaması	36
Şekil 1.38. Geomembranın saha uygulaması	37
Şekil 1.39. Tünel inşaatında geokompozit kullanımı	38
Şekil 1.40. Geohücre	38
Şekil 1.41. Geohücre uygulaması	39
Şekil 1.42. Çelik model temellerin detayları	45
Şekil 1.43. İlk donatı derinliğinin taşıma gücüne etkisi	45
Şekil 1.44. Tabaka sayısı ile taşıma gücü arasındaki ilişki.....	46
Şekil 1.45. u/B sonuçlarının karşılaştırılması	47
Şekil 1.46. Donatı sayısının karşılaştırılması	47
Şekil 1.47. Yük-Oturma eğrisi	48
Şekil 1.48. Donatısız deneylerin Yük-Oturma Eğrileri	49
Şekil 1.49. Donatılı deneylerin Yük-Oturma eğrileri	50
Şekil 1.50. Temel genişliği ve değişim indeksleri arasındaki grafik	50
Şekil 1.51. Temel derinliği ve değişim indeksleri arasındaki grafik	51
Şekil 1.52. İlk donatı derinliğinin taşıma gücüne etkisi.....	52
Şekil 1.53. Donatı tabaka sayısının taşıma gücüne etkisi	52
Şekil 2.1. Deney tankı	57
Şekil 2.2. Model şerit temel	58
Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan model şerit temel	58
Şekil 2.4. Kumun granülometri eğrisi.....	59
Şekil 2.5. $Dr=0.25$ için kesme kutusu deney sonuçları.....	61
Şekil 2.6. $Dr=0.50$ için kesme kutusu deney sonuçları.....	62

Şekil 2.7.	Dr=0.75 için kesme kutusu deney sonuçları.....	62
Şekil 2.8.	Deneylerde kullanılan 100 x 900 mm boyutlarında kesilmiş örgülü geotekstil.....	64
Şekil 2.9.	Yükleme düzeninin genel şeması	66
Şekil 2.10.	Çalışmalarda kullanılan yük halkası ve yükleme bıçağı.....	66
Şekil 2.11.	Deneylerde kullanılan basınç ölçerler	67
Şekil 2.12.	TDG Ai8b model veri toplama ünitesi	68
Şekil 2.13.	TDG RS-485 model aygıt geçidi	68
Şekil 2.14.	Kum yüzeyi düzeltme aleti	69
Şekil 2.15.	Model şerit temelle donatılı zeminde yapılan bir deneyde yüklemenin başlangıç hali	70
Şekil 2.16.	Model şerit temelle donatılı zeminde yapılan bir deneyde yüklemenin bitiş hali	70
Şekil 2.17.	ANSYS programında keypointler ile oluşturulan çizgiler.....	71
Şekil 2.18.	ANSYS programında çizgiler ile oluşturulan alanlar	72
Şekil 2.19.	ANSYS programında alanlar yardımıyla oluşturulan hacimler.....	72
Şekil 2.20.	Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra deney tankının görüntüsü	74
Şekil 2.21.	Sınır şartları atandıktan sonra modelin görüntüsü	74
Şekil 2.22.	Modelin çözümden sonraki görüntüsü.....	75
Şekil 2.23.	Modelin düşey gerilme dağılışı ve deforme olmuş şekli	75
Şekil 3.1.	Deney tankında basınç ölçerlerin yerleştirildiği yerler.....	78
Şekil 3.2.	1 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	79
Şekil 3.3.	2 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	80
Şekil 3.4.	3 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	81
Şekil 3.5.	5 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	82
Şekil 3.6.	4 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	83
Şekil 3.7.	6 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	84
Şekil 3.8.	7 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi	85
Şekil 3.9.	Farklı rölatif sıkılıklara ait basınç soğanları	86

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Tekil yük için Boussinesq etki faktörleri, K_B	7
Tablo 1.2.	Üniform yayılı yükle yüklü dairesel alanın merkezi altında etki faktörleri, K_c	14
Tablo 1.3.	Üniform yüklü alanlar için K etki faktörleri	15
Tablo 1.4.	Ayrırma amaçlı örgüsüz polipropilen geotekstil tipleri ve özellikleri	32
Tablo 2.1.	Deney kumunun bazı özellikleri	60
Tablo 2.2.	Kohezyonsuz zeminlerde sıkılık tablosu	60
Tablo 2.3.	Farklı rölatif sıkılıklar için gerekli kum kütleleri	61
Tablo 2.4.	Farklı rölatif sıkılık değerleri için dört farklı gerilme altında oturma miktarları	63
Tablo 2.5.	Tüm rölatif sıkılık değerleri için bulunan Poisson oranı (μ) değerleri	63
Tablo 2.6.	Rölatif sıkılık değerlerine göre belirlenmiş elastisite modülü değerleri	64
Tablo 2.7.	Örgülü geotekstilin bazı özellikleri	65
Tablo 2.8.	ANSYS paket programına girilen temel malzeme özellikleri	73
Tablo 2.9.	ANSYS paket programında multilineer kinematik pekleşme malzeme modeli için girilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri	73
Tablo 2.10.	ANSYS programı ile hesaplanmış düşey gerilme artış değerleri	76
Tablo 2.11.	Boussinesq yöntemi ile hesaplanmış düşey gerilme artışları	76
Tablo 2.12.	Sınırlı tabaka yöntemine göre hesaplanmış düşey gerilme artış değerleri	77
Tablo 3.1.	1 ve 2 noktalarındaki gerilme artışları	80
Tablo 3.2.	3, 4 ve 5 No'lu noktalardaki düşey gerilme artışları	83
Tablo 3.3.	6 ve 7 No'lu noktalardaki düşey gerilme artışları	85

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

c	: Kohezyon
C_u	: Üniformaluluk katsayısı
C_r	: Eğrilik katsayısı
D_r	: Rölatif sıkılık
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
H_c	: Konsolidasyon halkasının yüksekliği
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 etki faktörü
I_{st}	: Poulos ve Davis'e göre çizgisel yük etki faktörü
K_0	: Toprak basıncı katsayısı
K_r	: Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı
m, n, k	: Boyutsuz katsayılar
Q	: Tekil yük
q	: Yayılı yük
R	: Yarıçap
r	: Sabit yatay uzaklık
x	: x yönündeki yatay mesafe
y	: y yönündeki yatay mesafe
z	: Derinlik
α, β	: Yük yayılma açısı
δ_{zz}	: Konsolidasyon deneyinden belirlenen düşey oturma miktarı
$\Delta\sigma_r$	: 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

$\epsilon_{rr}, \epsilon_{\theta\theta}$	: Yatay birim şekil değıştirmeler
ϵ_{zz}	: Düşey birim şekil değıştirme
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
γ_s	: Tane birim hacim ağırlığı
μ	: Poisson oranı
ρ_k	: Kuru yoğunluk
ρ_{kmin}	: Minimum kuru yoğunluk
ρ_{kmax}	: Maksimum kuru yoğunluk
σ_x	: Yatay gerilme
σ_z	: Düşey gerilme

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Genel olarak yapılar; zemin üzerine, zemin içerisine, zeminden ya da bunların bir birleşimi biçiminde yapılmaktadır. Örneğin, binalar ve benzeri yapılar kendi ağırlıkları ve üzerlerine gelen yükleri temelleri aracılığı ile zeminlere aktarmaktadır. Tünel ve galeri gibi yapılar ise zemin veya kaya ortamında açılmaktadır. Öte yandan; zeminler çoğu alanlarda, örneğin baraj ve karayolu dolgularında, tuğla ve kerpiç üretiminde malzeme olarak kullanılmaktadır. Zeminlere ait dayanım, geçirimsizlik, sıkışabilirlik ve benzeri özelliklerin bilinmesi, bu yapıların ekonomik ömrü boyunca kullanılması bakımından önemlidir (Aytekin, 2004).

Teknolojinin ilerlemesi, çeşitli yapıların daha geniş, daha ağır ve daha kompleks inşasına neden olmuştur. Artan yükleri zemine aktarma problemi ile karşılaşan inşaat mühendisleri, çeşitli çözüm yöntemleri geliştirmiştir. Birinci çözüm yöntemi, söz konusu zemini taşıyıp yerine ihtiyacı karşılayan bir zemin kullanmaktır. İkinci çözüm yöntemi, yükleri daha geniş ve daha derindeki uygun tabakalara aktarmak olup, üçüncü çözüm yöntemi ise, zeminin özelliklerini iyileştirmektir.

Zeminlerin özelliklerini iyileştirmede yüzeysel stabilizasyon yöntemleri ve derin stabilizasyon yöntemlerine ek olarak çeşitli polimerlerden imal edilen sentetik malzemeler de kullanılmaktadır. İnşaat Mühendisliğinde, genel olarak geosentetikler olarak adlandırılan polimer ürünleri (geotekstil, geomembran, geonet, geogrid, geokompozit vb.) giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Geosentetikler zeminin taşıma gücü, geçirimsizlik, drenaj, filtrasyon vb. özellikleri iyileştirmede kullanılırlar. Bu malzemelerin zeminde kullanılmaya başlaması donatılı zemin kavramını ortaya çıkarmıştır. Donatılı zemin, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacı ile içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geotekstiller veya metal şeritler yerleştirilerek elde edilen kompozit bir yapı olarak tanımlanabilir (Keskin, 1996).

Geosentetik donatılı zeminlerin tasarım ve malzeme parametrelerinin çok olmasıyla birlikte, bu tür zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Ancak donatılı zeminlerde gerilme dağılışı ile ilgili çalışmalar oldukça

sınırlıdır. Oysaki yapı yükleri, zemin yüzeyine temellerle aktarıldığında, zemin içerisinde oluşan ilave gerilmelerden dolayı özellikle yükün etkidiği bölgeye yakın kısımlarda fazla olmak üzere şekil değiştirmeler meydana gelir. Oluşan gerilmelerin şiddetinin ve dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir. Çünkü bu gerilme değerlerine dayanılarak oturmalar ve taşıma gücü daha gerçekçi hesaplanır (Uzuner, 2007).

Zeminin karmaşık yapısından dolayı, zemin içerisinde gerçekçi gerilme deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle, yaklaşık olmasına rağmen, genellikle Elastisite Teorisi kullanılır. Elastisite Teorisi kullanılırken, zemin için şu basitleştirici kabuller yapılabilmektedir:

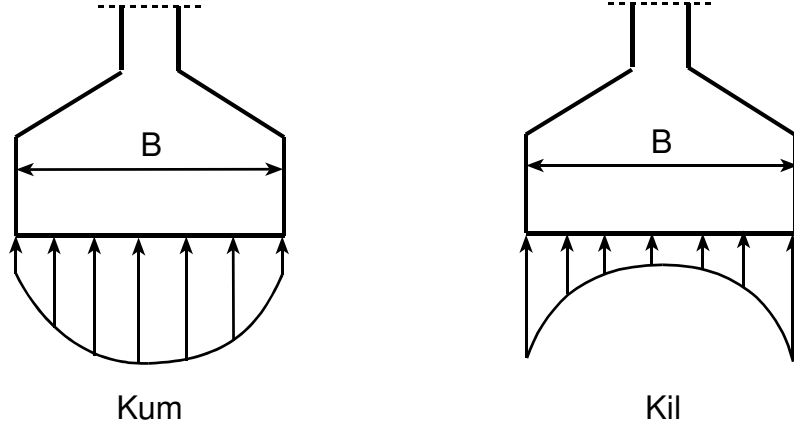
- Zemin, elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır. Başka bir deyişle Hooke Yasası geçerlidir.
- Zemin ortamı homojendir. Diğer bir deyişle, elastik sabitler, elastisite modülü, E ve Poisson oranı, μ her noktada aynıdır.
- Zemin ortamı izotropdur. Yani, özellikleri bir noktada, her doğrultuda aynıdır.
- Zemin ortamı, yarım sonsuzdur. Yani, bir düzlemin altında, her yönde, sonsuz uzunlukta uzanır. Gerçekte bu kabullerin çoğu gerçekçi değildir. Ancak, Elastisite Teorisi, bu basitleştirici kabullerle, pratikte kullanılabilir, makul sonuçlar vermektedir (Uzuner, 2007).

Donatılı zeminde yüzey yüklerden kaynaklanan düşey ve yatay gerilme artışlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan genel kabul görmüş bir yöntem yoktur. Bu nedenle, bu çalışmada üniform şerit yüzey yüküne maruz donatılı kum zeminlerin gerilme dağılışı deneysel olarak incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut analitik ve Plastisite Teorisine dayalı nümerik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

1.2. Taban Basıncı

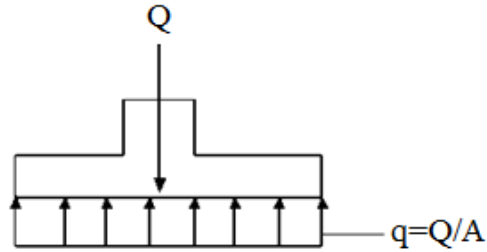
Temelle zeminin temas yüzeyinde oluşan gerilmeye taban basıncı denir. Temel tamamen bükülebilir ise, üniform yükten dolayı, herhangi bir cins zemindeki taban basıncı üniform olur. Uygulamada bu ideal durum gerçekleşmez. Birçok yapı temeli, zeminin rijitliğine oranla çok daha rijittir. Rijitlik arttıkça taban basıncı da üniform dağılımdan uzaklaşır. Kum ve kil zeminlere oturan rijit temellerin altında taban basıncı dağılışı

birbirinden çok farklıdır. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, kum zemin üzerine oturan B genişliğindeki rijit bir temelde, maksimum taban basıncı temelin ortasındadır. Kil zemin üzerine oturan rijit bir temelde ise maksimum taban basıncı kenarlarda oluşur (Özdoğan vd., 1996).



Şekil 1.1. Rijit bir temel altında taban basıncı dağılışı (Özdoğan vd.,1996)

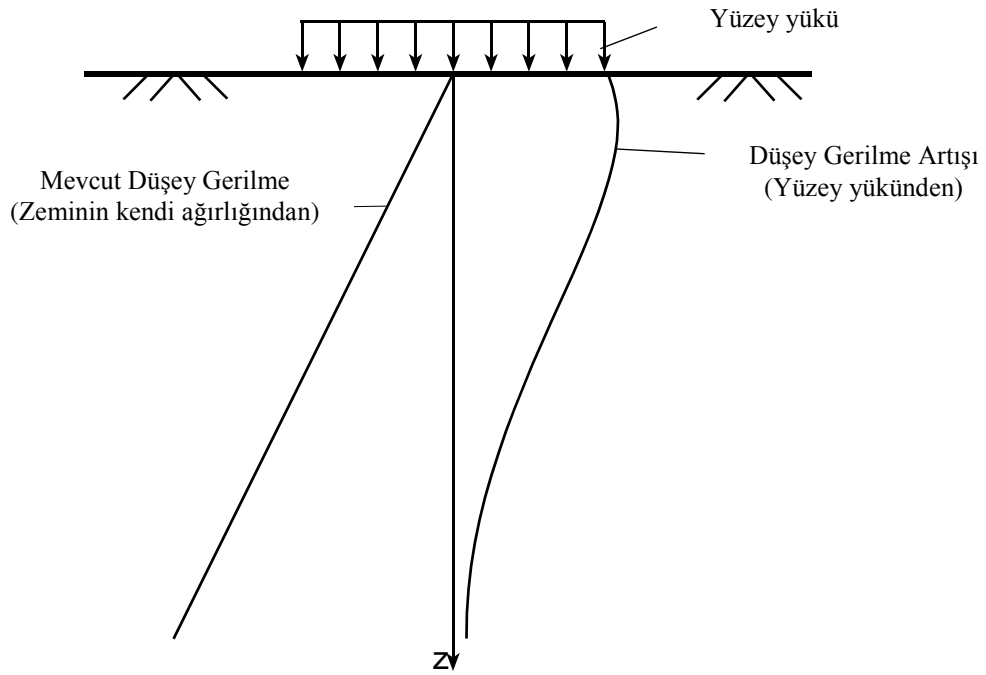
Temel projelendirmelerinde, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin üzerine oturan rijit ve esnek temellerde oluşacak tepki gerilmeleri ve deformasyonlarını göz önüne almak hesapların karmaşık bir hal almasına neden olacaktır. Bu sebeple projelendirmede genellikle doğrusal taban basıncı dağılışı dikkate alınmaktadır. Bu kabule göre tam merkezi Q yükü ile yüklü bir temelde, zemin ortamında meydana gelecek gerilmeler Şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2. Doğrusal kabule göre düşey tekil yük için taban basıncı dağılışı

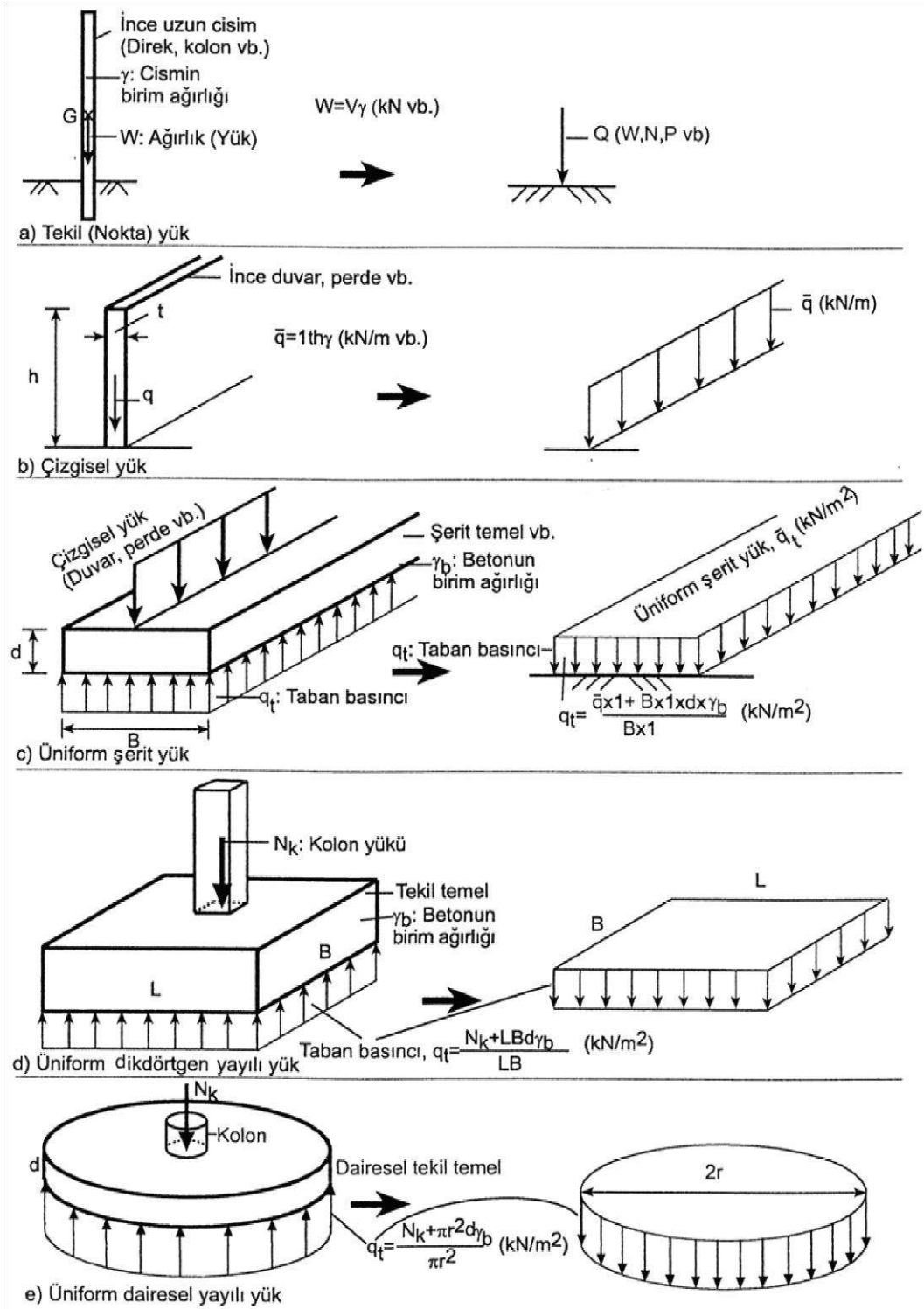
1.3. Yüzey Yüklerinden Oluşan Düşey Gerilme Artışları

Zemin yüzünde uygulanan bir yükten dolayı zemin kütlesi içindeki noktalarda gerilme artışları meydana geleceği açıktır. Şekil 1.3'te gerilmelerin zemin yüzünden itibaren derinlikle değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde de görülebileceği gibi, derinlik arttıkça gerilme artışlarının şiddeti azalmaktadır. Bu gerilme artışlarının gerçek dağılımını ve değerlerini belirleyebilmek için uygulanan yükün şiddeti, yük uygulanan alanın boyutları ile biçimi ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir (Özaydın, 1989).



Şekil 1.3. Zeminde mevcut ve ilave düşey gerilmeler

Yüzey yüklerinden dolayı zeminde yalnızca düşey doğrultuda değil yatay doğrultuda da gerilme artışları meydana gelir. Sınırlı yüzey yüklerinden dolayı zeminde oluşan düşey gerilme artışları, derinlik arttıkça azalır. Sığ bir derinlikte zemine etkiyen yükler, yaklaşık olarak yüzey yükleri gibi düşünülebilir. Bazı yüzey yükleri, Şekil 1.4'de verilmektedir.



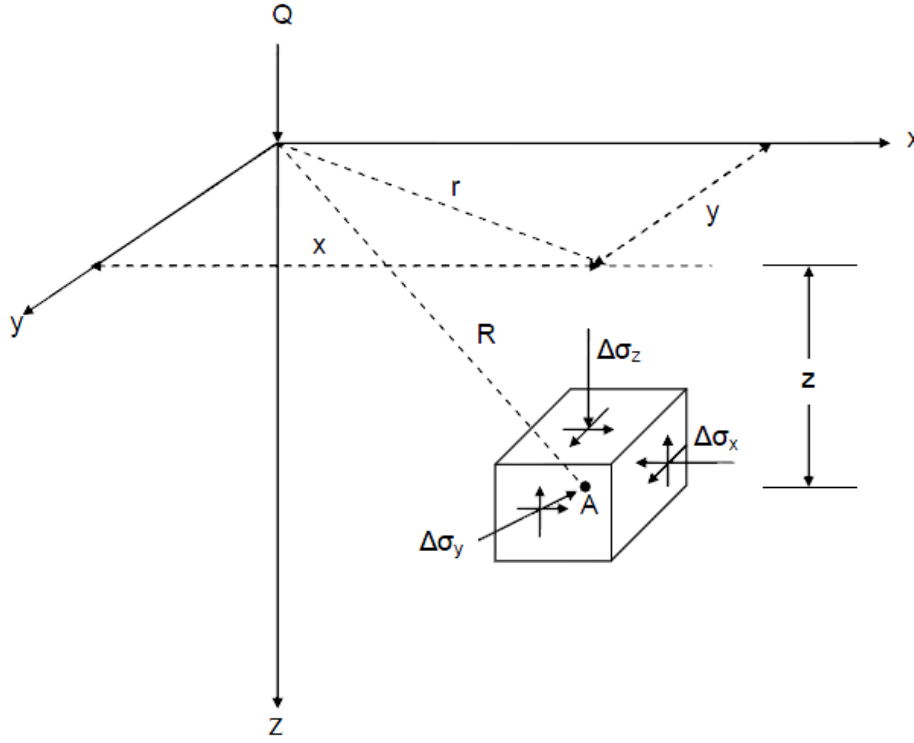
Şekil 1.4. Bazı yüzey yükleri (Uzuner, 2007).

1.3.1. Noktasal Yükten Kaynaklanan Gerilmeler

Boussinesq, lineer elastik homojen, yarım sonsuz ortamda, yüzey tekil yükünden oluşan gerilme problemini çözmüştür. Boussinesq, Q yüzey yükünden dolayı, z derinliğinde, r yatay uzaklığındaki bir noktada oluşan düşey gerilme artışı $\Delta\sigma_z$, için şu bağıntıyı verdi;

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5} = \frac{3Q}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} = K_B \frac{Q}{z^2} \quad (1.1)$$

Şekil 1.5'te zemin parçasına etkiyen gerilme artışları gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Zemin içinde tekil yükten dolayı oluşan gerilmeler (Das, 2001)

K_B : Boussinesq etki faktörü olup, Tablo 1.1'de çeşitli r/z oranları için verilmektedir.

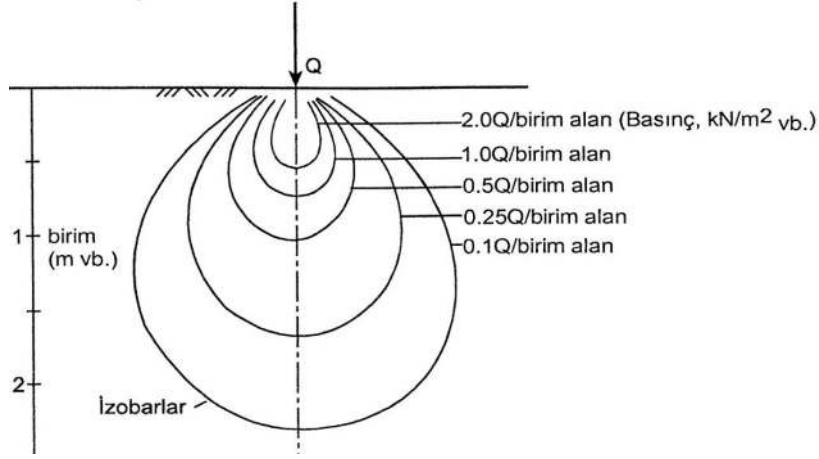
Tablo 1.1. Tekil yük için Boussinesq etki faktörleri, K_B (Uzuner, 2007).

r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B	r/z	K_B
0.00	0.4775	0.50	0.2733	1.00	0.0844	1.50	0.0251	2.00	0.0085	2.50	0.0034
0.01	0.4773	0.51	0.2679	1.01	0.0823	1.51	0.0245	2.01	0.0084	2.51	0.0033
0.02	0.4770	0.52	0.2625	1.02	0.0803	1.52	0.0240	2.02	0.0082	2.52	0.0033
0.03	0.4764	0.53	0.2571	1.03	0.0783	1.53	0.0234	2.03	0.0081	2.53	0.0032
0.04	0.4756	0.54	0.2518	1.04	0.0764	1.54	0.0229	2.04	0.0079	2.54	0.0032
0.05	0.4745	0.55	0.2466	1.05	0.0744	1.55	0.0224	2.05	0.0078	2.55	0.0031
0.06	0.4723	0.56	0.2414	1.06	0.0727	1.56	0.0219	2.06	0.0076	2.56	0.0031
0.07	0.4717	0.57	0.2363	1.07	0.0709	1.57	0.0214	2.07	0.0075	2.57	0.0030
0.08	0.4699	0.58	0.2313	1.08	0.0691	1.58	0.0209	2.08	0.0073	2.58	0.0030
0.09	0.4679	0.59	0.2263	1.09	0.0674	1.59	0.0204	2.09	0.0072	2.59	0.0029
0.10	0.4657	0.60	0.2214	1.10	0.0658	1.60	0.0200	2.10	0.0070	2.60	0.0029
0.11	0.4633	0.61	0.2165	1.11	0.0641	1.61	0.0195	2.11	0.0069	2.61	0.0028
0.12	0.4607	0.62	0.2117	1.12	0.0626	1.62	0.0191	2.12	0.0068	2.62	0.0028
0.13	0.4579	0.63	0.2070	1.13	0.0610	1.63	0.0187	2.13	0.0066	2.63	0.0027
0.14	0.4548	0.64	0.2040	1.14	0.0595	1.64	0.0183	2.14	0.0065	2.64	0.0027
0.15	0.4516	0.65	0.1973	1.15	0.0581	1.65	0.0179	2.15	0.0064	2.65	0.0026
0.16	0.4482	0.66	0.1934	1.16	0.0567	1.66	0.0175	2.16	0.0063	2.66	0.0026
0.17	0.4446	0.67	0.1889	1.17	0.0553	1.67	0.0171	2.17	0.0062	2.67	0.0025
0.18	0.4409	0.68	0.1846	1.18	0.0539	1.68	0.0167	2.18	0.0060	2.68	0.0025
0.19	0.4370	0.69	0.1804	1.19	0.0526	1.69	0.0163	2.19	0.0059	2.69	0.0025
0.20	0.4329	0.70	0.1762	1.20	0.0513	1.70	0.0160	2.20	0.0058	2.70	0.0024
0.21	0.4286	0.71	0.1721	1.21	0.0501	1.71	0.0157	2.21	0.0057	-	-
0.22	0.4242	0.72	0.1681	1.22	0.0489	1.72	0.0153	2.22	0.0056	2.72	0.0023
0.23	0.4197	0.73	0.1641	1.23	0.0477	1.73	0.0151	2.23	0.0055	-	-
0.24	0.4151	0.74	0.1603	1.24	0.0466	1.74	0.0147	2.24	0.0054	2.74	0.0022
0.25	0.4103	0.75	0.1565	1.25	0.0454	1.75	0.0144	2.25	0.0053	-	-
0.26	0.4054	0.76	0.1527	1.26	0.0443	1.76	0.0141	2.26	0.0052	2.76	0.0022
0.27	0.4004	0.77	0.1491	1.27	0.0433	1.77	0.0138	2.27	0.0051	-	-
0.28	0.3954	0.78	0.1455	1.28	0.0422	1.78	0.0135	2.28	0.0050	2.78	0.0021
0.29	0.3902	0.79	0.1420	1.29	0.0412	1.79	0.0132	2.29	0.0049	-	-
0.30	0.3849	0.80	0.1386	1.30	0.0393	1.80	0.0129	2.30	0.0048	2.80	0.0021
0.31	0.3796	0.81	0.1353	1.31	0.0393	1.81	0.0126	2.31	0.0047	-	-
0.32	0.3742	0.82	0.1320	1.32	0.0384	1.82	0.0124	2.32	0.0047	2.82	0.0091
0.33	0.3687	0.83	0.1288	1.33	0.0374	1.83	0.0121	2.33	0.0046	-	-
0.34	0.3632	0.84	0.1257	1.34	0.0365	1.84	0.0119	2.34	0.0045	2.91	0.0017
0.35	0.3577	0.85	0.1226	1.35	0.0357	1.85	0.0116	2.35	0.0044	-	-
0.36	0.3521	0.86	0.1196	1.36	0.0348	1.86	0.0114	2.36	0.0043	2.99	0.0015
0.37	0.3465	0.87	0.1166	1.37	0.0340	1.87	0.0112	2.37	0.0043	-	-
0.38	0.3408	0.88	0.1138	1.38	0.0332	1.88	0.0109	2.38	0.0042	3.08	0.0013
0.39	0.3351	0.89	0.1110	1.39	0.0324	1.89	0.0107	2.39	0.0041	-	-
0.40	0.3294	0.90	0.1083	1.40	0.0317	1.90	0.0105	2.40	0.0040	3.19	0.0011
0.41	0.3238	0.91	0.1057	1.41	0.0309	1.91	0.0103	2.41	0.0040	-	-
0.42	0.3181	0.92	0.1031	1.42	0.0302	1.92	0.0101	2.42	0.0039	3.31	0.0009
0.43	0.3124	0.93	0.1005	1.43	0.0295	1.93	0.0099	2.43	0.0038	-	-
0.44	0.3068	0.94	0.0981	1.44	0.0288	1.94	0.0097	2.44	0.0038	3.50	0.0007
0.45	0.3011	0.95	0.0956	1.45	0.0282	1.95	0.0095	2.45	0.0037	-	-
0.46	0.2955	0.96	0.0933	1.46	0.0275	1.96	0.0093	2.46	0.0036	3.75	0.0005
0.47	0.2899	0.97	0.0910	1.47	0.0269	1.97	0.0091	2.47	0.0036	4.13	0.0003
0.48	0.2843	0.98	0.0887	1.48	0.0263	1.98	0.0089	2.48	0.0035	4.91	0.0001
0.49	0.2788	0.99	0.0865	1.49	0.0257	1.99	0.0087	2.49	0.0034	5.15	0.0001

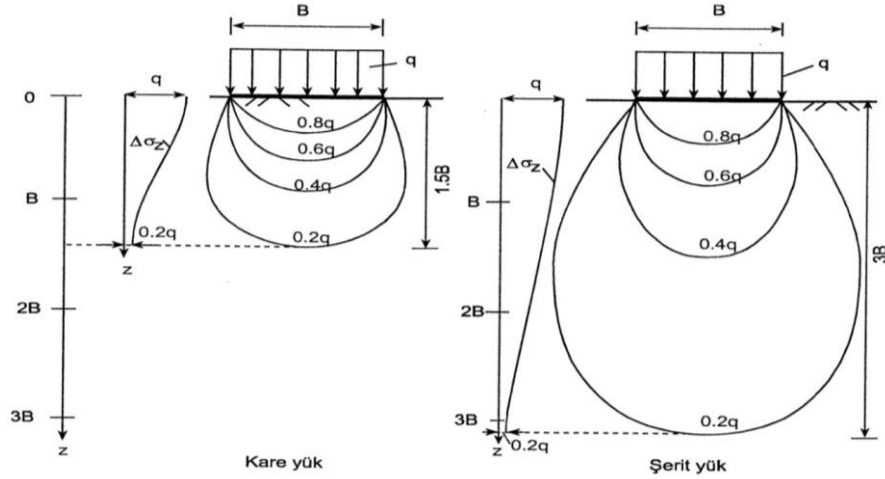
Yüzey yüklerinden dolayı zeminde oluşan gerilme dağılışılarını çeşitli şekillerde gösterebiliriz.

1.3.1.1. İzobarlar

İzobar, eşit düşey gerilme artışlarına sahip noktaları birleştiren eğrilerdir. Şekil 1.6 ve 1.7 de noktasal, üniform kare ve şerit yükten kaynaklanan izobarlar gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Noktasal yükten kaynaklanan izobarlar (Uzuner, 2007).

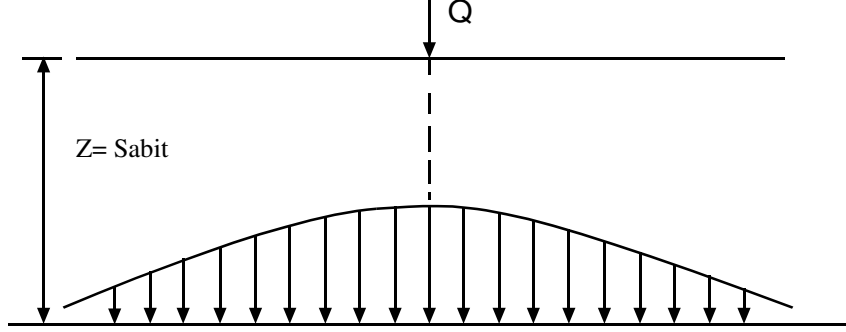


Şekil 1.7. Üniform kare ve üniform şerit yükten kaynaklanan izobarlar (Uzuner, 2007).

1.3.1.2. Yatay Bir Düzlemde Düşey Gerilme Dağılışı

Herhangi bir derinlikteki yatay düzlem veya doğrultu üzerindeki düşey gerilme dağılışı grafik olarak gösterilebilir. Şekil 1.8'de, Q tekil yükünün etkisi altında olan yarım

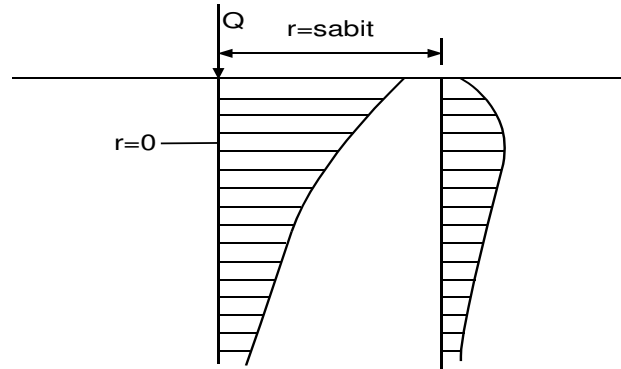
sonsuz ortamda, sabit derinlikte bulunan yatay doğrultudaki gerilme dağılışı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.8. Tekil yükten dolayı oluşan yatay doğrultuda düşey gerilme dağılışı

1.3.1.3. Düşey Bir Düzlemde Gerilme Dağılışı

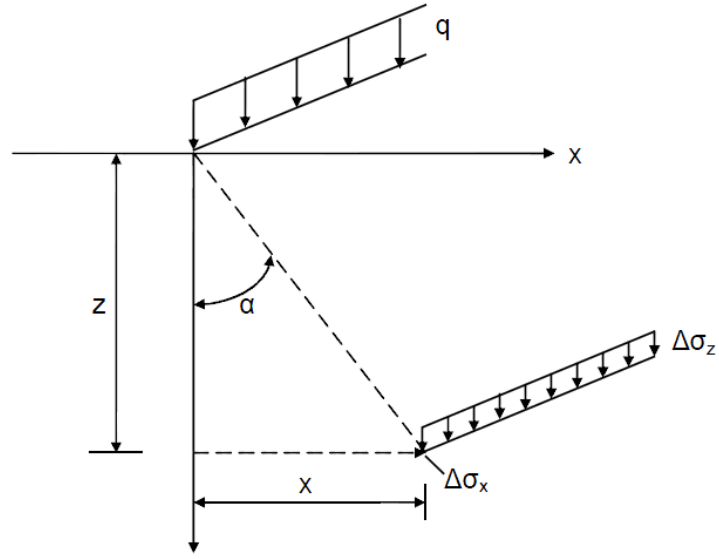
Herhangi bir r uzaklığındaki bir düzlem veya doğrultudaki düşey gerilme artışının dağılışı da grafik olarak gösterilebilir. Şekil 1.9’da tekil yükten dolayı, sabit uzaklıklardaki düşey doğrultular boyunca, düşey gerilme artışlarının dağılışı görülmektedir (Uzuner, 2007).



Şekil 1.9. Tekil yükten dolayı oluşan düşey gerilme dağılışı (Uzuner, 2007)

1.3.2. Üniform Çizgisel Yükten Kaynaklanan Gerilme Dağılışı

Şekil 1.10’da bir çizgisel yükten dolayı oluşan yatay ve düşey doğrultudaki gerilme artışları, $\Delta\sigma_z$ ve $\Delta\sigma_x$, gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Çizgisel yükten kaynaklanan düşey ve yatay gerilme artışları (Uzuner, 2007)

Bir q çizgisel yükünden, z derinliğinde ve x uzaklıkta oluşan düşey gerilme artışı, $\Delta\sigma_z$;

$$\Delta\sigma_z = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (1.2)$$

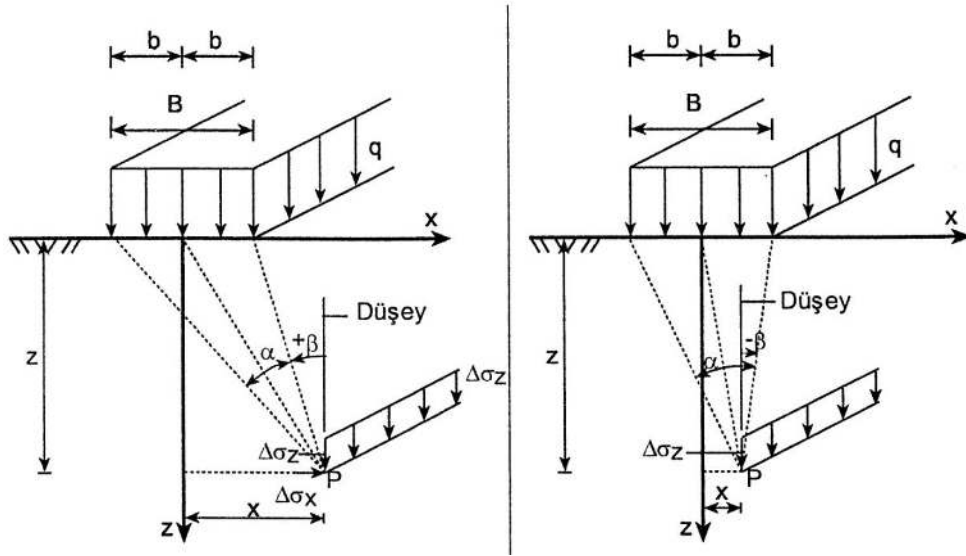
ile ve yatay gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_x = \frac{2qx^2z}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (1.3)$$

ile hesaplanır.

1.3.3. Üniform Şerit Yük

Üniform şerit yük, uzunluğu büyük olan ve genişlik boyunca, lineer olarak değişen bir yüküdür.



Şekil 1.11. Şerit yükten kaynaklanan düşey ve yatay gerilme artışları (Uzuner, 2007)

Bir üniform şerit yükten kaynaklanan, z derinliğinde ve x uzaklığındaki düşey gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} [\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)] \quad \text{veya} \quad \Delta\sigma_z = qI_s, \quad (1.4)$$

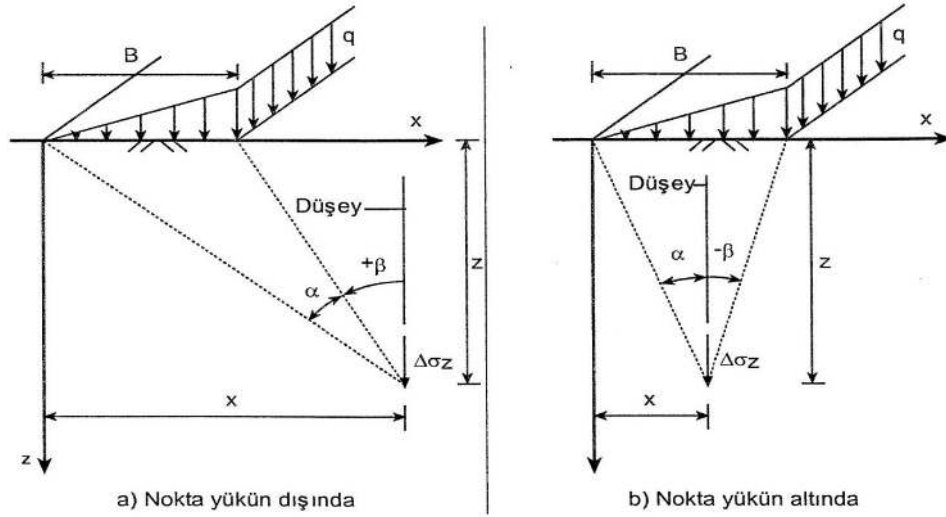
ile ve yatay gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} [\alpha - \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (1.5)$$

ile hesaplanabilir.

1.3.4. Üçgen Şerit Yük

Üçgen şerit yük, uzunluğu büyük olan ve genişlik boyunca, lineer olarak değişen bir yükür.



Şekil 1.12. Üçgen şerit yükten kaynaklanan düşey gerilme artışları (Uzuner, 2007)

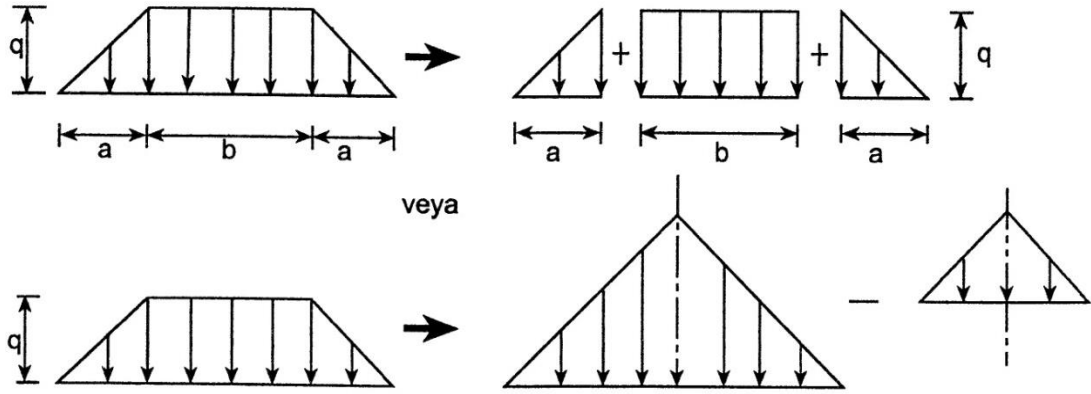
Bir üçgen şerit yükünden kaynaklanan, z derinliğinde ve x uzaklığındaki düşey gerilme artışı, $\Delta\sigma_z$;

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right] \quad (1.6)$$

ile hesaplanır.

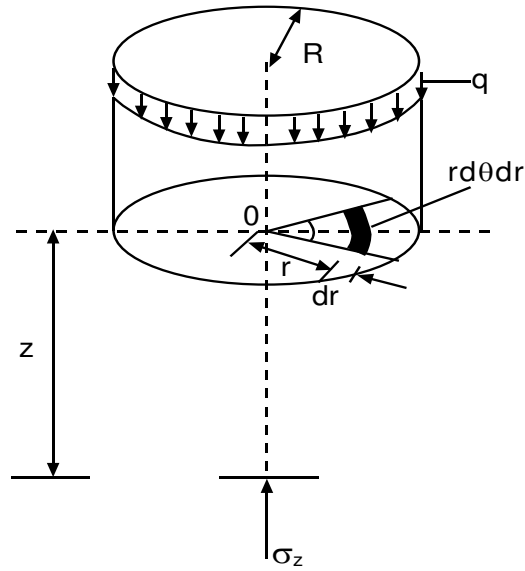
1.3.5. Yamuk Şerit Yük

Yamuk şerit yük, uzunluğu büyük ve en kesiti yamuk olan bir yüküdür. Bu tür yükler, iki üçgen ve bir şerit yükün toplamı veya iki üçgen şerit yükün farkı şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 1.13. Yamuk şerit yük ve eşdeğerleri (Uzuner, 2007)

1.3.6. Üniform Yüklü Dairesel Alan



Şekil 1.14. Üniform yüklü dairesel alanın merkezi altındaki gerilme dağılımı (Özüdoğru vd., 1996)

Bir üniform yüklü dairesel alan altında, z derinliğinde oluşan düşey gerilme artışı;

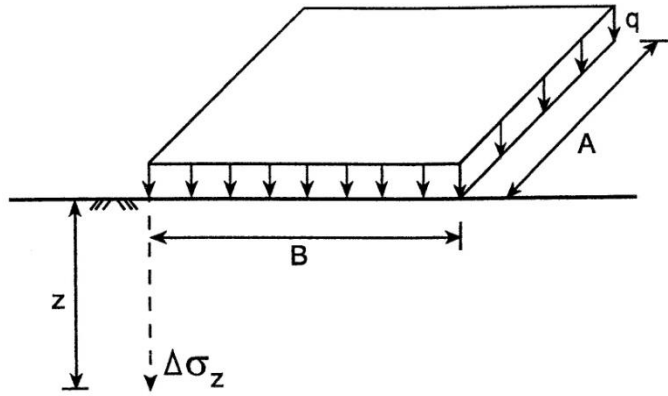
$$\Delta\sigma_z = q \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + (R/z)^2 \right]^{3/2}} \right\} = K_c q \quad (1.7)$$

ile hesaplanabilir. K_c etki faktörü değerleri z/R değerine bağlı olarak tablolaştırılmıştır (Tablo 1.2)

Tablo 1.2. Üniform yayılı yükle yüklü dairesel alanın merkezi altında etki faktörleri, K_c (Uzuner, 2007)

z/R	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	10.
K_c	1.0	0.992	0.949	0.864	0.756	0.646	0.547	0.424	0.284	0.146	0.087	0.057	0.015

1.3.7. Üniform Yüklü Dikdörtgen Alan



Şekil 1.15. Üniform yüklü dikdörtgen alanın bir köşesi altında düşey gerilme artışı (Uzuner, 2007).

Üniform yayılı yüklü dikdörtgen alanın bir köşesi altında ve z derinliğindeki bir noktada, düşey gerilme artışı, $\Delta\sigma_z$,

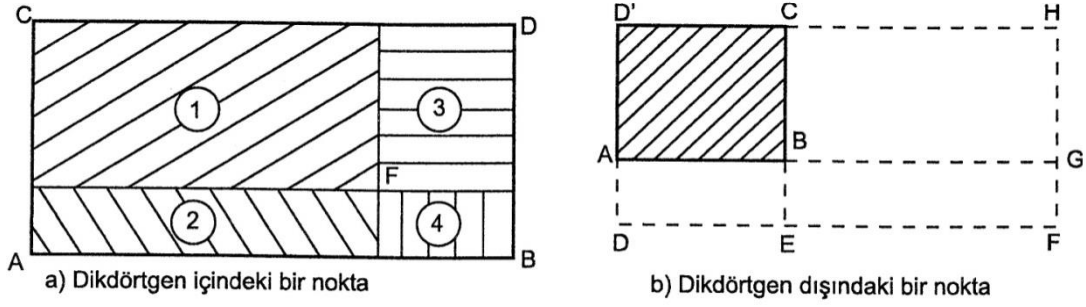
$$Kq = \frac{q}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \left(\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \right) \right] \quad (1.8)$$

ile belirlenir. K etki faktörü olup, m ve n değerlerine bağlı olarak Tablo 1.3'te verilmiştir (Newmark, 1935).

Tablo 1.3. Üniform yüklü alanlar için K etki faktörleri

m=B/z, n=A/z veya m=A/z, n=B/z										
m	n									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.0047	0.0092	0.0132	0.0168	0.0198	0.0222	0.0242	0.0258	0.0270	0.0279
0.2	0.0092	0.0179	0.0259	0.0328	0.0387	0.0435	0.0474	0.0504	0.0528	0.0547
0.3	0.0132	0.0259	0.0374	0.0474	0.0559	0.0629	0.0686	0.0731	0.0766	0.0794
0.4	0.0168	0.0328	0.0474	0.0602	0.0711	0.0801	0.0873	0.0931	0.0977	0.1013
0.5	0.0198	0.0387	0.0559	0.0711	0.0840	0.0947	0.1034	0.1104	0.1158	0.1202
0.6	0.0222	0.0435	0.0629	0.0801	0.0947	0.1069	0.1168	0.1247	0.1311	0.1361
0.7	0.0242	0.0474	0.0686	0.0873	0.1034	0.1168	0.1277	0.1365	0.1436	0.1491
0.8	0.0258	0.0504	0.0731	0.0931	0.1104	0.1247	0.1365	0.1461	0.1537	0.1598
0.9	0.0270	0.0528	0.0766	0.0977	0.1158	0.1311	0.1436	0.1537	0.1619	0.1684
1.0	0.0279	0.0547	0.0794	0.1013	0.1202	0.1361	0.1491	0.1598	0.1684	0.1752
1.2	0.0293	0.0573	0.0832	0.1063	0.1263	0.1431	0.1570	0.1684	0.1777	0.1851
1.4	0.0301	0.0589	0.0856	0.1094	0.1300	0.1475	0.1620	0.1739	0.1836	0.1914
1.6	0.0306	0.0599	0.0871	0.1114	0.1324	0.1503	0.1652	0.1774	0.1874	0.1955
1.8	0.0309	0.0606	0.0880	0.1126	0.1340	0.1521	0.1672	0.1797	0.1899	0.1981
2.0	0.0311	0.0610	0.0887	0.1134	0.1350	0.1533	0.1686	0.1812	0.1915	0.1999
2.5	0.0314	0.0616	0.0895	0.1145	0.1363	0.1548	0.1704	0.1832	0.1938	0.2024
3.0	0.0315	0.0618	0.0898	0.1150	0.1368	0.1555	0.1711	0.1841	0.1947	0.2034
5.0	0.0316	0.0620	0.0901	0.1154	0.1374	0.1561	0.1719	0.1849	0.1956	0.2044
10.0	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046
∞	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1375	0.1562	0.1720	0.1850	0.1958	0.2046
m	n									
	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	5.0	10.0	∞
0.1	0.0293	0.0301	0.0306	0.0309	0.0311	0.0314	0.0315	0.0316	0.0316	0.0316
0.2	0.0573	0.0589	0.0599	0.0606	0.0610	0.0616	0.0618	0.0620	0.0620	0.0620
0.3	0.0832	0.0856	0.0871	0.0880	0.0887	0.0895	0.0898	0.0901	0.0902	0.0902
0.4	0.1063	0.1094	0.1114	0.1126	0.1134	0.1145	0.1150	0.1154	0.1154	0.1154
0.5	0.1263	0.1300	0.1324	0.1340	0.1350	0.1363	0.1368	0.1374	0.1375	0.1375
0.6	0.1431	0.1475	0.1503	0.1521	0.1533	0.1548	0.1555	0.1561	0.1562	0.1562
0.7	0.1570	0.1620	0.1652	0.1672	0.1686	0.1704	0.1711	0.1719	0.1720	0.1720
0.8	0.1684	0.1739	0.1774	0.1797	0.1812	0.1832	0.1841	0.1849	0.1850	0.1850
0.9	0.1777	0.1836	0.1874	0.1898	0.1915	0.1930	0.1947	0.1956	0.1958	0.1958
1.0	0.1851	0.1914	0.1955	0.1981	0.1999	0.2024	0.2034	0.2044	0.2046	0.2046
1.2	0.1958	0.2028	0.2073	0.2103	0.2124	0.2151	0.2163	0.2175	0.2177	0.2177
1.4	0.2028	0.2102	0.2151	0.2184	0.2206	0.2236	0.2250	0.2263	0.2265	0.2266
1.6	0.2073	0.2151	0.2203	0.2237	0.2261	0.2294	0.2309	0.2324	0.2326	0.2326
1.8	0.2103	0.2184	0.2237	0.2274	0.2299	0.2333	0.2350	0.2366	0.2368	0.2369
2.0	0.2124	0.2206	0.2261	0.2299	0.2325	0.2361	0.2378	0.2395	0.2399	0.2399
2.5	0.2151	0.2236	0.2294	0.2333	0.2361	0.2401	0.2420	0.2439	0.2443	0.2443
3.0	0.2163	0.2250	0.2309	0.2350	0.2378	0.2420	0.2439	0.2461	0.2465	0.2465
5.0	0.2175	0.2263	0.2324	0.2366	0.2395	0.2439	0.2461	0.2486	0.2491	0.2492
10.0	0.2177	0.2265	0.2326	0.2368	0.2399	0.2443	0.2465	0.2491	0.2498	0.2499
∞	0.2177	0.2266	0.2326	0.2369	0.2399	0.2443	0.2465	0.2492	0.2499	0.2500

Üniform yüklü alanın içindeki veya dışındaki bir noktanın altında bulunan herhangi bir derinlikteki düşey gerilme artışı, süperpozisyon kuralı ile hesaplanabilir. Dikdörtgen alan içindeki bir F noktası altında gerilme artışını hesaplamak için alan F noktasından geçen doğrularla bölünür (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Bölgelere ayırma

Böylece her bir alandaki yükten oluşan F noktasındaki gerilme artışları toplanarak Bağıntı 1.10 ile hesaplanır.

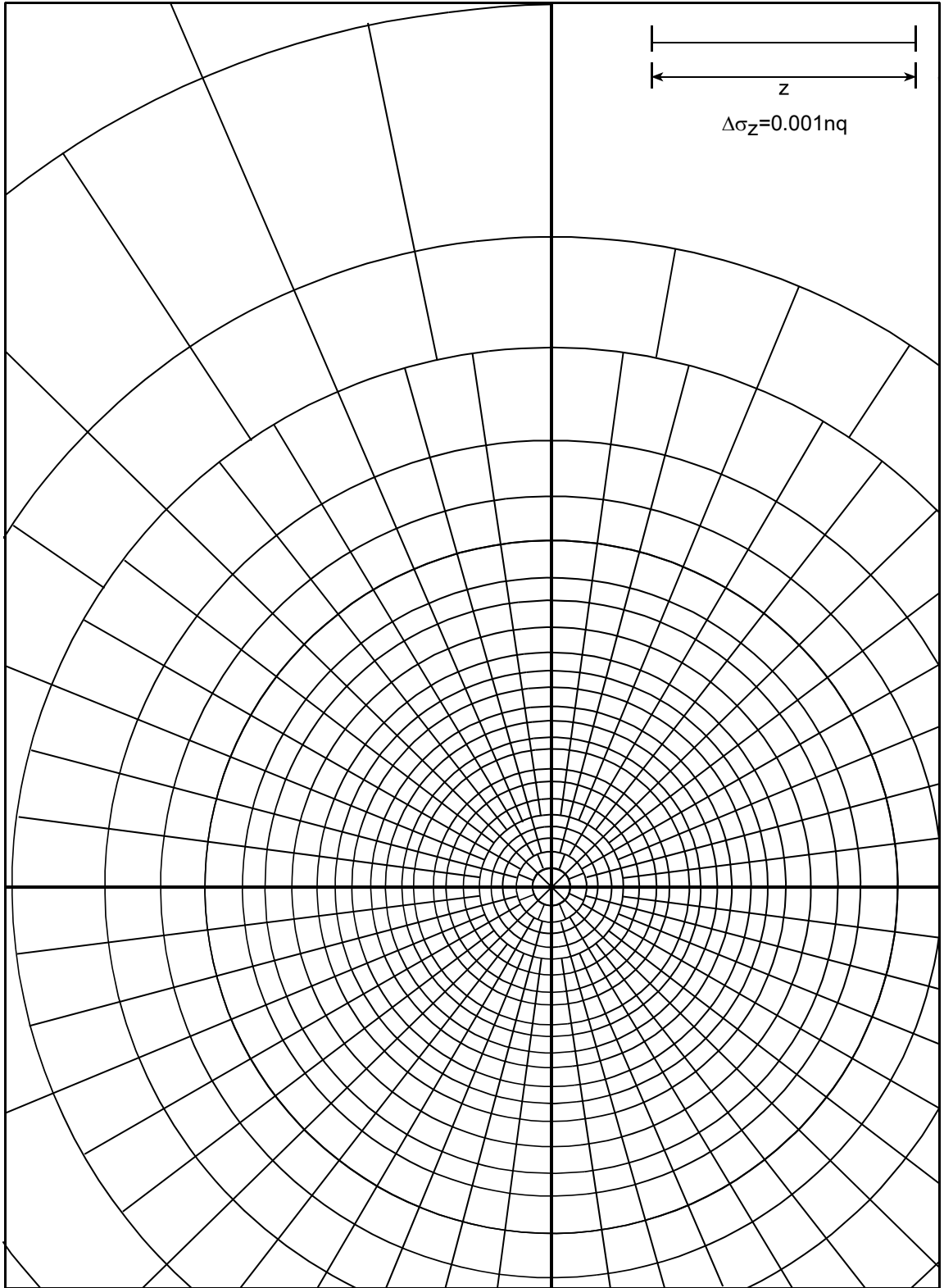
$$\Delta\sigma_z = q \left(K_{DFHD}' - K_{DFGA} - K_{EFHC} + K_{EFGB} \right) \quad (1.10)$$

1.3.8. Newmark Etki Diyagramı

Üniform yayılı yüklü herhangi bir biçimli alanın içinde veya dışında herhangi bir nokta altındaki gerilme artışı Newmark etki diyagramı ile hesaplanabilir. Bu yöntemde önce üniform yüklü alanın ölçekli bir planı şeffaf kağıt üzerine çizilir. Bu şeklin ölçeği; diyagramın üzerinde belirtilmiş ölçek uzunluğuna eşit olacak şekilde seçilir. Çizilen şekilde, altında gerilme artışı aranılan nokta diyagramın merkezi üzerine getirilerek alan sınırları içinde kalan elemanlar sayılır. Elde edilen n değeri ile gerilme artışı,

$$\Delta\sigma_z = inq \quad (1.12)$$

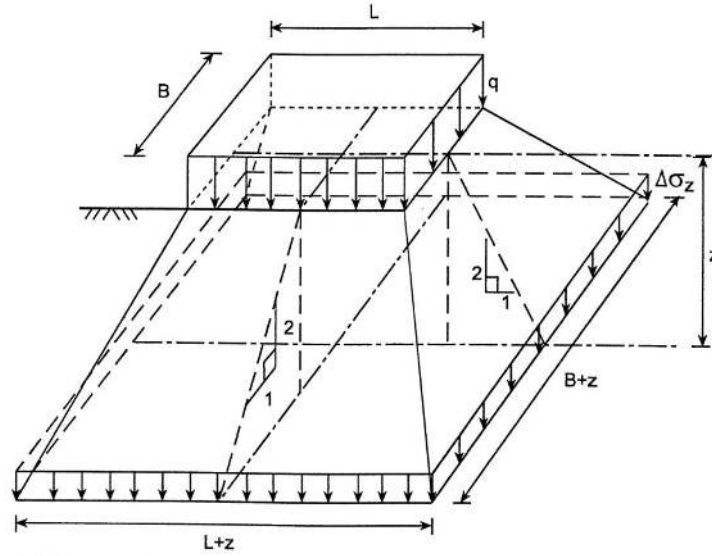
bağıntısı ile hesaplanır. Burada, i, diyagramın etki değeridir.



Şekil 1.17. Newmark etki diyagramı

1.3.9. Yaklaşık Yöntem

Bu yöntemde gerilme artışı dağılışının derinlik boyunca 2:1 (düşeyle 26.5 derece ile) eğimi ile gittiği kabul edilir (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Düşeyle 26,5 derecelik dağılış yöntemi (Uzuner, 2007)

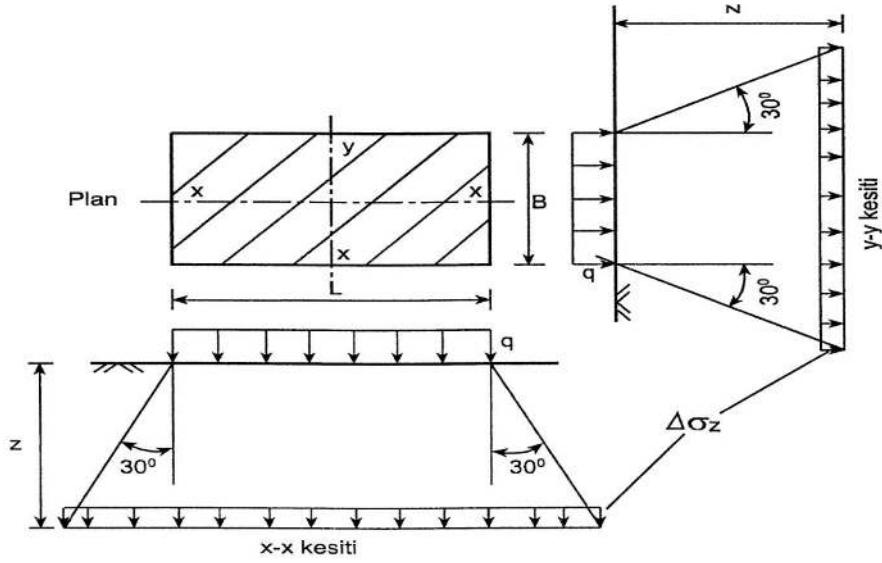
Buna dayanarak, q yayılı yükü ile yüklü LxB alanının z derinliği altındaki $\Delta\sigma_z$, gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_z = \frac{qBL}{(B+z)(L+z)} \quad (1.13)$$

ile hesaplanır. Düşey gerilme artışını hesaplamak için kullanılan diğer bir yaklaşımda, dağılımın düşeyle 30 derecelik bir yayılış yapması durumudur (Şekil 1.19). Bu yaklaşımda düşey gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_z = \frac{qBL}{(B+1.155z)(L+1.155z)} \quad (1.14)$$

ile hesaplanır.



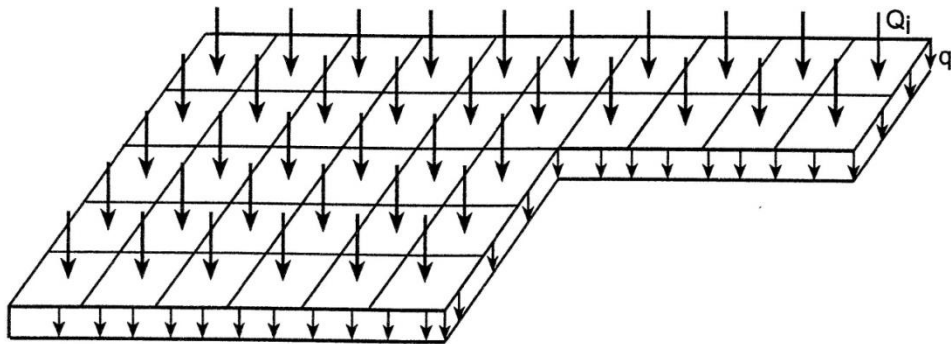
Şekil 1.19. Düşeyle 30 derecelik dağılış yöntemi (Uzuner, 2007)

1.3.10. Eşdeğer Tekil Yük Yöntemi

Bu yöntemde üniform yayılı yüklerle yüklü alan daha küçük alanlara bölünerek; her bir alanın yükü o alan ortasına etkiyen tekil yüke dönüştürülür (Şekil 1.20). Aranılan noktada tekil yüklerden dolayı oluşan gerilme artışı,

$$\Delta\sigma_z = \frac{1}{z^2} \sum_{i=1}^n K_{B_i} Q_i \quad (1.15)$$

bağıntısı ile yaklaşık olarak hesaplanır.

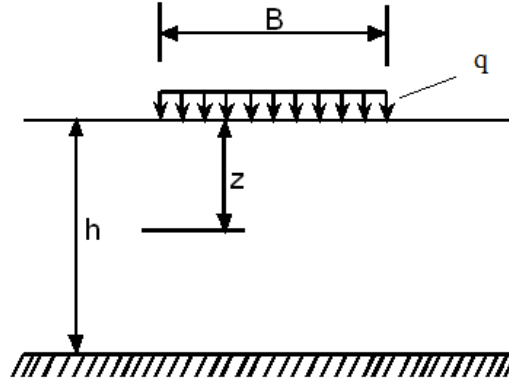


Şekil 1.20. Eşdeğer tekil yük yöntemi

1.4. Sınırlı Tabaka Çözümleri

1.4.1. Üniform Şerit Yük Durumu

Şekil 1.21’de görülen sınırlı tabakaya etki eden B genişliğinde q üniform şerit yükünden meydana gelecek düşey gerilme artışları, $\Delta\sigma_z$, ve oturma miktarları, ρ_z , aşağıda görülmektedir.

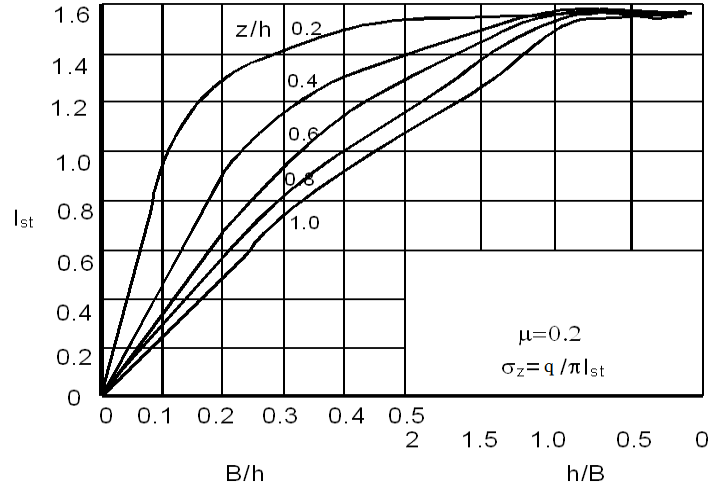


Şekil 1.21. Üniform çizgisel yük durumu (Poulos ve Davis, 1974)

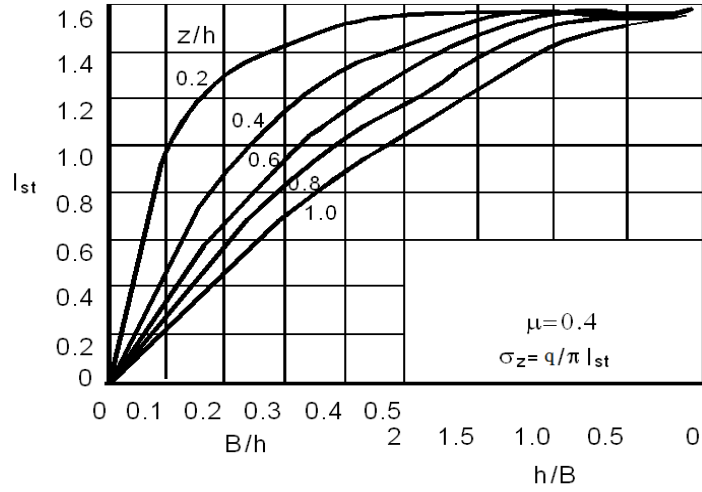
$$\sigma_z = \left(\frac{q}{\pi} \right) \times I_{st} \quad (1.16)$$

$$\rho_z = \left(\frac{(q \times h)}{(\pi \times E)} \right) I_{st} \quad (1.17)$$

Bağıntı 1.16 ve 1.17’de, q, uygulanan yükü, I_{st} , etki faktörünü, E, elastisite modülünü, h, zemin tabakasının kalınlığını ve μ , Poisson oranını göstermektedir. Şekil 1.22 ve 1.23’de farklı Poisson oranları için çizilmiş ilave düşey gerilme etki faktörleri eğrileri görülmektedir.



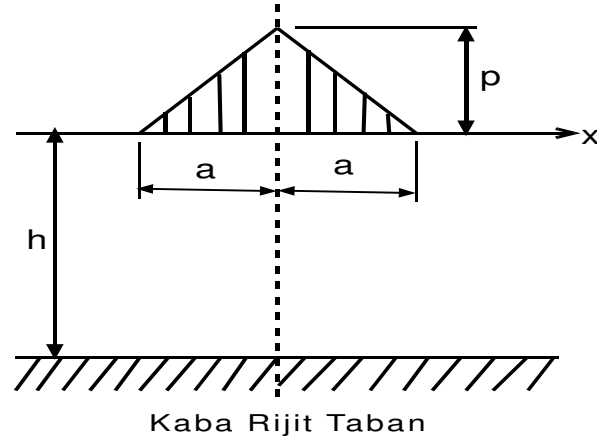
Şekil 1.22. Poisson oranı (μ) 0.2 için etki faktörü eğrileri (Poulos ve Davis, 1974)



Şekil 1.23. Poisson oranı (μ) 0.4 için etki faktörü eğrileri (Poulos ve Davis, 1974)

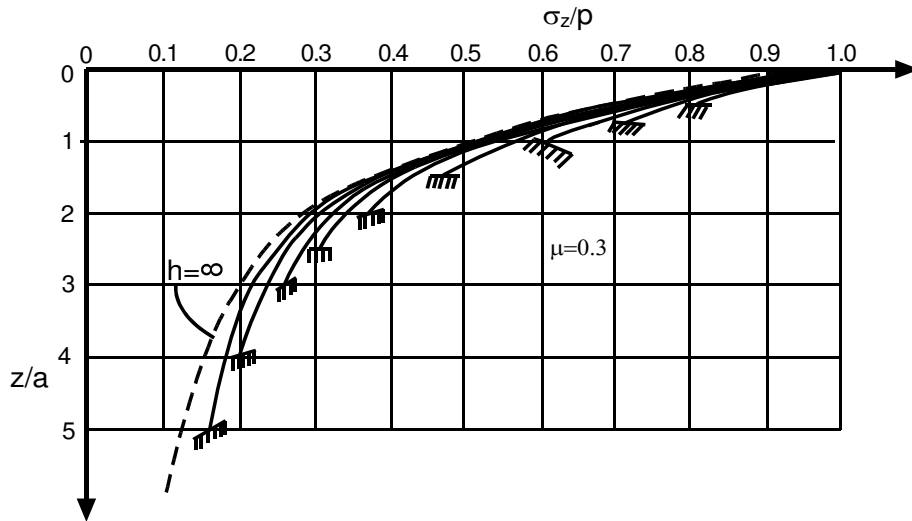
1.4.2. Üçgensel Yük Durumu

Giroud ve Watissee (1972) üçgensel yük ile yüklü sınırlı tabakada meydana gelecek gerilme artışlarını Poisson oranının 0.3 olduğu durumda uygulanan yükün, merkezi ve kenar noktaları için elde etmişlerdir (Şekil 1.24).

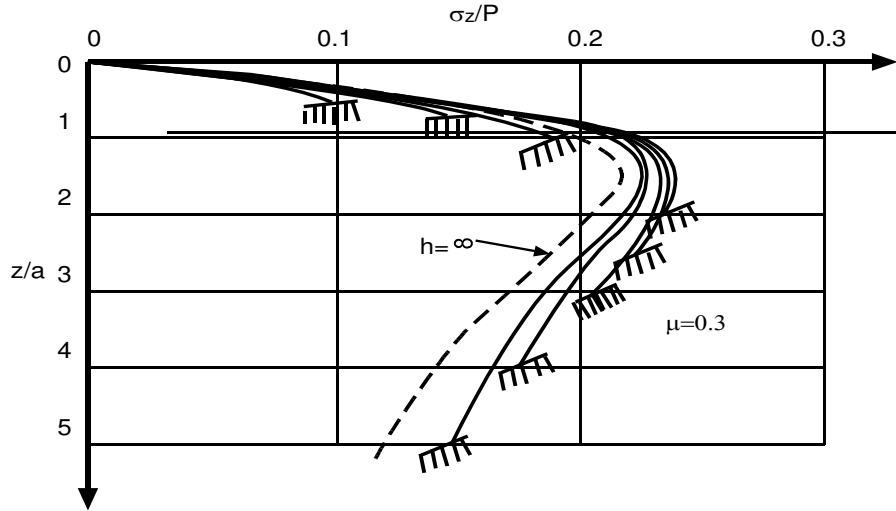


Şekil 1.24. Üçgensel yük ile yüklü ile sınırlı tabaka (Poulos ve Davis, 1974)

Bu sonuçlar, düşey gerilme artışının üçgensel yayılı yüke oranına (σ_z/q) bağlı olarak Şekil 1.25 ve 1.26’da görülmektedir.



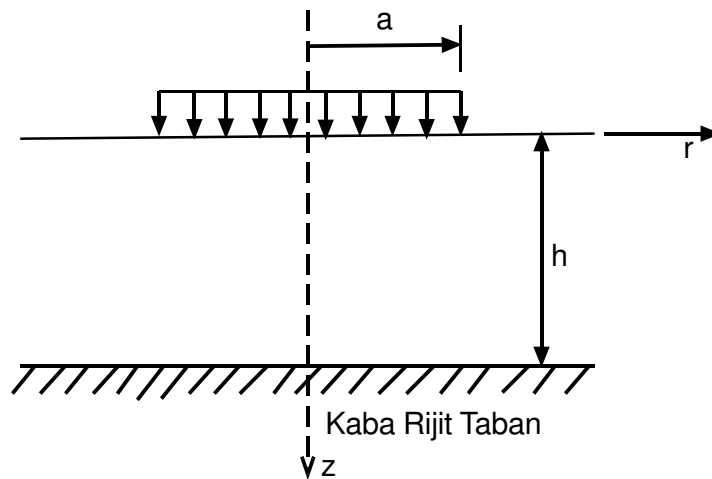
Şekil 1.25. Üçgensel yükün merkezi altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$) (Poulos ve Davis, 1974)



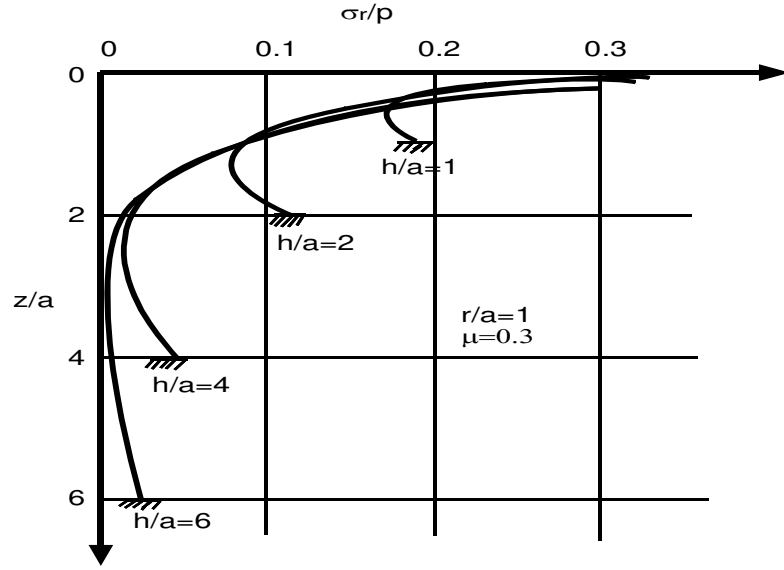
Şekil 1.26. Üçgensel yükün kenar noktaları altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$) (Poulos ve Davis, 1974)

1.4.3. Üniform Dairesel Yayılı Yük Durumu

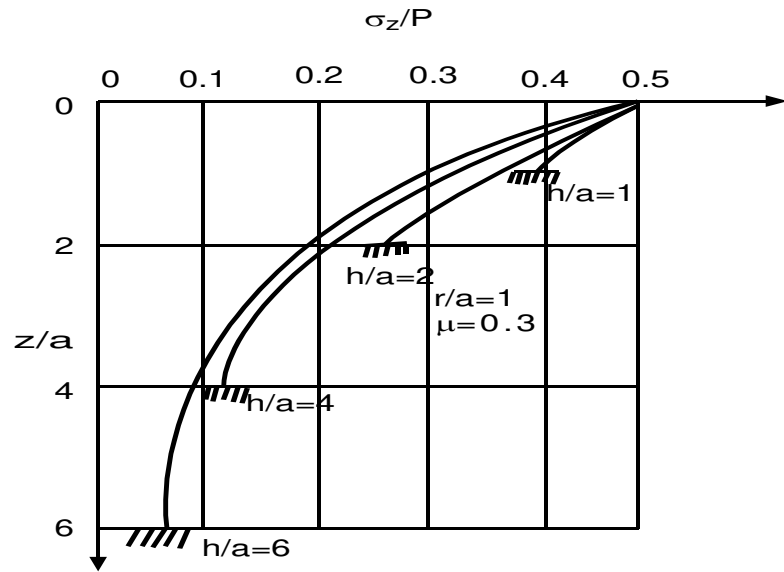
Milovic (1970), dairesel alan ile yüklü sınırlı tabakanın (Şekil 1.27) altında oluşabilecek üç farklı poisson oranı için ($\mu=0.15$, 0.30 ve 0.45) ve dört farklı h/a değeri için dairesel alanın merkezi ve kenar noktaları altında meydana gelecek düşey gerilme artışı değerlerini hesaplamıştır. Poisson oranının 0.3 olduğu durumda meydana gelecek düşey gerilme artışları Şekil 1.28 ve 1.29’de görülmektedir.



Şekil 1.27. Dairesel alan yükleme ile yüklü sınırlı tabaka (Poulos ve Davis, 1974)



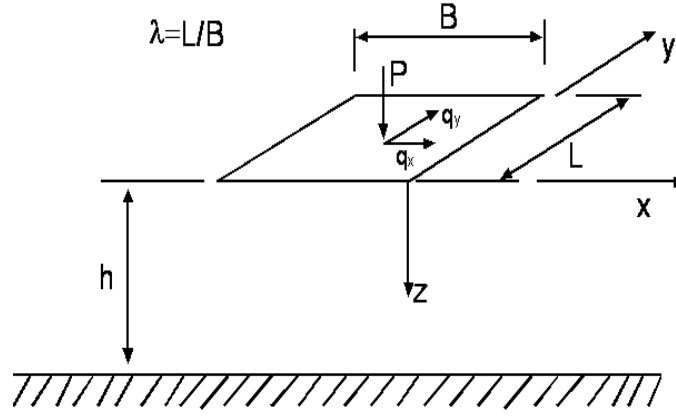
Şekil 1.28 Dairesel alanın merkezi altında oluşabilecek düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$) (Poulos ve Davis, 1974)



Şekil 1.29. Dairesel alanın kenar noktaları altında oluşabilecek düşey gerilme artışı değerleri ($\Delta\sigma_z$) (Poulos ve Davis, 1974)

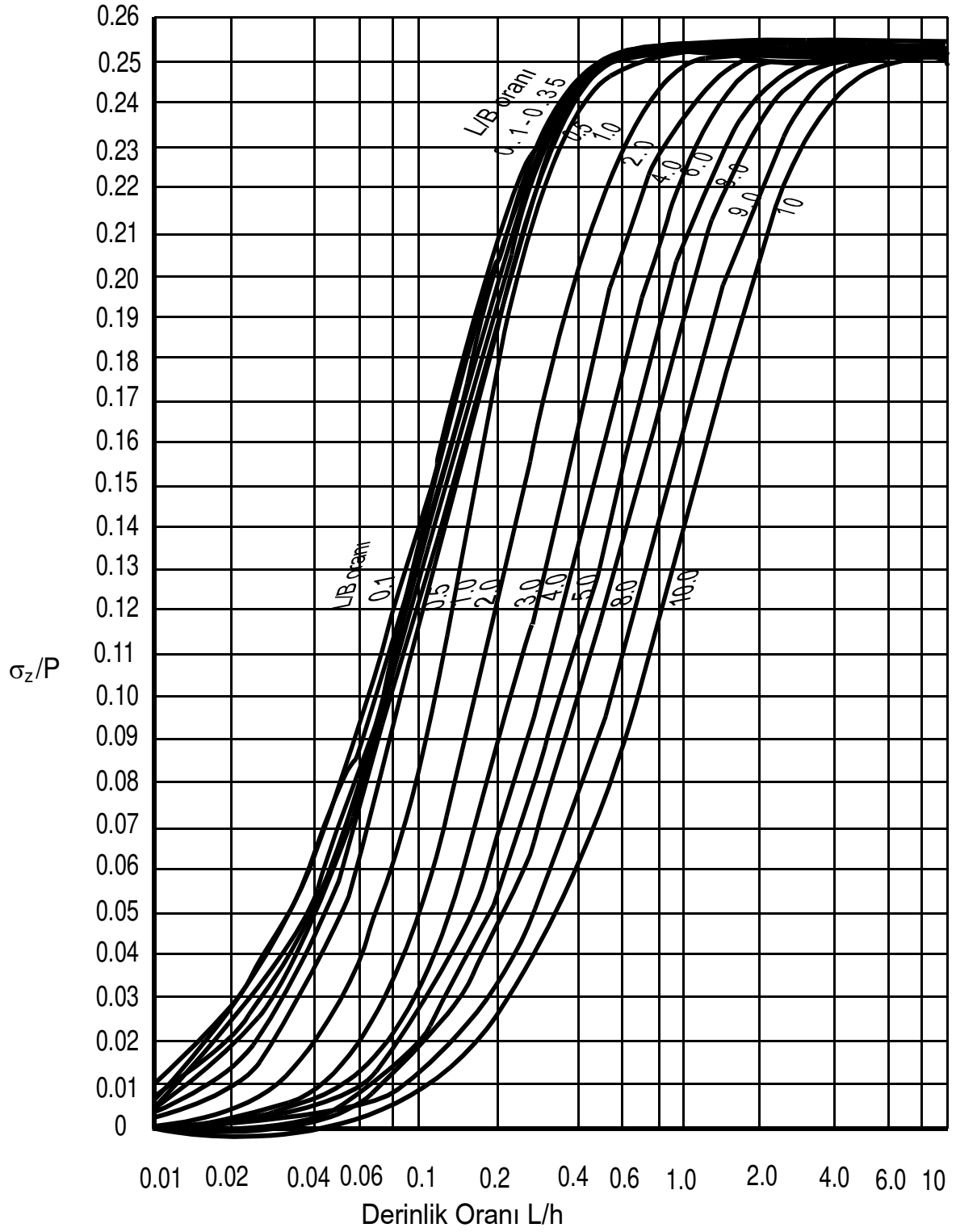
1.4.4. Üniform Dikdörtgen Yayılı Yük Durumu

Burmister (1956) sınırlı kalınlıkta bir tabakanın üzerine uygulanan dikdörtgen üniform yayılı yük için farklı derinliklerde alanın köşe noktaları altında meydana gelecek gerilme artışlarını hesaplamıştır (Şekil 1.30).



Şekil 1.30. Üniform dikdörtgen alan ile yüklü sınırlı tabaka (Poulos ve Davis, 1974)

Poisson oranı 0.4 için köşe noktalar altındaki gerilme artışı değerleri Şekil 1.31’de görülmektedir.



Şekil 1.31. $z=0.2h$ için dikdörtgen alanın köşe noktaları altında meydana gelen düşey gerilme artışı ($\Delta\sigma_z$) (Poulos ve Davis, 1974)

1.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilmelerin Hesabı

Sonlu Elemanlar Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine anlaşılır bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm metodudur. Bunun nedeni, genel bir bilgisayar programının sadece giriş verilerinin değiştirilmesi vasıtasıyla herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilir olmasıdır. Sonlu elemanlar metodu, inşaat mühendisliğinin çoğu alanında hem araştırma amaçlı, hem de problemlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan bir sayısal analiz tekniğidir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, ilk olarak davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Daha hassas çözümler elde edilmek istendiğinde daha küçük eleman boyutları seçilmelidir; ayrıca elemanın şekli boyutu problemin türüne göre seçilmelidir. Var olan problemin, uygun sonlu elemanlara ayrılmasının ardından ele alınan parametrenin ortamdaki değişimini gösterecek yaklaşım denklemi seçilmektedir. Çözümlerdeki yaklaşıklık ve sonuçlardaki doğruluk, seçilen yaklaşım denkleminin gerçeğe yakınlığına bağlı olmaktadır. Yaklaşım denklemi problemin yapısına ve çözüm yapılacak yere uygun şekilde belirlenmelidir. Yaklaşım denkleminin, derecesi ve katsayıları belirlenen polinomlar veya seriler şeklinde tanımlanmaktadır (Bağrıaçık, 2010).

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerlerinin elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır.

Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden

olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir.

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metodlardan üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir:

- Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel rijitlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanabilir (Topcu ve Taşgetiren, 1998).

Sonlu elemanlar yönteminde izlenen adımlar ise şöyle sıralanabilir:

- Cismin sonlu elemanlara ayrılması,
- Yaklaşım fonksiyonunun seçimi,
- Eleman rijitlik matrisinin oluşturulması,
- Sistem rijitlik matrisinin oluşturulması,
- Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması,
- Sınır şartlarının belirlenmesi,
- Sistem denklemlerinin çözümü.

1.6. Geosentetik Malzemeler

Geosentetiklerin geoteknik problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanması çok eskilere gitmemesine rağmen, geosentetikler günümüzde hızla artan bir oranda çok çeşitli projelerde uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Bunun sebebi birçok probleme ekonomik, hızlı ve estetik çözümler getirmekte oluşudur.

İstinat yapılarının ve toprak dolguların geosentetik donatılı olarak tasarlanması, özellikle son yıllarda geoteknik mühendisliği alanında giderek yaygınlaşan ve geniş uygulama alanı bulmaktadır. Geotekstil donatılı zemin ve istinat yapısı uygulamalarının

yaygın hale gelmesinin nedeni, bu yöntemle alışlagelmiş büyük temel boyutlarına ve betonarme duvar kesitlerine ihtiyaç duyulmadan daha ekonomik ve daha estetik yapıların inşa edilebilmesidir.

Geosentetikler, inşaat mühendisliği uygulamalarında, zemin içerisinde ve gerekirse başka yapı malzemeleriyle kullanılan sentetik yüzey elemanlarının genel adıdır. Bu tanım altında, neredeyse tamamen polimer bazlı geniş bir ürün çeşidi vardır. Bu ürünlerden, günümüzün geniş üretim ve tasarım olanakları sayesinde, geoteknik, çevre, hidrolik ve ulaştırma mühendisliği alanlarında yararlanılmaktadır (Shukla, 2002). Zaten bu yapı malzemesinin uygulama alanlarının bu çerçevede olmasından dolayı isimlendirmede geosentetik terimi uygun görülmüştür. Geo, zemini, sentetik ise geosentetik üretimi için gerekli olan, basta polimerler olmak üzere, fiberglas, lastik, kauçuk gibi plastik endüstrisi ürünlerini ifade etmektedir (Koerner R.M., 1998).

Geosentetiklerin yaygın olarak kullanılmaya başlanması 1970’li yıllara dayanır. Genellikle Asya’nın güneydoğusundaki kıyı ve liman yapılarında filtre ve yalıtım özelliklerinden faydalanılmıştır (Shukla, 2002). Takip eden yıllarda malzemenin kullanımı ile ilgili akademik çalışmalar, üretim sektöründeki hızlı gelişmeler saha uygulamalarının çeşitliliğini arttırmıştır. Günümüzde farklı fonksiyonları, kullanım sahaları olan farklı isim ve markalarda çok geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bu sebeple geosentetikleri malzeme özellikleri ve kullanım amacına göre sınıflandırmak daha doğru olmaktadır. En temel sınıflandırma malzemenin geçirimli ya da geçirimsiz oluşuna göre yapılmaktadır. Geçirimli geosentetikleri geotekstiller ve geotekstil benzeri ürünler, geçirimsiz olanları ise geomembranlar ve geomembran benzeri ürünler olarak tanımlayabiliriz. Bununla birlikte malzemelerin farklı fiziksel özellikleri sebebiyle sektörün en sık kullandığı geosentetikleri; geotekstiller, geogridler, geonetler, geomembranlar, geokompozitler ve geohücre olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.6.1. Geotekstiller

Geotekstiller, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünleri tanımlanmaktadır (Ingold ve Miller, 1998).

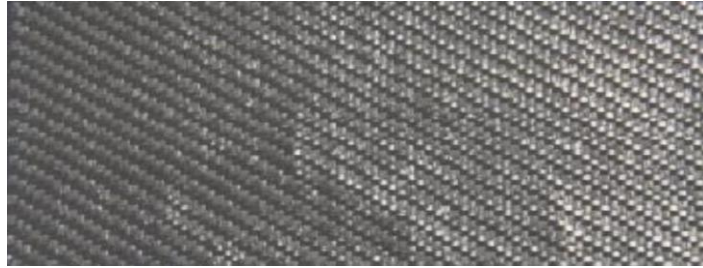
Geotekstillerin üretiminde fiber, filament veya iplikler kullanılır. Fiber, kesilmiş film şeritlerini de içeren, bükülebilirliğe, inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranı ile

karakterize edilen malzemelerdir. Filament ise belirli uzunluğa sahip fiberlerdir. İplik terimi ise yine belli bir uzunluğa sahip, nispeten küçük kesit alanlı, bükülmüş veya bükülmemiş fiber veya filamentlerin montajlanmış, geotekstil üretimine hazır hale getirilmiş durumu için kullanılır (Giroud, 1986).

Geotekstiller çeşitli özelliklerine göre alt sınıflara ayrılmaktadır. Bu özelliklerin başlıcaları; yapım tekniği, polimer bileşeni, ağırlığı ve mühendislik fonksiyonudur. Yapım tekniğine göre sınıflandırmada genel olarak iki ana sınıf vardır: örgülü ve örgüsüz ürünler. Bu gruplar da kendi aralarında yapıldıkları ipliğin ve fiberin türüne göre alt gruplara ayrılırlar.

1.6.1.1. Örgülü Geotekstiller

Genellikle yüksek çekme dayanımı istenildiğinde kullanılan örgülü geotekstiller iki yönde kesintisiz iplik içermektedir. Böylece, ipliğin tüm teknik avantajlarından yararlanılarak düşük uzamalarda yüksek dayanımlar elde edilir. Her ne kadar iplikler birbirlerine dik açı yapacak şekilde iki yönde dokunmuşlarsa da iplikler arasındaki sürtünme ve sarılma nedeniyle malzeme önemli ölçüde diyagonal dayanım gösterir. Şekil 1.32’de örgülü geotekstil örneği görülmektedir.



Şekil 1.32. Örgülü geotekstil (URL-1, 2013)

Örgülü geotekstiller, geleneksel dokuma tezgahlarında üretilirler. Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi enine eleman (çözgü) kullanılarak dokuma üretilir. Kullanılan ipliğin ham maddesine ve tipine göre farklı geotekstiller üretilerek farklı fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler elde edilebilir.

1.6.1.2. Örgüsüz Geotekstiller

Geotekstillerin dünya pazarındaki asıl gelişmeleri, örgüsüz geotekstillerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Örgüsüz geotekstiller; ipliğe dönüştürülmemiş, çeşitli yöntemlerle birbirine tutturulmuş, doğal ya da sentetik, kesikli ya da sonsuz uzunlukta elyaflardan oluşurlar. Şekil 1.33’de örgüsüz geotekstil örneği verilmiştir.



Şekil 1.33.Örgüsüz geotekstil (URL-2, 2013)

Örgüsüz geotekstilleri sınıflandırırken fiberin bağlanma biçimleri esas alınarak; ısı, kimyasal ya da mekanik birleştirmeli olarak sınıflandırmak mümkündür. Mekanik bağlamada, gevşek bir ağ durumundaki lifler konveyörün üzerine serilir ve bu ağ karşılıklı kancalı iğnelerle donatılmış bir panonun altından geçirilir. Bu kancalı iğneler, ağın tüm kalınlığı boyunca iner ve çıkar. Yukarı çıkma sırasında ağdaki bir kısım lif iğnelere takılır ve aşağı indiğinde tekrar bu liflerin yer değiştirip birbirlerine iyice karışması sağlanır. Her bir iğne tablasında binlerce iğne bulunur. Bu iğnelerin dağılım yoğunluğunu ayarlayarak, geotekstilin sıklığını ve yoğunluğunu ayarlamak mümkündür.

Termik (ısı yoluyla) bağlama yönteminde ağın üstü eritilerek yapışkanlık verilir ve liflerin birbirine bağlanması sağlanır. Termik bağlama liflerden oluşan ağ, ya sıcak rulolar arasından ya da bir fırından geçirilerek gerçekleştirilir.

Kimyasal bağlamada ise akrilik yapıştırıcılar kullanılır. Lifler üzerine genellikle akrilik püskürtülür veya lifler akrilik banyosuna batırılır. Daha sonra fırından geçirilerek kür yapılır. En az kullanılan yöntemdir (Töremis, 2003).

Isıl yolla üretilen örgüsüz geotekstiller, daha az mukavemet ve küçük deformasyonda ani kopma gösterirken, mekanik yolla üretilen geotekstiller ise daha büyük deformasyon göstermektedir.

1.6.1.3. Geotekstillerin Genel Özellikleri

Daha önceden de bahsettiğimiz gibi geotekstiller çeşitli polimer malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Karayolu Teknik Şartnamesi (2006), ayırma amacıyla kullanılacak örgüsüz geotekstillerin teknik özelliklerinin Tablo 1.4’de sunulan değerleri sağlaması gerektiğini belirtmiştir.

Tablo 1.4. Ayırma amaçlı örgüsüz polipropilen geotekstil tipleri ve özellikleri

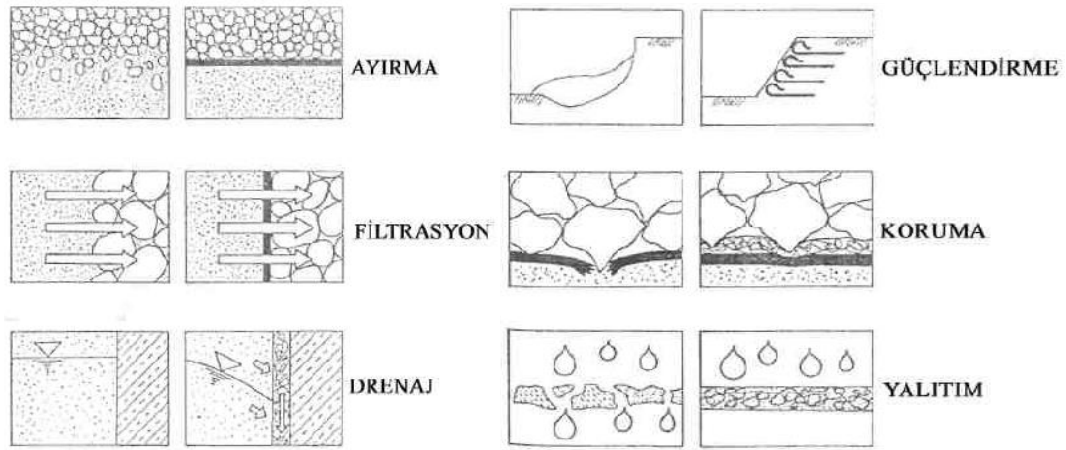
DENEYLER	BİRİM	GEOTEKSTİL TİPİ			DENEY STANDARDI
		TİP - A	TİP - B	TİP - C	
Kalınlık, 2 kPa Basınçta (min.)	mm	1,8	2,5	3	EN 964
Çekme Dayanımı, (min.) (MD/CD)	kN/m	12/14	20/25	24/30	EN ISO 10319
Kopma Uzaması	%	50-70	50-70	50-70	EN ISO 10319
Delinmeye Karşı Dayanım, (min.), (CBR testi)	N	2300	3500	4500	EN ISO 12236
Koni Düşürme Deneyi, (min.)	mm	22	10	7	EN 918
Görünen Gözenek Boyutu, (min.) O_{90}	mm	0,08	0,08	0,08	EN ISO 12956
Permeabilite, düzlemde					EN ISO 11058
V_{H50}	m/sn	0,08	0,05	0,04	
q	Lt/m ² s	80	50	40	

Mekanik özellikler hem geotekstil üretim yönünde, hem de bu yöne dik olarak ölçülür. Ölçülen özellikler çekme dayanımı (kN/m), kopma uzaması (%) ve yırtılma dayanımıdır. Ağırlık, geotekstilin diğer özelliklerinin ve fiyatının bir göstergesidir. Ayrıca ağırlık, kalınlık, gözenek yapısı ve buna bağlı olarak hidrolik özellikleri de etkileyebilir. Kalınlık, belirli basınç altında geotekstilin alt ve üst yüzleri arasındaki mesafedir. Arazideki uygulama sırasında geotekstilin gerçek kalınlığının tespiti farklı gerilmelerden dolayı zordur. Genellikle geotekstillerin kalınlıkları 0.2-10 mm arasında değişmektedir.

Hidrolik özellikler, geçirgenliğin daha açık bir ifadeyle yüzeye dik geçirgenliğin ve yüzey boyunca geçirgenliği bulunmasıyla belirlenir. Filtrasyon özelliği ise filtrasyon çapı olarak ifade edilen O_{95} (Malzemenin %95’inin geçeceği göz açıklığının mikron değeri) gözenekliliğin belirlenmesiyle bulunur.

1.6.1.4. Geotekstillerin Fonksiyonları

Günümüzde geotekstillerin kullanım alanları çok genişlemiş ve dolayısıyla geotekstil çeşitleri de artmıştır. Tasarımcı, proje için en uygun geotekstili seçmeli ve uygulamasını buna göre yapmalıdır. Tasarım sırasında izlenecek yöntemler: maliyet ve uygunluğa, belirli özelliklere ve kullanım amacına göre tasarım şeklinde sıralanabilir (Şekil 1.34)



Şekil 1.34. Geotekstillerin fonksiyonları (URL-3, 2013)

Ayırma amacıyla kullanılan geotekstil, ince taneli zemin ile kaba taneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayıraç fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur. Geotekstiller, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal dolaşımına engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır.

Filtrasyon amacıyla geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın en küçük tane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon işinde kullanılacak geotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstilin karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük

parçacıkların geotekstile hareketini önler. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir.

Drenaj amacıyla kullanılan geotekstil, kendi düzlemi boyunca sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstilin bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içerisinde aktarılır.

Güçlendirme amacıyla kullanılan geotekstil, noktasal yüklerin eşit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnmek suretiyle zemin kütlesini güçlendirir. Zeminlerin aksine, geotekstiller çekme direncine sahiptir. Çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini arttırarak, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar.

Yalıtım amacıyla geotekstil, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstilin, yeterli miktarda bitümü tutma özelliğinin olması gerekir.

1.6.2. Geogridler

Geogridler, geosentetikler içerisinde küçük ama hızla gelişen bir kısmı temsil eder. Yüksek deformasyon modüllü polimer malzemelerin hazırlanması için gerekli yöntemlerdeki gelişmeler sayesinde, özellikle de soğuk işleme yöntemindeki gelişmeler, bu malzemelerin donatı olarak kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.

Geogridler, büyük aralıkların periyodik şekilde devam ettiği plastiklerdir. Çeşitli imalat şekilleri vardır. Bunlar: bir ya da iki doğrultuda fiziksel özelliklerini iyileştirmek için çekme, dokuma veya örgü makinelerinde standart yöntemlerle ve şerit ya da çubukların birbirlerine bağlanmasıdır. Genellikle, yüksek yoğunluklu polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA, naylon) veya PVC ile kaplanmış yüksek modüllü polyester, kullanılarak imal edilirler. Genel olarak zemini güçlendirme (donatı) amacıyla kullanılırlar. Büyük göz açıklıkları sayesinde zemin ile geogrid arasında iyi bir kenetlenme oluşur. Bunun doğal sonucu olarak, zeminde düşük deformasyon ve yüksek çekme kuvveti oluşur.

Geogridlerin kullanıldığı yerlerden bazıları (Koerner, 2005):

- Yol, demiryolu ve havaalanı temelleri
- Donatılı istinat duvarları
- Temel zemininin güçlendirilmesi

- Toprak dolgu baraj gövdeleri
- vb.

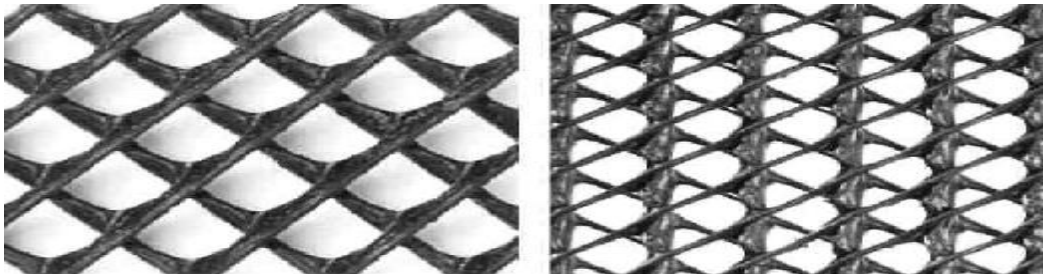
Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, geogridlerin bu alandaki kullanımları hızla artmaktadır. Şekil 1.35’te geogrid örneği görülmektedir.



Şekil 1.35.Geogrid (URL-4, 2013)

1.6.3. Geonet

Geonetler, paralel şerit kümelerinin dik açılarda çekilmesiyle imal edilirler. Bu şeritler açıldığında, büyük boşluklu ağ şeklinde bir yapı oluşur. Yüksek ve orta yoğunluklu polietilenden (HDPE-MDPE) imal edilirler. Bu tür geosentetikler, drenaj ve ayırma işlevlidir (Cernica, 1995). Şekil 1.36’da değişik geonet örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.36. Değişik geonet çeşitleri (URL-5, 213)

Geonetler, genellikle drenaj özellikleri için kullanılmaktadır. Şekil 1.37’de drenaj amaçlı geonet saha uygulaması detayı verilmiştir.



Şekil 1.37.Geonet saha uygulaması (URL-6, 2013)

1.6.4. Geomembran

ASTM, geomembranı “geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır.

Geomembranlar, sızdırmazlık özelliğine sahip ince polimer tabakalardır. Dolayısıyla esas kullanım amaçları sıvı ve gaz bariyeri olmalarıdır. Geomembranlar, polietilen, polivinilklorür, kopolimer bitüm ve klorlu polietilen gibi sentetik veya bitümlü ürünlerden yapılmaktadır (Koerner, 2005). Saha uygulamalarında geçirimsizliğin sağlanması genellikle geomembranlar sayesinde olmaktadır (Şekil 1.38).



Şekil 1.38. Geomembranın saha uygulaması (URL-7, 2013)

1.6.5. Geokompozitler

İnşaat sektöründeki gelişmeler, kullanılan geosentetiklerin çeşitlenmesini ve değişik çözüm önerilerinin sunulmasını gerekli hale getirmiştir. Geokompozitlerde bu ihtiyaçların karşılanması için geliştirilmiştir. Farklı malzemelerin değişik özellikleri kullanılarak sorunlara en uygun çözüm yolları bulunmaya çalışılmıştır.

Geokompozitler, geotekstil, geomembran, geogrid ve/veya geonetlerin bir birleşimi veya karışımı ile oluşturulur. Böyle uygulamaların yaygın olanlarından bazıları; geotekstil-geonet, geotekstil-geomembran, geomembran-geogrid vb.'dir. Uygulamaların her biri özel bir amaç içindir (Rollings ve Rollings, 1996).

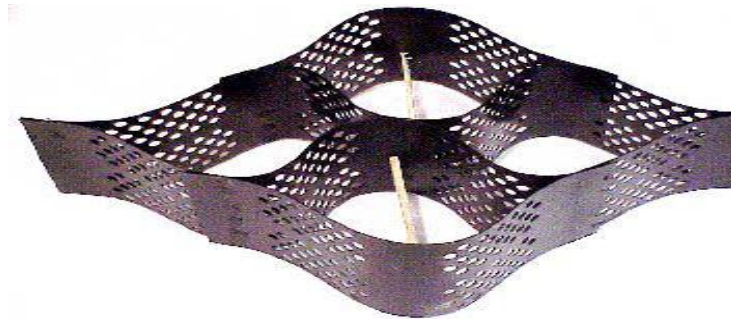
Geokompozitlerin çok sayıda uygulama alanı bulunmaktadır. Genelde geokompozitler ayırma, güçlendirme, filtrasyon ve drenaj gibi fonksiyonları göz önünde bulundurarak kullanılmaktadır. Şekil 1.39'da çeşitli geosentetikler kullanılarak elde edilen geokompozitin koruma, yastık tabakası ve püskürtme beton için tutma tabakası amaçlarıyla kullanımının uygulama detayı gösterilmektedir.



Şekil 1.39. Tünel inşaatında geokompozit kullanımı (URL-2, 2013)

1.6.6. Geohücre

Geohücreli tutucu sistemler, içerisi zemin, kaya ya da betonla doldurulmuş üç boyutlu petek tarzı elamanlardır (Şekil 1.40). Bu sistemler genellikle geohücre olarak adlandırılmakta olup, şerit şeklinde polimer tabakalardan ya da geotekstillerden üretilmekte olup, çaprazlama olarak yerleştirilmekte ve kesişim noktalarından birbirlerine sabitlenmektedirler. Bu şeritler çekildikleri zaman geniş bir petek şeklinde örtüye dönüşmektedir.



Şekil 1.40. Geohücre (URL-5, 2013)

Geohücreler, şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda gerekli olan bariyer ve koruma elmanı olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 1.41’de geohücre kullanılarak şevin dış etkilerden korunmasına yönelik uygulama detayı verilmiştir.



Şekil 1.41.Geohücre uygulaması (URL-2, 2013)

1.7. Literatür İncelemesi

Donatılı zeminler ve zeminlerde gerilme dağılışı birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu alanda teorik ve deneysel olmak üzere birçok araştırma yapılmıştır. Genel yaklaşım olarak yapılan teorik çalışma, deney sonuçları ile desteklenmeye çalışılmıştır. Aşağıda, donatılı zeminlerle ve donatısız zeminlerde gerilme dağılışı ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır.

1.7.1. Donatılı Zeminde Yapılan Çalışmalar

Fransız mimar-mühendis Henry Vidal 1960'ların ortalarında, çekme dayanımlı metal donatılarla güçlendirilmiş zemin kullanımı üzerine rasyonel tasarım prosedürleri ortaya koymuştur.

Akinmusuru ve Akinbolande (1981), deneylerinde ilk donatı kalınlığı (u), donatı tabakaları arasındaki boşluk (h) ve tabaka sayısının (N) zemin taşıma kapasitesine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini 1000 mm uzunluğunda ve 700 mm derinliğinde ahşap kasada gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 13 mm kalınlığında ve 100 mm uzunluğunda kare çelik levha kullanmışlardır. Temel zemini olarak 38° kayma mukavemeti açısı olan ve 1.700 Mg/m^3 kuru birim hacim ağırlığında kum kullanmışlardır. Takviye malzeme olarak 10 mm genişliğinde 0.03 mm kalınlığında ve kopma dayanımı

80N/mm² olan yerel dilde “iko” denilen fiber lifler kullanmışlardır. Deneylerde, sicimlerden bir ağ donatı tabakası oluşturacak şekilde kum tabakalarının üzerine yerleştirilmiştir. Çalışmalarında; ilk donatı tabakası derinliği, tabaka sayısı, tabakalar arasındaki düşey mesafe ve sicimler arasındaki yatay mesafe parametreleri ile taşıma gücü arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. İlk donatı derinliği 1.75B oranında olduğunda taşıma gücünde 3 katı aşan bir artma olduğunu belirtmişlerdir.

Patel (1982), kohezyonsuz donatılı zeminde, temel şeklinin taşıma gücü ve yük-oturma davranışına etkisini araştırmıştır. Deneylerde, D=141.5 mm çapında daire temel, B=145 mm genişliğinde şerit temel ve B=113.5 mm L=465 mm boyutlarında dikdörtgen temel kullanılarak, yük-oturma davranışı incelenmiştir. Donatı olarak geotekstil tabakaları kullanılmıştır. Temellerin herhangi bir seviyede oturma oluşması halinde taşıma gücünün maksimum olduğu en uygun ilk donatı derinliği oranının $u=0.47B$ veya $u=0.47D$ olduğunu belirlemiştir.

Fragaszy ve Lawton (1985), yaptıkları çalışmada güçlendirilen temel zeminlerinde takviye uzunluğunun ve zemin yoğunluğunun taşıma gücüne etkilerini incelemişlerdir. Deneylerini 560 mm genişliğinde, 1220 mm uzunluğunda ve 360 mm derinliğinde dikdörtgen sunta kasada yapmışlardır. Model temel olarak 76x152 mm ebatlarında dikdörtgen çelik levha kullanmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=1.5$, $C_c=0.75$, $\gamma=1.470$, 1.540 ve 1.590 Mg/m³, $D_r=\%31$, $\%70$ ve $\%90$ karşılık gelen $\phi=36.5^\circ$, 38° , 39° olan kum zemin kullanmışlardır. Takviye malzeme olarak 25.4 mm genişliğinde 0,0254 mm kalınlığında ve çekme mukavemeti 1.34 kN/m olup evlerde kullanılabilen alüminyum folyo kullanmışlardır. Deneylerinde ilk donatı derinliği 25.4 cm ($u/B=0.33$) ve tabakalar arası mesafe (h) 25.4 mm olacak şekilde üç tabaka kullanmışlardır. Donatı uzunluğun 3B ve 7B arasında olduğunda, taşıma gücünde 1.25 ve 1.7 kat artış olduğunu belirtmişlerdir.

Guido vd. (1985), geotekstil ile güçlendirilen kumlu zeminlerdeki temeller üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Model deneylerde 1220 mm boyutlarında, 920 mm yüksekliğinde kare pleksiglas kasa ve 310 mm boyutunda kare temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=2.5$ ve 1.9 olan, $\rho_k=1.480$ ve 1.426 Mg/m³, $D_r=\%50$ ve $\phi=35^\circ$ ve 36° olan farklı dağılımda kum kullanmışlardır. Beş tabakalı geotekstil ile güçlendirilmiş temel zemininde (u/B) oranı 0.28 ve (h/B) 0.18 olması durumunda taşıma gücünde 2.8 kat artış olduğu bildirilmiştir.

Guido vd. (1986), geogrid veya geotekstil donatılı kum zemine, oturan model kare temelin taşıma gücünü incelemiştir. Orta sıkı kum kullanılarak, geotekstil-kum ve geogrid-

kum arasındaki sürtünme, donatı tabakaları arasındaki mesafe, donatı tabakası genişliği, donatı tabakası sayısı ve donatı çekme mukavemeti parametrelerinin taşıma gücüne etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı deneyler, geotekstil veya geogrid tabakaları kullanılarak tekrarlanmış ve her iki durum karşılaştırılmıştır. Geogrid donatılı zeminde yapılan deneylerle elde edilen taşıma gücü değerleri, geotekstille yapılan deneylerle elde sonuçlardan biraz daha büyük çıkmıştır.

Verma ve Char (1986), düşey galvanizlenmiş çubukların yerleştirilmesiyle güçlendirilen kum zeminde, model temelle taşıma gücü deneyleri yapmıştır. Düşey donatı kullanılmasının donatı boyu, donatı çapı, donatılı tabaka genişliği ve donatı aralığına bağlı olarak taşıma gücüne katkıda bulunduğu gösterilmiştir.

Samtani ve Sonpal (1989), metal şeritlerle güçlendirilmiş kohezyonlu zeminin taşıma gücü özelliklerini araştırmıştır. Deneylerle kohezyonlu zeminlerin taşıma gücünün donatı şeritlerinin kullanılmasına bağlı olarak artacağı ve temel genişliğinin dört katından fazla şerit uzunluklarında, taşıma gücünün şerit uzunluğundan fazla etkilenmediği belirlenmiştir. Donatılı zeminin taşıma gücü ile kullanılan donatı sayısı arasındaki ilişkinin lineer olmadığı ve donatılı kohezyonlu zeminlerde, taşıma gücü kırılmalarının farklı şekillerde gerçekleştiği sonuçlarına ulaşmıştır.

Khing vd. (1993), şerit temellerde, geogrid ile güçlendirilmiş kum zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için, 304,8 mm genişliğinde, 1100 mm uzunluğunda ve 914 mm yüksekliğinde çelik bir kasada deneyler yapmışlardır. Model temel olarak 304,8 mm uzunluğunda 101,6 mm genişliğinde ve 25,4 mm kalınlığında sert kereste kullanmıştır. Temel zemini olarak, uniformluk katsayısı (C_u) 1.53, derecelenme katsayısı (C_c) 1.10, kuru birim ağırlığı (γ_k) 17.14 kN/m³, Rölatif sıkılık derecesi (D_r) %70 ve kesme mukavemeti açısı (ϕ) 40.3° olan iyi derecelenmiş yuvarlak ince silisli kum kullanmışlardır. Deneyler; ilk donatı tabakası derinliği, donatı tabakası genişliği ve donatı tabakası sayısı değiştirilerek tekrarlanmıştır. Böylece sınır taşıma gücü ve belli oturmalara karşılık gelen taşıma gücü değerlerine göre hesaplanan, taşıma gücü oranları karşılaştırıldı. İlk donatı derinliği oranının (u/B) diğer tabakalar arası mesafeden (h) fazla olması gerektiğini, güçlendirme derinliği oranının (d/B) 2.25'den fazla olması halinde sonuç alınamayacağını, donatı tabaka uzunluğu oranı (L/B) maksimum fayda elde etmek amacıyla 6 eşit tabaka olması gerektiğini, taşıma gücü oranı hesaplamalarında, çökme oranının (s/B) 0.25, 0.50 ve 0.75 değerleri için yaklaşık %67 - %75 oranında nihai taşıma gücü değerleri elde ettiklerini ve 6 tabakalı güçlendirme ile 4 kat kadar taşıma gücünde artış olabileceğini bildirmişlerdir.

Omar vd. (1993), geogrid ile güçlendirilen zeminlerdeki yüzeysel temellerin donatı uzunluğu ile temel genişliğinin oranının (B/L) taşıma gücüne etkilerini araştırmıştır. Şerit temel deneyleri için 304,8 mm genişliğinde, 1100 mm uzunluğunda ve 914 mm yüksekliğinde, kare temel deneyleri için 910 mm genişliğinde, 910 mm uzunluğunda ve 910 mm yüksekliğinde geniş kasalar kullanmışlardır. 76,2×76,2 mm, 76,2×152,4 mm, 76,2×228,6 mm ve 76,2×304,8 mm boyutlarında (B/L) oranı 1, 0.5, 0.333 ve 0 olan dört kare temel model kullanılmıştır. Temel zemini olarak, $C_u=1.53$, $C_c=1.10$, $\gamma_k=17.14 \text{ kN/m}^3$, $D_r=\%70$ ve $\phi=41^\circ$ olan iyi derecelenmiş ince silisli kum kullanmışlardır. Deneylerden çıkardıkları bazı sonuçlar şunlardır: en büyük taşıma gücünü elde etmek için gerekli donatılı zemin tabakası kalınlığı şerit temellerde 2B ve kare temellerde 1.4B'dir, donatının katkısı olması için ilk donatı tabakasının, temel tabanından itibaren B derinliği içinde olmalıdır, en büyük taşıma gücünü elde etmek için gerekli donatı genişliği şerit temellerde 8B, kare temellerde 4.5B'dir.

Yetimoğlu vd. (1994), yaptıkları çalışmalarda, geogrid-donatılı kum zemin üzerine oturan temellerin, laboratuarda bir dizi model deneylerle ve sonlu elemanlar analizi yaparak taşıma kapasitesini ve oturma analizini araştırmıştır. Model deneyler, 700 mm genişliğinde, 700 mm uzunluğunda ve 1000 mm yüksekliğinde çelik kasada yapılmıştır. Model temel olarak 127 mm uzunluğunda, 101.5 mm genişliğinde, 12.5 mm kalınlığında dikdörtgen çelik levha kullanılmıştır. Temel zemini olarak, $C_u=2.33$, $C_c=0.76$, $\gamma_k=17.16 \text{ kN/m}^3$, $D_r=\%70-73$ ve $\phi=40^\circ$ olan iyi derecelenmiş ince kum kullanmışlardır. Donatılı ve donatısız kum zemin üzerine oturan temellerin göçme anındaki oturma değerlerinin birbirinden farklı olmadığını belirtmişlerdir.

Das ve Omar (1994), yaptıkları çalışmalarda geogrid ile güçlendirilen kumlu ve killi zeminlerdeki şerit temellerin taşıma gücünü karşılaştırmışlardır. Model deneyler için 1960 mm uzunluğunda, 305 mm genişliğinde ve 914 mm yüksekliğinde kasa kullanılmıştır. Tüm temellerin uzunluğu 304.8 mm olmak üzere, 50.8 mm, 76.2 mm 101.6 mm, 127 mm, 152.4mm ve 177.8 mm genişliğinde 6 farklı temel boyutunda deneyler yapmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=1.53$, $C_c=1.10$ ve kutuya konulan kumun sıklığı %55, %65 ve %75 olacak şekilde boşaltılmıştır. Deneylerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Bir zemin-geogrid sistemi için en yüksek mümkün sınır taşıma gücünü elde etmek için gerekli donatı tabakası kalınlığı kumlarda 2B, killerde ise 1.75B olarak belirlenmiştir. Donatıdan maksimum yarar sağlamak için ilk geogrid tabakası 0.3B ile 0.4B derinlikleri arasına yerleştirilmelidir. Donatılı veya donatısız kile oturan şerit temelin sınır yükteki oturması,

pratik olarak eşittir. Kumlarda ise donatı kullanılması sebebiyle, sınır yükte meydana gelen artışa temelin oturma miktarındaki artış eşlik etmiştir.

Mandal ve Manjunath (1995), geogrid ve dikey takviye olarak bambu kullanarak, kum zemine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Model deneyleri 610 mm uzunluğunda, 102 mm genişliğinde ve 460 mm yüksekliğindeki çelik kasada gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 100 mm genişliğinde, 40 mm kalınlığında ahşap şerit temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak efektif çapı (D_{10}) 0.2mm ve $C_u=4.6$ olan yöresel Mumbru kumu kullanılmıştır. Temel tabanından 0.5B mesafede taşıma gücünde optimum iyileşme elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Wasti ve Bütün (1996), donatısız ve donatılı kuma oturan yüzey şerit temelle taşıma gücü deneyleri yapmıştır. Deneylerde kum, deney tankına maksimum kuru yoğunlukta yerleştirilmiş ve üç farklı donatı (polipropilen lif, 10x10 mm açıklığa sahip 30x50 mm ve 50x100 mm boyutlarında polipropilen ağ) farklı yoğunluklarda (kumun kuru ağırlığına göre farklı yüzdelerde %0.075, 0.1 ve 0.15) kuma katılmıştır. Bu şartlarda taşıma gücü deneyleri gerçekleştirilmiş, donatı miktarı ve şeklinin taşıma gücü ve oturma karakteristiklerine olan etkileri tespit edilmiştir. Deneylerin sonucunda, genel olarak bu tür donatı parçacıklarının taşıma gücüne ve kırılmaya varmak için gerekli oturma miktarını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca taşıma gücünün, donatı şekline ve donatının katılma yoğunluğuna (ağırlıkça katılma yüzdesine) bağlı olduğu görülmüştür. Büyük donatı parçacıkları katılmış zeminler daha büyük taşıma gücü vermiştir.

Adams ve Collin (1997), model deneylerle donatılı kum zemin üzerine oturan ($B=304.6, 610, 910$ mm) boyutlarındaki kare tekil temellerin göçme oluşuncaya kadar belirli yükler altında donatı parametrelerinin taşıma gücüne ve oturmaya olan etkisini araştırmışlardır.

Özalay vd. (1998), Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi ile yumuşak zeminler üzerine inşa edilen, geotekstil donatılı dolguların davranışını incelemişlerdir. Deneylerde, kum dolgu zemin ile yumuşak kil taban arasına serilen geotekstilin ve kum içerisinde belli derinliklere yerleştirilen ikinci bir geotekstil tabakasının kum-kil zemin sisteminin taşıma kapasitesine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak; kum ile kil arasına yerleştirilen geotekstil tabakası, donatıdan çok ayırıcı bir tabaka olarak etkimıştır ve en büyük piston yükü, geotekstil tabakasının yüzeye yakın bir bölgeye yerleştirilmesi durumunda elde edilmiştir.

Gabr ve Hart (2000), yaptıkları çalışmada geleneksel olarak kullanılan taşıma kapasitesi yerine elastisite modülü açısından deney sonuçlarını değerlendirdiler. Deney sonuçlarına göre yük yerleşiminin geogrid ile güçlendirildiğinde daha iyi dağılım gösterdiğini belirtmişlerdir.

Shin ve Das (2000), bir veya daha fazla geogrid donatı tabakası içeren, orta sıkı veya sıkı zeminde deneyler yapmışlardır. Deneylerde bir şerit temel, iki farklı rölatif sıkılıkta ($D_r=0.59$ ve 0.74) kum ve tek çeşit geogrid kullanılmıştır. Her iki sıkılık için çeşitli gömme derinlikleri ($D_f=0.0-0.75B$), donatı tabakası sayısı ve donatı genişlikleri kullanılarak taşıma gücü deneyleri yapılmıştır. Böylece bir donatı tabakası kullanılan deneylerde optimum donatı derinliği temel genişliğinin %35'ine karşılık gelen derinlik olarak belirlenmiştir. Bunun yanında taşıma gücü oranının donatı tabakası sayısı, ilk donatı tabakası derinliği, donatı genişliği, rölatif sıkılık ile değişimi araştırılmıştır.

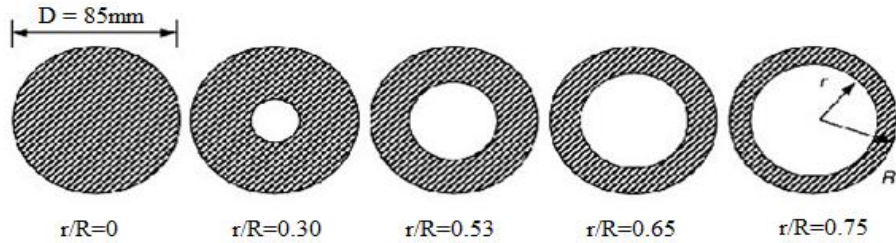
Alawaji (2001), çalışmasında oturma miktarını, elastisite modülünü ve taşıma kapasitesini, geogrid tabakasının derinliği ve genişliğini değiştirilerek araştırmıştır. Temel zemini olarak $C_u=2.96$, $C_c=1.351$, $D_r=\%68$, $\phi=42^\circ$, olan Riyad bölgesi Al Thomamah kumu kullanmışlardır. Model temel olarak 50 mm kalınlığında, 70 mm ve 100 mm çaplı alüminyum dairesel temel kullanmışlardır. Geogrid donatılı kumlarda donatı genişliği arttıkça ve donatı derinliği azaldıkça, oturmanın %95 azaldığı, elastisite modülünde %2000 ve taşıma kapasitesinde %320 artış görüldüğünü bildirmiştir.

Shin vd. (2002), yaptıkları çalışmada geogridle güçlendirilen kum zeminlerin taşıma gücüne etkileri araştırdılar. Model deneyleri 174 mm genişliğinde, 1000 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliğinde çelik kasada yapmışlardır. Model temel olarak 172 mm uzunluğunda, 67 mm genişliğinde ve 77 mm kalınlığında ahşap temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=2.65$, $C_c=1.51$, $D_r=\%74$ ve $\phi=38^\circ$ olan kötü derecelenmiş kum kullanmışlardır. Donatısız zemin ve ilk donatı derinliği (u/B) 0.4, tabakalar arası mesafe oranı (h/B) 0.4, donatı tabaka uzunluğu oranı (L/B) 6 olan güçlendirilmiş zeminde deneysel çalışma yapmışlardır. İlk donatı derinliği $2B$ olduğu durumda, donatısız zemine göre taşıma gücünün arttığını belirtmişlerdir. Temel derinliği oranı (D_f/B) sıfır iken donatısız durumdaki taşıma gücü 1.13 donatılı taşıma gücü 2.0, $D_f/B=0.3$ iken donatısız taşıma gücü 1.25 donatılı taşıma gücü 2.5 $D_f/B=0.6$ iken donatısız taşıma gücü 1.38 donatılı taşıma gücü 2.65 değerlerini elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Moroğlu ve Uzuner (2002), kum zemin üzerine oturan merkezi ve eksantrik yüklü şerit temelde, taşıma gücü, kırılma yüzeyleri ve oturma-yük eğrilerini donatısız ve donatılı

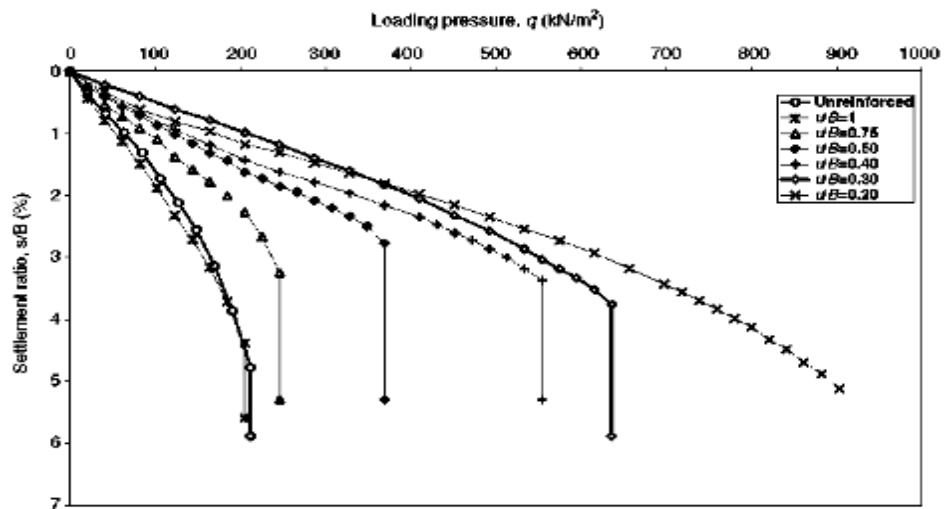
durumlar için karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Eksantrik temelerde kırılma yüzeyi (birincil) temelin eksantrisite tarafında meydana geldiği, kırılma yüzeyinin kum yüzey ile ara kesitinin temele olan uzaklığının eksantriste arttıkça azaldığını belirtmiştir.

Laman ve Yıldız (2003), geogridle güçlendirilen kum zeminlerdeki dairesel temellerin taşıma kapasitelerini araştırmışlardır. Model deneyleri 700 mm uzunluğunda, 700 mm genişliğinde ve 700 mm derinliğinde çelik kasa içerisinde yapmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.5$, $C_c=1.1$, $\gamma=17.10 \text{ kN/m}^3$, $\phi=41^\circ$ olan Seyhan nehri kumu kullanmışlardır. Model temel olarak Şekil 1.42’de detayları gösterilen 20 mm kalınlığında, 85 mm dış çapında ve değişik iç boşluk çaplarında çelik dairesel-halka temeller kullanmışlardır.



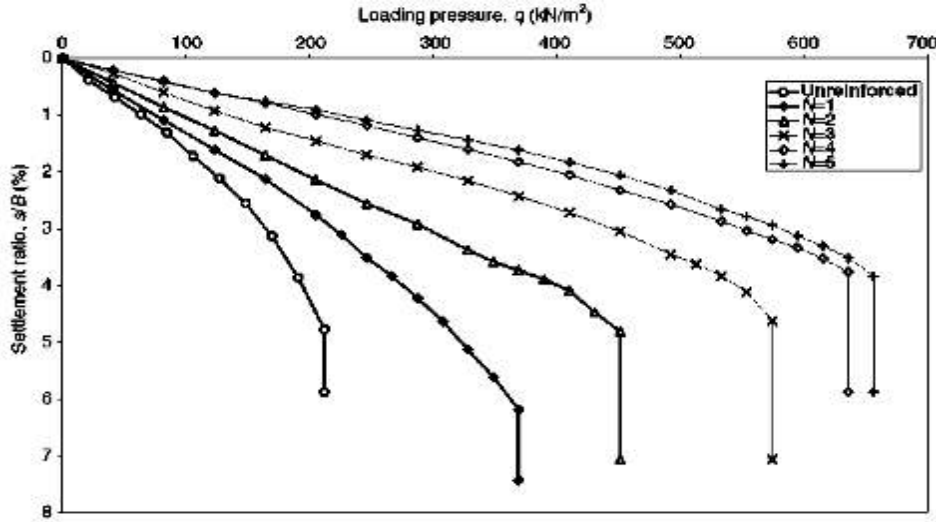
Şekil 1.42. Çelik model temellerin detayları (Laman ve Yıldız, 2003)

Şekil 1.43’te deneylerde kullanılan geogrid tabakası ilk donatı derinliklerinin (u/B) taşıma gücüne etkileri bildirilmiştir.



Şekil 1.43. İlk donatı derinliğinin taşıma gücüne etkisi (Laman ve Yıldız, 2003)

Şekil 1.44’de deneylerde kullanılan geogrid tabaka sayılarının (N) taşıma gücüne etkileri bildirilmiştir.



Şekil 1.44. Tabaka sayısı ile taşıma gücü arasındaki ilişki (Laman ve Yıldız, 2003)

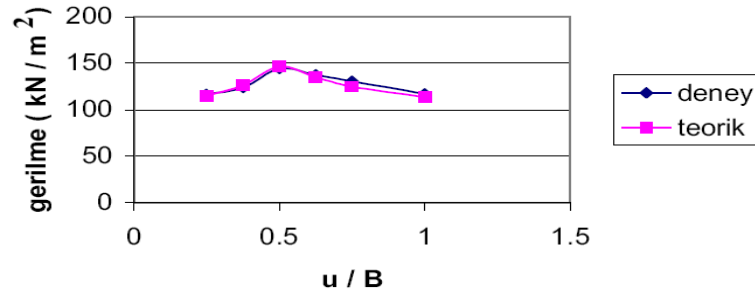
Geogrid ile güçlendirilen zeminlerde, donatısız zeminlere göre 3 kat daha fazla taşıma gücü elde edildiği tespit edilmiştir.

Kumar ve Saran (2003), donatılı kum zemine oturan kare ve şerit temellerle birçok deney yapmışlardır. Bu çalışmada; temeller arasındaki mesafenin, donatı boyutunun ve sürekli veya süreksiz donatı tabakası kullanılmasının taşıma gücü ve temel dönmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Donatılı kum zemine oturan yakın mesafeli kare temelde girişimin (temellerin altındaki gerilme artışlarının çakışması) taşıma gücü ve oturma üzerindeki etkisinin, aynı zemin koşullarındaki izole edilmiş temele göre önemsiz olduğu belirlenmiştir. Yakın mesafeli şerit temellerin altındaki zeminde, sürekli donatı tabakalarının kullanılması taşıma gücü, oturma ve bitişik temellerin dönmesinde önemli iyileşmeye sebep olmuştur.

Göktepe vd. (2005), yaptıkları çalışmada Toyoura kumunun dinamik mukavemet özelliklerini örgülü ve örgüsüz geotekstillerle iyileştirmenin etkisini araştırmak amacıyla dinamik gerilme kontrollü tekrarlı burulmalı kesme deneyleri yapmışlardır. Örgüsüz geotekstillerin sahip oldukları daha yüksek elastisite modülü ve sürtünme katsayısı değerleri nedeniyle, örgüsüz geotekstiller örgülü geotekstillere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Örgülü ve örgüsüz geotekstiller arasındaki sıvılaşmaya neden olan çevrim sayısı

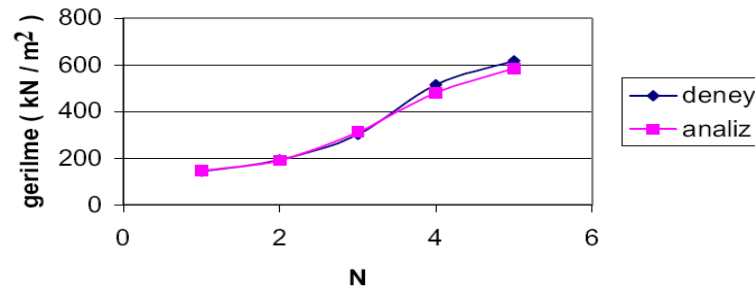
arasındaki farklılıklar, %50 seviyelerine varmaktadır. Tabaka ve dolayısı ile katman sayısındaki artışlar, sıvılaşma direncini arttırmıştır. Sayısal olarak, bir katmanlı durumdaki dayanım artışı örgülü ve örgüsüz geotekstiller için %25 ile %167 arasında iken, iki katmanlı güçlendirmelerde %47 ile %233 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Yıldız (2005), yaptığı çalışmada geogrid ile güçlendirilmiş şevli zemin üzerine oturan yüzeysel temelin taşıma kapasitesini model deneyler yaparak araştırmıştır. Model deneyleri 1035 x 405 mm ebatlarında ve 680 mm yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli kasa içerisinde yapmıştır. Model temel olarak 400 x 40 mm ebatlarında ve 20 mm kalınlığında metal plaka kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.94$, $C_c=0.88$, $\gamma=26.8$ kN/m³, $D_r=65$ ve $\phi=40.4^\circ$ olan Seyhan nehir yatağından getirilen kum kullanılmıştır. Şekil 1.45’de deney ve nümerik analiz sonuçlarına göre kullanılan geogridin ilk donatı derinliklerinin (u/B) taşıma gücüne etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.45. u/B sonuçlarının karşılaştırılması (Yıldız, 2005)

Şekil 1.46’da deney ve nümerik analiz sonuçlarına göre geogrid tabaka sayılarının taşıma gücüne etkisi gösterilmiştir.

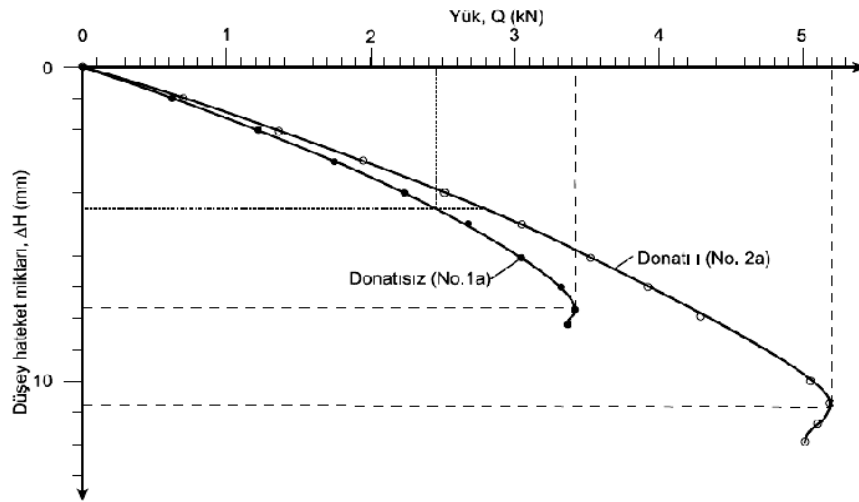


Şekil 1.46. Donatı sayısının karşılaştırılması (Yıldız, 2005)

Temel aksının şev tepesine olan uzaklığı $2B$ iken tek tabaka donatının yüzeyden $H=20$ mm aşağıya yerleştirilmesi durumunda temelin maksimum yük taşıma kapasitesine eriştiğini ve şev tepesinden olan optimum uzaklığın $5B$, donatı sayısının $N=4$ iken taşıma kapasitesinin artış oranının en fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Hataf ve Rahimi (2006), lastik parçalarını donatı olarak kullanılarak; bunun zeminde oluşturduğu taşıma gücü artışını incelemişlerdir. Deneyler laboratuvar ortamında donatılı kumun üzerine oturan model sıg temel kullanılarak yapılmıştır. Farklı kırpıntı içerikleri ve farklı kırpıntı en-boy oranları kullanılmıştır. En yüksek taşıma gücü % 40 kırpıntı içeriği ve 30 mm x12 mm'lik kırpıntılar kullanılarak elde edilmiştir.

Moroğlu vd. (2006), yaptıkları çalışmada, donatısız ve donatılı sıkı kuma oturan bir model yüzey şerit temelin davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Model deneyde 900 mm uzunluğunda, 100 mm genişliğinde ve 650 mm yüksekliğinde kasa içerisinde yapmışlardır. 100 mm genişliğinde model temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.64$, $C_c=1.16$, $D_r=\%74$, $\phi=41^\circ$ olan Rize ili, İyidere ilçesi sahil kumu kullanılmıştır. 400 g/m^2 birim alan kütlesi olan geotekstil kullanmışlardır. Şekil 1.47'de donatısız ve donatılı kumda, deney sonuçlarından elde edilen temelin yük-oturma eğrileri verilmektedir.

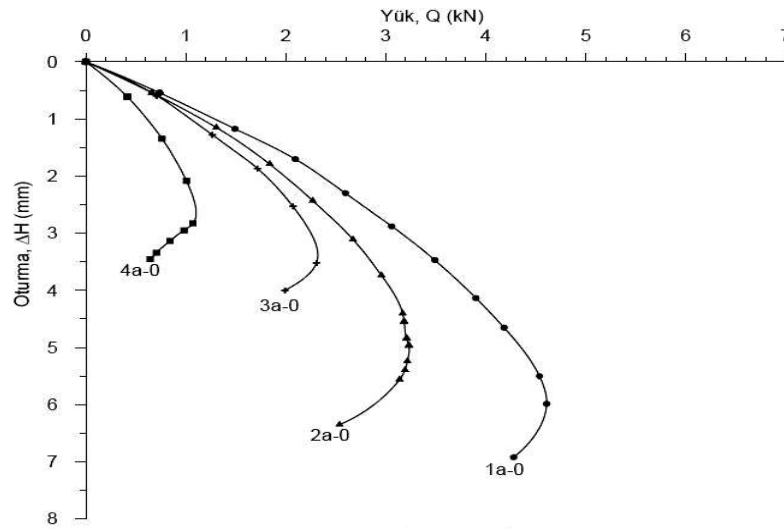


Şekil 1.47. Yük-Oturma eğrisi (Moroğlu vd., 2006)

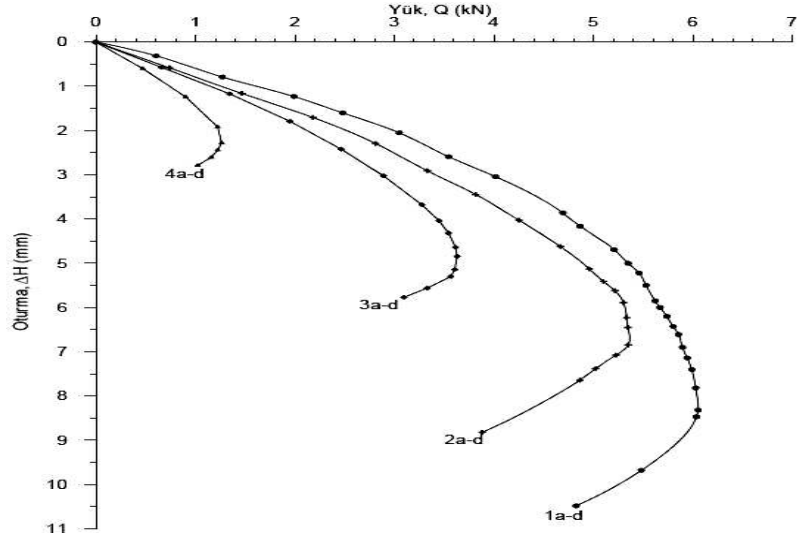
Örgülü bir geotekstilin, temel genişliğinin yarısı kadar bir derinliğe yerleştirildiği sıkı kuma oturan model yüzey şerit temelinin taşıma gücünün, donatısız duruma göre % 50 kadar arttığını bildirmişlerdir.

Patra vd. (2006), geogrid donatılı kum zemine oturan merkezi ve eksantrik yüklü şerit temelin, sınır taşıma gücünü belirlemek için model şerit temellerle deneyler yapmıştır. Deneylerde rölatif sıkılığı % 72 olan kum kullanılmıştır. Deneysel olarak, sınır taşıma gücü ile donatı tabakası kalınlığı, gömme derinliği ve eksantrisite arasındaki ilişki araştırılmaya çalışılmıştır. Deneylerin sonuçlarından benzer donatı durumlarında, eksantrik yüklü temelin taşıma gücü ile merkezi yüklü temelin taşıma gücü bir azaltma katsayısı ile ilişkilendirilmiştir. Bu azaltma katsayısının, eksantrisite ve donatılı zemin tabakası yüksekliği ile temel derinliği toplamının fonksiyonu olduğunu sonucu çıkarılmıştır.

Şadoğlu ve Uzuner (2008), yaptıkları çalışmada, donatılı ve donatısız kuma oturan eksantrik yüklü bir model sığ şerit temelinin yük-oturma ilişkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerini, 900 mm uzunluğunda, 100 mm genişliğinde ve 65 mm yüksekliğindeki kasa içerisinde gerçekleştirmişlerdir. 80 mm genişliğinde model temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.64$, $C_c=1.16$, $D_r=\%74$, $\phi=41^\circ$ olan Rize ili, İyidere ilçesi sahil kumu kullanılmıştır. 430 gr/m^2 birim alan kütlesi olan geotekstil kullanmışlardır. Şekil 1.47 ve şekil 1.48 de donatılı ve donatısız deneylerden elde ettikleri yük-oturma eğrileri toplu olarak verilmektedir.



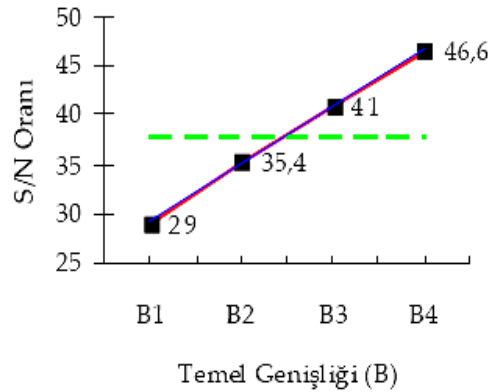
Şekil 1.48. Donatısız deneylerin Yük-Oturma Eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008)



Şekil 1.49. Donatılı deneylerin Yük-Oturma eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008)

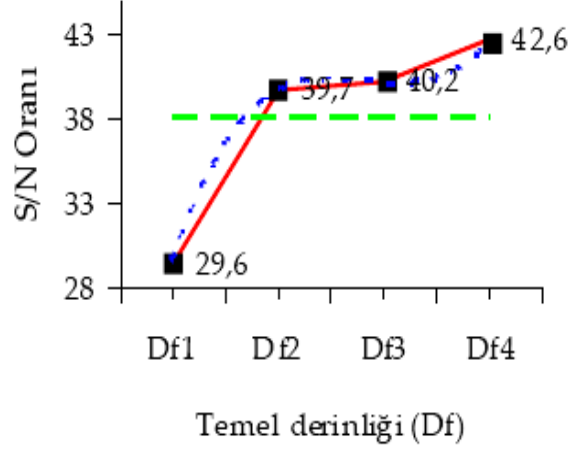
Aynı eksantrisitetlerde, belli bir oturma değeri için, donatılının daha büyük sınır yük verdiğini bildirmişlerdir.

Demiröz ve Tan, (2008), yaptıkları çalışmada, geogrid donatılı kum üzerine oturan model temellerde oturmayı etkileyen tasarım faktörlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Model deneyleri 390 mm genişliğinde, 1125 mm uzunluğunda ve 800 mm yüksekliğinde kasa içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 40, 60, 80 ve 100 mm genişliğinde şerit temeller kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.4$, $C_c=1.05$ olan kum kullanılmıştır. Şekil 1.50’de kullanılan temel genişlikleri (B) ile değişim indeksleri (S/N) arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 1.50. Temel genişliği ve değişim indeksleri arasındaki grafik

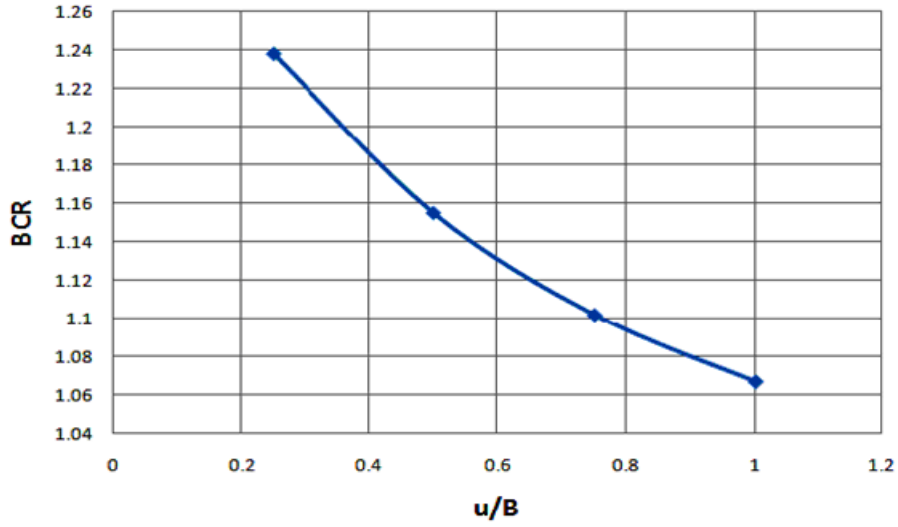
Şekil 1.51’de kullanılan temel derinlikleri (D_f) ile değişim indeksleri (S/N) arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 1.51. Temel derinliği ve değişim indeksleri arasındaki grafik

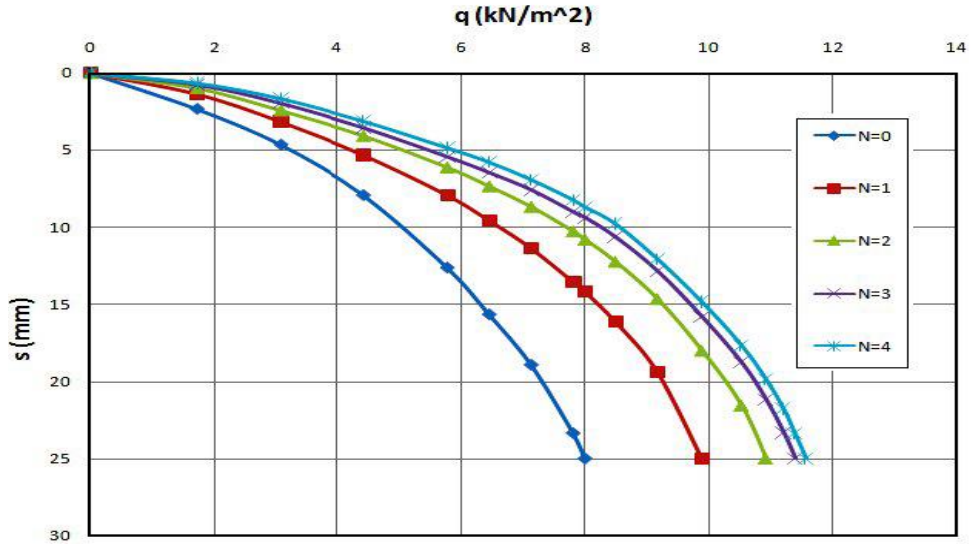
Sınır taşıma gücüne ulaşılması için gerekli oturma miktarı üzerinde en etkili parametrenin % 52’lik oran ile temel genişliği olduğunu, temel genişliği arttıkça oturma miktarının da doğrusal olarak arttığını, oturma miktarı üzerinde ikinci derecede etkili parametrenin ise %30’luk oran ile temel derinliği olduğunu belirtmişlerdir. Donatılı zemin uygulamalarında sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarının, donatısız zeminlere göre oldukça fazla olduğunu, bu durumun donatılı zeminlerde taşıma gücü yenilmelerinin daha büyük deformasyon değerlerinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Yasrobi vd. (2009), yaptıkları çalışmada, geotekstil ile güçlendirilen kum temellerdeki, geotekstil tabaka uzunlukları, derinlikleri ve boyutları üzerine deneyler yapmışlardır. Model deneylerini 1000 mm genişliğinde, 1000 mm uzunluğunda ve 800 mm derinliğindeki kasada yapmışlardır. Model temel olarak 20 mm çapında yuvarlak metal plaka kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1.8$, $C_c=1.19$ olan ve İran’dan getirilen silis kumu kullanmışlardır. Güçlendirici malzeme olarak 400 gr/m^2 yoğunluğa sahip geotekstil kullanmışlardır. Şekil 1.52’de deney sonuçlarına göre ilk donatı derinliğinin (u/B) taşıma gücüne etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.52. İlk donatı derinliğinin taşıma gücüne etkisi (Yasrobi ve ark., 2009)

Etkili güçlendirme derinliğinin (d) B ile sınırlı olduğunu, güçlendirme tabaka uzunluğunun (L) en fazla $3B$ olması gerektiğini ve ilk donatı derinliğinin (u) en fazla $0.25B$ olması gerektiğini bildirmişlerdir. Şekil 1.53'te ise $u/B=h/B=0.5$ ve $L/B=4$ şartlarında tabaka sayılarının taşıma gücüne etkileri verilmektedir.



Şekil 1.53. Donatı tabaka sayısının taşıma gücüne etkisi (Yasrobi ve ark., 2009)

Bağrıaçık ve Laman (2011), donatısız ve donatılı kumlu zeminlere oturan dairesel temeller altında gerilmelerin değişimini incelemiş ve sonuçta geogrid donatılı kumlu

zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin, donatısız duruma göre % 27 mertebelerinde fazladan azaldığını görmüşlerdir.

1.7.2. Zeminde Gerilme Dağılımları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Zeminlerde oluşan düşey gerilmelerin tahmini ve tespiti için birçok laboratuvar düzenekleri ve deney teknikleri geliştirilmiş, ayrıca zeminin elastik bir malzeme gibi davrandığı kabul edilip, elastisite teorisinden yararlanılarak, çok sayıda teorik çalışma yapılmıştır.

Terzaghi (1920), tarafından yapılan çalışma, zeminlerde oluşan gerilmelerin belirlenmesi amacıyla yapılan ilk deneysel çalışmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, kum ve kil numunelerde düşey yüklerden dolayı oluşan gerilmeler, oluşturulan deney düzeneğiyle ölçülmüştür.

Scheidig ve Kögler (1926), tarafından kumlu zeminlerde basınç dağılımına ait laboratuvar model deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada, bir kum dolgusunun yüzeyine bir yük konulmuş ve bu yükün belli derinliklerde bulunan yatay düzlemlerin çeşitli noktalarında meydana getirdiği basınçlar, bu noktalara yerleştirilmiş ölçme aletleri yardımıyla ölçülmüştür.

Kjellman (1936), üç eksenli deney aletine benzeyen bir deney aleti yaparak kumlu zeminlerde meydana gelen gerilmeleri ölçmüştür. Sonuçta $K_0=0.5-1.5$ değerlerini elde etmiştir.

Sağlamer (1972), kumlu zeminlerde düşey ve yatay gerilmeleri ölçmek amacıyla bir düzenek geliştirmiştir. Gerilmeleri ölçmek için üç adet transducer kullanılmış ve yüksek gerilmeler altında ölçümler yapılmıştır.

Hanna ve Ghaly (1992), yaptıkları deneysel çalışmada, kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri, gerilme transducerleri kullanarak ölçmüşlerdir. Çalışmada, sıklığın artmasına bağlı olarak deneysel ve teorik K_0 değerlerinin azaldığı, deneysel olarak ölçülen ilave gerilmelerin teorik değerlerden oldukça büyük olduğu görülmektedir.

Cho ve Vipulanen (1998), yaptıkları deneysel çalışmada, kumlu zeminlerde gerilme dağılımını belirlemek amacıyla, basınç ölçerler kullanmış ve ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler, 609.6 mm uzunluk, 508 mm genişlik ve 914.4 mm yüksekliğinde metal bir kasa içerisinde yapılmıştır. Çalışmada çapı 88.9 mm ve kalınlığı 25.4 mm olan diyafram tipi basınç ölçerler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kum, sıklık

derecesi $D_r = \%70$ olacak şekilde, kasa içerisine yerleştirilmiş ve rijit bir plaka ile yük uygulanmıştır. Sonuçlardan, deneysel ölçümlerin teorik hesapla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Hanna ve Soliman-Saad (2001), basınç ölçerler kullanarak kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri ölçmüş ve kompaksiyonun gerilme değerlerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla metal bir kasa içerisine, çeşitli derinliklere transducerler konmuş ve kum numunelerde oluşan gerilmeler, değişik sıklıklarda ölçülmüştür. Çalışmada teorik değerlerin, deneysel yolla ölçülen gerilme değerlerine çok yakın olmadığı görülmüştür. Çalışmada elde edilen önemli sonuçlardan birisi de, kum numunelerin sıklığının arttırılmasıyla, K_o değerlerinin, Jaky (1948) formülüne göre azalırken, deneysel ölçümlere göre artmasıdır.

Laman ve Keskin (2004), kumlu zeminler üzerine oturan kare temellerden dolayı zeminde meydana gelen ilave düşey gerilme değerlerini, deneyler yaparak incelemişlerdir. Deneyler, kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve gerilme değerlerini bulmak için basınç ölçerler kullanılmıştır. Sıklığın ilave düşey gerilme değerlerine etkisinin araştırılması için deneyler iki farklı sıklıkta hazırlanan kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip PLAXIS programı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, derinlik arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı, deney sonuçlarının üç derinlikte de Boussinesq çözümlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Laman vd. (2004), kumlu zeminlere oturan dairesel temellerden dolayı zemin içinde oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerini model deneyler yaparak incelemişlerdir. Deneylerde gerilme değerlerini bulmak için basınç ölçerler kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı sıklıkta kum numuneler hazırlanmış ve iki farklı çapta dairesel temel kullanılmıştır. Ayrıca model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek, PLAXIS paket programı ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlardan, taban alanından z derinliğinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılışının aynı karakteristik şekli gösterdiği, ölçüm derinliğinin artmasıyla temel plakası merkezinin altındaki basıncın da azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca kum numunelerin sıklık oranının arttırılmasıyla, aynı yükler altında

daha büyük gerilme değerlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Temel genişliğinin artmasıyla da benzer durumun oluştuğu görülmüştür.

Keskin vd. (2008), kumlu zeminlere oturan üniform yüklü kare temellerin merkezi altında oluşan ilave düşey gerilme değerlerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Deneyler, kare kesitli bir metal kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve düşey gerilme değerlerini bulmak için basınç ölçerler kullanılmıştır. Sayısal çalışmada zemin, iki boyutlu eksenel simetrik ve üç boyutlu koşullarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, lineer elastik ve non-lineer elastoplastik malzeme olarak modellenmiş ve analizlerde kullanılan bu modellerin ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda deneysel, nümerik ve analitik sonuçlar arasında belirli derinlik değerlerinde genel bir uyum görülmüştür. Sonuç olarak, derinlik arttıkça düşey gerilme değerlerinin azaldığı, deneysel sonuçların sayısal ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum olduğu ve sayısal sonuçlara göre %14, teorik sonuçlara göre ise %18'e varan oranlarda daha büyük değerler verdiğini bildirmişlerdir.

Bağrıaçık ve Laman (2011), kumlu zeminler üzerine oturan farklı boyutlardaki dairesel temellerden dolayı, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını laboratuvar model deneyleri yaparak araştırmış ve boyut etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, kumlu zeminlerde boyut etkisinin önemli mertebelerde olmadığını belirtmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Geosentetik ürünler, günümüzde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler, taşıma gücü, geçirimsizlik, ayırma, drenaj vb. gibi amaçlara hizmet etmektedir. Mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla, yaygın olarak kullanılan ürünler geotekstillerdir. Bu amaçlar için yapılan çalışmalar, donatılı zemin kavramını ortaya çıkarmıştır.

Donatılı zeminlere oturan merkezi yüklü temellerin taşıma gücü ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Buna rağmen donatılı zeminlerde gerilme dağılışı ile ilgili yeterli çalışma yoktur. Dolayısıyla bu çalışmada, geotekstil donatılı zemine oturan merkezi yüklü sığ şerit temelin neden olduğu gerilme dağılışının incelenmesi amaç edinilmiştir.

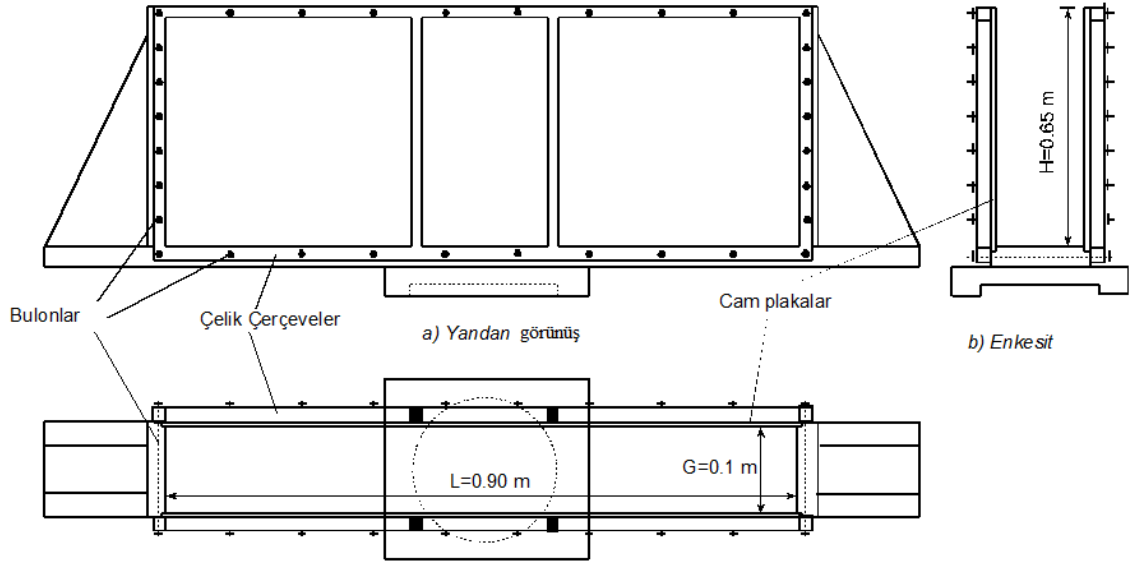
Konunun araştırılması için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu deney düzeneği vasıtasıyla donatılı kum zeminde gerilme dağılışları deneysel olarak belirlenmiştir.

2.2. Deney Düzeneği

Deney düzeneği; deney tankı, model şerit temel, yükleme düzeni, kum yüzeyini düzleme aleti, basınç ölçerler, veri toplama birimi ve kumdan oluşmaktadır. Bunlara ilaveten, deneylerde kumun sıkıştırılması için genişliği, deney tankı genişliğine eşit olan bir ahşap tokmak kullanılmıştır. Deneyler, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünün Geoteknik Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup, laboratuvarında bulunan üç eksenli deney aletinin presi yükleme düzeni olarak kullanılmıştır. Gerekli ölçümleri yapmak için yük halkaları, deformasyon ölçüm saatleri, bilgisayar ve dijital fotoğraf makinesinden yararlanılmıştır.

2.2.1. Deney Tankı

Deney tankının içi bir dikdörtgenler prizması olup, uzunluğu 900 mm, genişliği 100 mm ve yüksekliği 650 mm'dir. Deney tankının şeması Şekil 2.1'de görülmektedir.



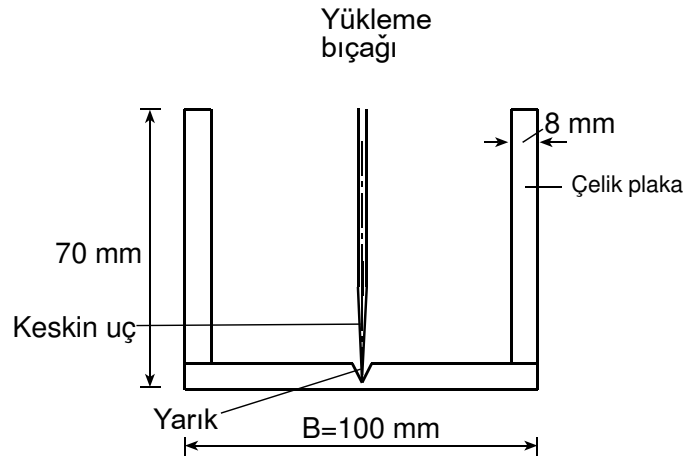
Şekil 2.1. Deney tankı (Şadoğlu, 2009)

Deney tankının alt ve yan yüzleri ahşaptan üretilmiş bir çerçeve olup, bu ahşaba cam levhaları yerleştirilebilmesi için kanallar açılmıştır. Ahşap yan yüzlerin rijitliğini sağlamak amacıyla üçgen takozlar tankın her iki tarafına monte edilmiştir. Böylece ahşap çerçevenin yükleme esnasında yanlara doğru genişlemesinin, engellenmesi amaçlanmıştır (Şekil 2.1a).

Ön ve arka yüzler, kırılma yüzeylerini gözlemlenebilmesi ve fotoğraf çekilebilmesi için 20 mm kalınlığındaki cam plakalardan oluşturulmuştur. Bu kalın cam plakalar yan sürtünmeleri mümkün mertebe azaltmak; aynı zamanda yükleme esnasında şerit temelin eksenine dik rijit düzlemler oluşturmada faydalı olmuşlardır. Kumun tabakalar halinde sıkıştırılmasını takip etme ve kırılma yüzeylerini belirlemede kolaylık sağlama açısından, tankın ön ve arkasındaki cam plakalar üzerinde bir kare ağ oluşturulmuştur. Cam plakaların yana doğru hareketinin engellemek için profillerden yapılmış olan iki çelik çerçeve cam plakalarını ön ve arka yüzüne yerleştirilmiş; bu çerçeveler cam plakaları dıştan tutacak şekilde çelik bulonlar ile birbirlerine bağlanmıştır. Deney tankını üç eksenli aletin presi üzerine oturtabilmek için ahşap çerçevenin altına, tam ortasına denk gelecek şekilde dikdörtgen bir ahşap eleman monte edilmiştir. Bu eleman monte etmeden önce 25 mm derinliğinde ve 160 mm çapında üç eksenli aletin pres başlığının tam oturabileceği bir oyuk açılmıştır (Şekil 2.1c).

2.2.2. Model Şerit Temel

Model temelin genişliği 100 mm, uzunluğu 100 mm ve yan yüzlerinin yüksekliği 70 mm olup, 8 mm kalınlığında çelik levhalardan üretilmiştir (Şekil 2.2). Model temelin cama temas eden ön ve arka yüzlerine 2 mm kalınlığında sert plastik tabakalar yapıştırılmıştır. Bununla, camla temel yan yüzleri arasına kum tanelerini girmesinin engellenmesi ve camla temelin sürtünmesini azaltılması amaçlanmıştır. Bu plastik yüzeyler deney esnasında yağlanarak temelle cam arasındaki sürtünme en aza indirilmiştir. Model temelin tabanında merkezi yükleme yapabilmek için V şeklinde yarıklar açılmıştır. Tam sürtünmeli ve pratikteki koşullara uygun olarak kalın bir zımpara kâğıdı temel tabanına yapıştırılmıştır. Şekil 2.3'te model temelin bir fotoğrafı gösterilmektedir.



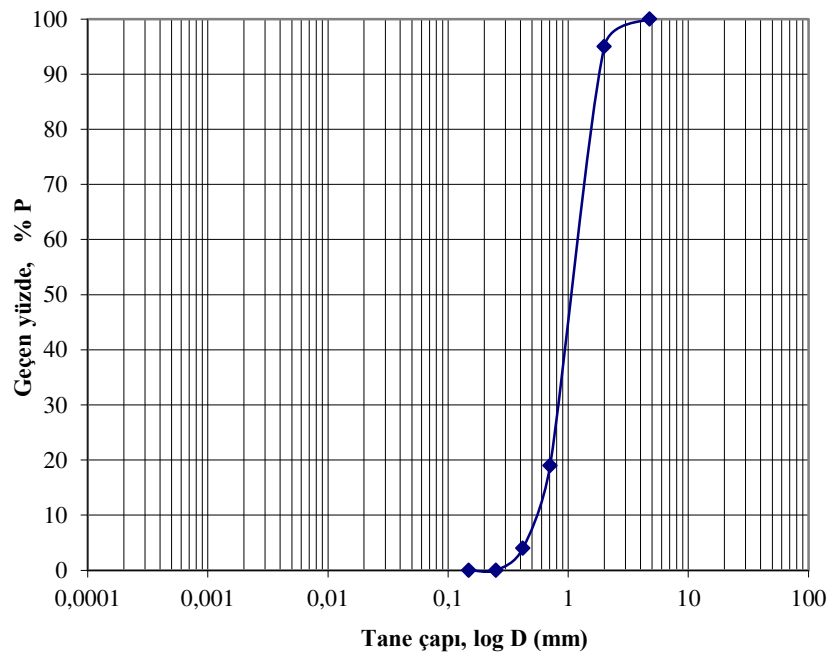
Şekil 2.2. Model şerit temel



Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan model şerit temel

2.2.3. Deneylerde Kullanılan Kumun Özellikleri

Deneylere başlamadan önce kullanılacak kumun geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Bu kum İyidere (Rize) ilçesinin bitişiğindeki doğu sahilinden alınmıştır. Kum, öncelikle içindeki yabancı maddeleri ayrıştırmak için 4 No'lu elekten geçirilmiş ve sonrasında 200 No'lu elekte yıkanmış ve kurutulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan kumun granülometri eğrisi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Kumun granülometri eğrisi

Kumun granülometri eğrisinden, $D_{10}=0.58$ mm (efektif çap), $D_{30}=0.80$ mm ve $D_{60}=0.95$ mm olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden, üniformaluluk katsayısı $C_u=1.64$, eğrilik katsayısı $C_r=1.16$ olarak elde edilir. Kumun tane çapları 0.2-4.0 mm arasında (iri-orta) olup, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre sınıfı kötü derecelenmiş kumdur (SP). Kumun, ilgili deneylerle belirlenmiş bazı özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Deney kumunun bazı özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Tane özgül yoğunluğu, G_s	—	2.66
Maksimumu kuru yoğunluk, ρ_{kmax}	Mg/m ³	1.658
Minimum kuru yoğunluk, ρ_{kmin}	Mg/m ³	1.395
Efektif çap, D_{10}	mm	0.58
D_{30}	mm	0.80
D_{60}	mm	0.95
Üniformluluk katsayısı, C_u	—	1.64
Eğrilik katsayısı, C_r	—	1.16

Rölatif sıkılığın çeşitli değerlerine göre kohezyonsuz zeminlerde sıkılık derecesi Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2. Kohezyonsuz zeminlerde sıkılık tablosu

Rölatif sıkılık, D_r	Sıkılık derecesi
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

Rölatif sıkılığın 0.75, 0.50 ve 0.25 olması için kumun birim hacim ağırlığı Bağıntı 2.1 ile hesaplanmıştır.

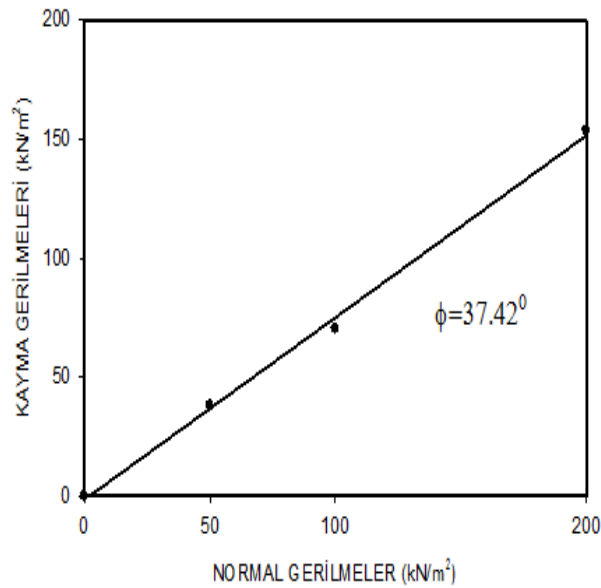
$$D_r = \frac{\gamma_{kmax}}{\gamma_k} \left(\frac{\gamma_k - \gamma_{kmin}}{\gamma_{kmax} - \gamma_{kmin}} \right) \quad (2.1)$$

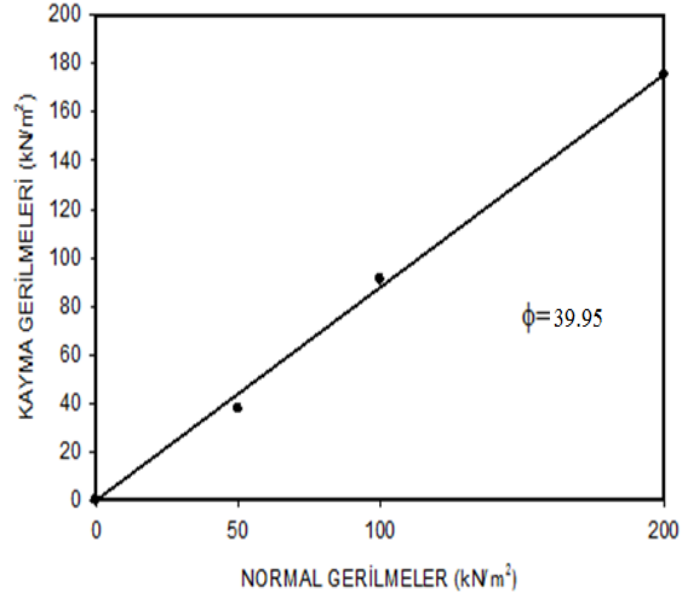
Bu birim (hacim) ağırlığı değerinden faydalananarak 50 mm yüksekliğindeki tabaka için; 0.75, 0.50, 0.25 rölatif sıkılıklarında gerekli kum miktarları hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Farklı rölatif sıkılıklar için gerekli kum kütleleri

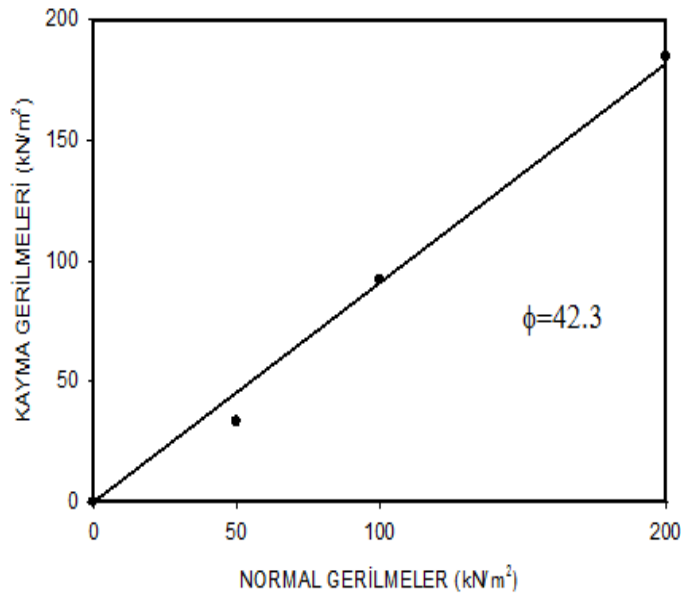
Rölatif Sıklık (D_r)	Kuru Yoğunluk (ρ_k) (Mg / m ³)	Sıklık Derecesi	M_k (g)
0,75	1.59	Sıkı	7149
0,50	1.52	Orta Sıkı	6831
0,25	1.45	Gevşek	6542

Farklı sıklılardaki kum numunelerinin kesme etkisine maruz bırakarak numuneye ait içsel sürtünme açısının belirlenmesi amacıyla kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kum numune $D_r=0.75$, 0.50 , 0.25 sıklığında 50 , 100 , 200 kN/m²'lik normal gerilmeler altında yatay doğrultuda kesilmiştir. Kesme kutusu deneyinden her bir rölatif sıklık değeri için elde edilen kayma gerilmeleri ve içsel sürtünme açıları Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7'de görülmektedir.

Şekil 2.5. $D_r=0.25$ için kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 2.6. $D_r=0.50$ için kesme kutusu deney sonuçları



Şekil 2.7. $D_r=0.75$ için kesme kutusu deney sonuçları

Deneylerde kullanılacak zeminin elastisite modülü (E), Poisson oranının (μ) belirlenmesi amacıyla her bir rölatif sıkılık değeri için konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen değerler Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Farklı rölatif sıkılık değerleri için dört farklı gerilme altında oturma miktarları

Rölatif sıkılık	Uygulanan Yük (kN/m ²)	Oturma miktarları, δ_{zz} (mm)
0.75	50	0.012
	100	0.019
	150	0.031
	200	0.036
0.50	50	0.025
	100	0.037
	150	0.046
	200	0.058
0.25	50	0.040
	100	0.047
	150	0.062
	200	0.088

Zemin numunesinin her bir rölatif sıkılık değeri için Poisson oranının bulunması amacıyla kesme kutusu deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri 2.2 ve 2.3 ifadesinde yerine konularak Poisson oranını belirlenmiştir. Bu eşitlik kullanılarak elde edilen Poisson oranı değerleri (μ) Tablo 2.5’de görülmektedir.

$$K_o = 1 - \sin\phi \quad (2.2)$$

$$\mu = \frac{K_o}{1 + K_o} \quad (2.3)$$

Tablo 2.5. Tüm rölatif sıkılık değerleri için bulunan Poisson oranı (μ) değerleri

Rölatif Sıkılık (D_r)	Poisson Oranı (μ)
0.75	0.246
0.50	0.264
0.25	0.282

Zeminin her bir rölatif sıkılıktaki elastisite modülü değerlerini belirleyebilmek için konsolidasyon deneyi sonuçları ve Poisson oranı değerleri kullanılmıştır. Bu veriler,

Bağıntı 2.4 ve 2.5 yerine yazılıp zeminin her bir rölatif sıkılık değeri için elastisite modülü belirlenmiştir.

$$\varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \mu (\sigma_{\theta\theta} + \sigma_{rr})] \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\delta_{zz}}{H_c} \quad (2.5)$$

Bu ifadede δ_{zz} , konsolidasyon deneyinde ölçülen düşey oturma miktarını, H_c ise konsolidasyon halkasının yüksekliğini ifade etmektedir.

Tablo 2.6. Rölatif sıkılık değerlerine göre belirlenmiş elastisite modülü değerleri

Rölatif Sıkılık (D_r)	Elastisite Modülü (E) (kN/m^2)
0.75	33579
0.50	19895
0.25	14282

2.2.4. Örgülü Geotekstil

Donatılı deneylerde, tankın plandaki iç alanına (100 x 900 mm) eşit büyüklükte bir örgülü geotekstil yerleştirilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Deneylerde kullanılan 100 x 900 mm boyutlarında kesilmiş örgülü geotekstil

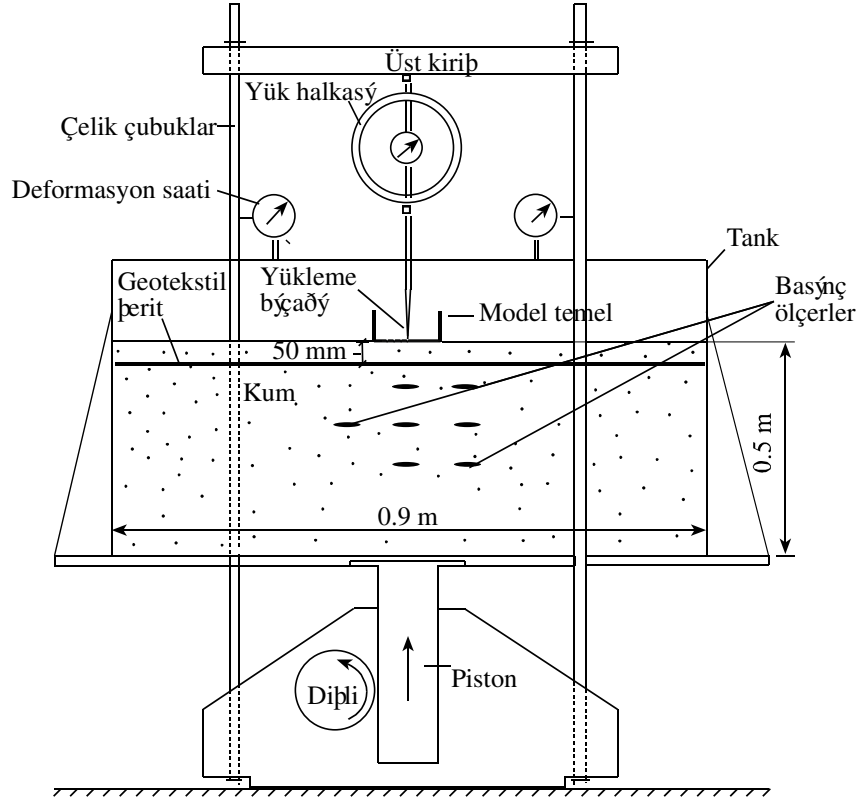
Örgülü geotekstil ile ilgili bazı bilgiler, Tablo 2.8’de görülmektedir.

Tablo 2.7. Örgülü geotekstilin bazı özellikleri

Tip Polimer	Örgülü Polipropilen	
	Birim	Değer
	m	5.2
Ağırlık	g/m ²	430
Çekme Dayanımı (DIN 53857)	kN/m	86
Kopma anındaki uzaması (boyuna)	%	14
Kopma anındaki uzaması (enine)	%	14

2.2.5. Yükleme Düzeneği

Deneylerde yükün uygulanması için, bir üç eksenli deney aletinin 10 kN kapasiteli presi kullanılmıştır. Bu pres, elektrik motoru sayesinde çeşitli hızlarda (0.006 mm/dk - 1.52 mm/dk) sabit deformasyon uygulama ve elle krik o gibi kullanılma özelliklerine sahiptir. Presin iki yanında bulunan düşey çelik çubuklar model temelin yüklenebilmesi için uzatılmıştır. Deney tankı, altında bulunan dairesel oyuk sayesinde presin üst başlığının üzerine oturtulmuştur. Presin üst girişine düşey ve sabit olarak takılan 10 kN kapasiteli bir yük halkası, uygulanan yükü ölçmede kullanılmıştır. Deneylerden önce yük halkası kalibre edilmiştir. Yük halkasına düşey olarak monte edilmiş ucu keskin yükleme bıçağı, model temeli yüklemek için kullanılmıştır. Şekil 2.9’da yükleme düzeninin bir şeması görölmektedir.



Şekil 2.9. Yükleme düzeninin genel şeması

2.2.6. Yük Halkası

Yükleme düzenindeki presin üst kirişine düşey ve sabit olarak takılan 10 kN kapasiteli bir yük halkası, uygulanan yükü ölçmede kullanılmıştır. Deneylerden önce yük halkası kalibre edilmiş; kalibrasyon eğrisi belirlenmiştir. Yük halkasına düşey olarak monte edilmiş ucu keskin yüklemeye bıçağı, model temeli yüklemek için kullanılmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Çalışmalarda kullanılan yük halkası ve yüklemeye bıçağı

2.2.7. Basınç Ölçerler

Zemine uygulanan yüzey yüklerinden dolayı meydana gelecek düşey gerilme artışlarını ölçebilmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de zemin içerisinde gerilme ölçülecek derinliklere basınç ölçerler yerleştirilmesidir. Basınç ölçerler vasıtasıyla gerilme ölçmenin diğer yöntemlere göre en önemli avantajı, gerilme değerlerinin doğrudan ölçülebilmesidir.

Şekil 2.11’de Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. firması tarafından üretilen BH1431 seri numaralı, KDE-500KPA model 50 mm çapında ve 500 kPA kapasiteli basınç ölçer görülmektedir. Aynı özelliklere sahip toplam 7 adet basınç ölçer kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Deneylerde kullanılan basınç ölçerler

2.2.8. Veri Toplama Sistemi ve CoDA Locomotive Programı

Deneyler sırasında basınç ölçerlerde ölçülen gerilme değerleri, 8 kanal girişli Ai8b modelinde TDG marka veri toplama cihazı ve yine aynı markaya ait RS-485 model aygıt geçidi yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 2.12, Şekil 2.13). Bu veriler CoDA Locomotive programı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüştür.



Şekil 2.12. TDG Ai8b model veri toplama ünitesi



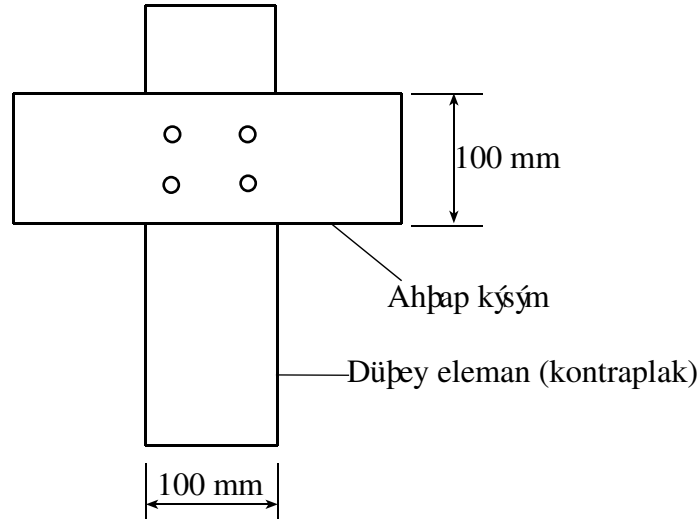
Şekil 2.13. TDG RS-485 model aygıt geçidi

2.3. Bir Deneyin Yapılışı

Bir deneyin yapılışı, deneye hazırlık, yükleme ve deney sonrası olmak üzere üç aşamaya ayrılmıştır. Her aşamada yapılan işler tüm deneylerde aynı sıra ile tekrarlanmış böylece bir standart tutturulmaya çalışılmıştır. Aşağıda bir deneyde yapılan çalışmalar bu üç aşama için kademe kademe anlatılmış, deneylerin yapılması esnasında özellikle dikkat edilecek hususlara değinilmiştir

Deneye hazırlık aşamasında, model temel yükleme yapmaya hazır hale getirilmiştir. İlk olarak deney tankının altında bulunan kum tahliye delikleri, kum doldururken açılmamaları için ahşap tıpalarla iyice kapatılmıştır. Sonra deney tankına kum, ön ve arka yüzlerinde oluşturulmuş ağlar takip edilerek tabakalar halinde doldurulmuştur. Her

tabakaya $D_r=0.75$ elde etmek için 7149 g, $D_r=0.50$ elde etmek için 6831 g, $D_r=0.25$ elde etmek için 6542 g kum serbestçe dökülmüştür. Bu serilen gevşek tabakayı uniform bir kalınlığa getirmek için kum yüzeyi düzeltme aleti kullanılmıştır (Şekil 2.14). Kum yüzeyi düzeltme aleti ile dikkatli bir şekilde aynı tabaka kalınlığı (yaklaşık 55 mm) elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra ahşap hafif bir tokmak yardımıyla tabaka kalınlığı 50mm'ye indirilmiştir. Böylece deneylerde planlanmış olan rölatif sıkılıklar ($D_r=0.75, 0.50, 0.25$) elde edilmiştir. Kum tabakası serme ve sıkıştırma işlemi devam ederken belirlenen noktalarda gerilme artışı ölçmek için basınç ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kum yüzeyi düzeltme aleti

Son zemin tabakası oluşturulduktan sonra model temel düzeneğe yerleştirilmiştir. Deney tankının yanal deformasyonunu sınırlamak için tankın çelik çerçevesinin üst profilinde bulunan bulonlar monte edilmiştir (Şekil 2.1). Burada, bulonları eşit torkla sıkmaya dikkat edilmiştir. Deney tankı, üç eksenli deney aleti presinin elle kaldırma kolu vasıtasıyla üzerinde bulunduğu takozlardan kaldırılmıştır. Yükleme bıçağı, yük halkası ve kirişten oluşan düzenek model temelin üzerine yerleştirilmiş ve bulonları sıkılarak sabitlenmiştir. Tankın düşey hareketini ölçmek için, deformasyon saatleri kendileri için daha önceden tasarlanan çelik çubuğa kaynaklanmış levhalara tutturulmuştur (Şekil 2.9).

Deney aşaması, model şerit temele yüklemenin yapıldığı aşamadır. Öncelikli olarak tüm deformasyon saatleri ve yük halkası sıfırlanmıştır. Düşey deformasyon saatinden temelin düşey hareketi ölçülmüştür. Yüklemenin başlangıç anında, deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 2.15'de görülmektedir. Bu işlemlerden sonra sabit hız uygulanacak şekilde,

model temel yüklenmeye başlanmıştır. Deformasyon saati, yük halkası ve zemine yerleştirilen basınç ölçerler vasıtasıyla deney başlangıcından itibaren her 60 saniyede ölçümler yapılmıştır ve değerler kaydedilmiştir. Emin taşıma gücüne yakın bir değere kadar (100 kPA) yüklemeye devam edilmiştir. Bir deneyin bitiş anının fotoğrafı Şekil 2.16'da görülmektedir.



Şekil 2.15. Model şerit temelle donatılı zeminde yapılan bir deneyde yüklemenin başlangıç hali



Şekil 2.16. Model şerit temelle donatılı zeminde yapılan bir deneyde yüklemenin bitiş hali

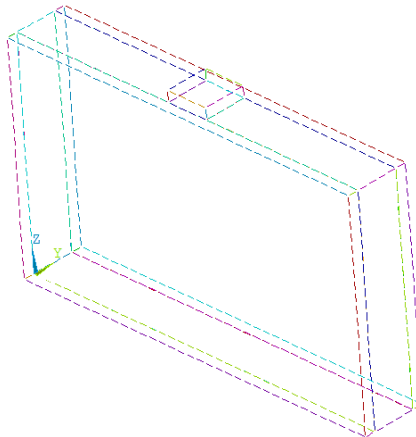
Deney sonrası aşaması, deney düzeneğinin sökülmesi ve bir sonraki deneye hazırlık işlemlerini kapsamaktadır. Yükleme tamamlandıktan sonra deney tankı üç eksenli deney aletinin elle indirme kolu kullanılarak tekrar takozla alınmıştır. Altta tahliye delikleri açılarak kumun tanktan boşaltılması sağlanmıştır. Bundan sonra üst başlık kirişi ve bu kirişe monte edilmiş olan yük halkası sökülüştür. Model temel çıkarılmış ve tankın çelik çerçevesinin üst profilinde bulunan bulonlar sökülüştür.

Donatılı zeminde deneyler, her bir rölatif sıklık için üç defa tekrarlanmış, sonuçlar kayıt altına alınmış böylece elde edilen sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.

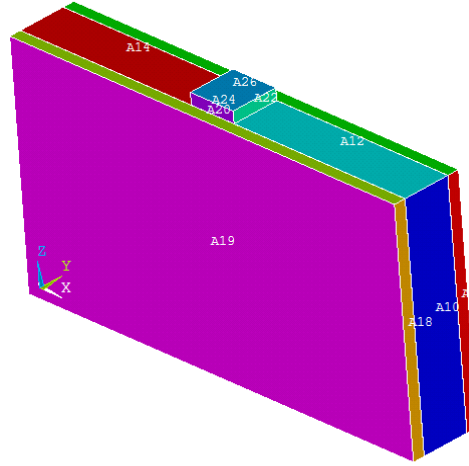
2.4. ANSYS Programı ile Yapılan Modelleme ve Çözümleri

ANSYS programı, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapabilme özelliklerine sahip ve en fazla kullanılan bilgisayar programlarından biridir.

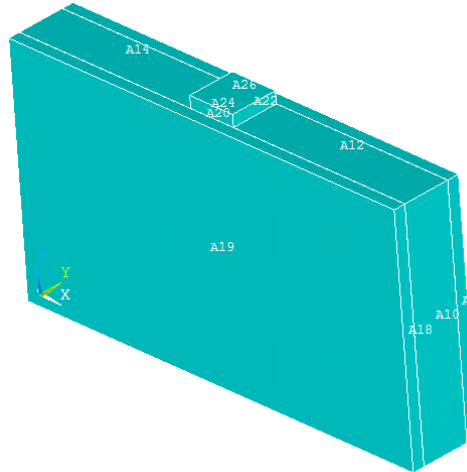
Mevcut zemini modellemeye öncelikle deney tankının geometrik modelinin oluşturarak başlanılmıştır. Deney tankında ahşap olan yüzeyler rijit olarak kabul edilmiş ve girilen geometrik modelde bu noktalara mesnet atanmıştır. Öncelikle aktif koordinat sisteminde keypointler oluşturulmuş, daha sonra keypointler yardımıyla çizgiler, çizgilerin seçilmesi ile alanlar ve son olarak alanlar yardımıyla hacimler tanımlanmıştır. Geometrik model oluşturulurken cam yüzey ile kum arasındaki etkileşimi tanımlayabilmek için cam yüzeyler ile kum yüzeyleri arasında 0.1 mm boşluk bırakılmıştır. Şekil 2.17, 2.18, 2.19'da aşama aşama oluşturulan hacim elemanlar görülmektedir.



Şekil 2.17. ANSYS programında keypointler ile oluşturulan çizgiler



Şekil 2.18. ANSYS programında çizgiler ile oluşturulan alanlar



Şekil 2.19. ANSYS programında alanlar yardımıyla oluşturulan hacimler

Geometrik model oluşturulduktan sonra çözümlenmesi istenen sistemin geometrisine uygun eleman tipi seçilmiştir. Daha sonra malzeme özelliklerinin programa girilmesi işlemine geçilmiştir. Programda cam yüzeyler ve çelik model şerit temel lineer-elastik malzeme olarak tanımlanırken kum numune Multilineer Kinematik Pekleşen malzeme olarak tanımlanmıştır. Tablo 2.8 ve 2.9’da programa girilen temel malzeme özellikleri gösterilmektedir.

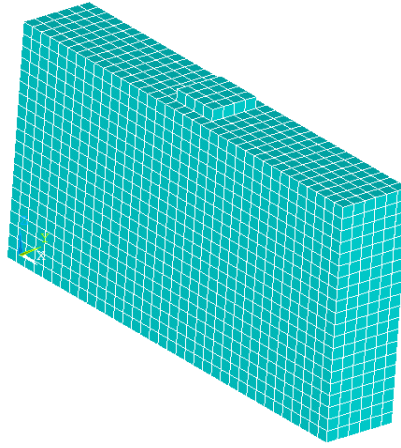
Tablo 2.8. ANSYS paket programına girilen temel malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (kN/m ²)*10 ³	Poisson Oranı (μ)
Çelik	200000	0.3
Cam	70000	0.25
Kum _{0.75}	33579	0.246
Kum _{0.50}	19895	0.264
Kum _{0.25}	14282	0.282

Tablo 2.9. ANSYS paket programında multilineer kinematik pekleşme malzeme modeli için girilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri

Malzeme	Uygulanan Yük (kN/m ²)(σ)	Şekil Değiştirme, ϵ (%)
Kum _{0.75}	50	0.06
	100	0.155
	150	0.31
	200	0.49
	150	0.495
	200	0.755
Kum _{0.50}	50	0.125
	100	0.308
	150	0.535
	200	0.823
Kum _{0.25}	50	0.2
	100	0.435
	150	0.745
	200	1.185

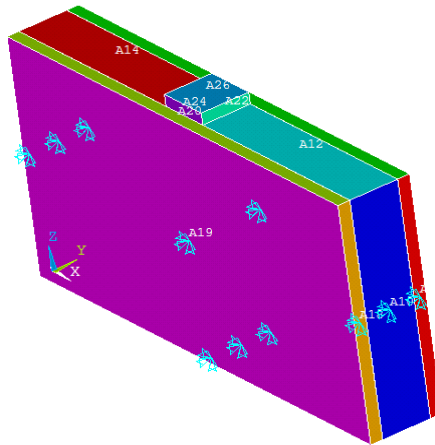
Malzeme özelliklerinin programa girildikten sonra, oluşturulmuş geometrik modele malzeme atama ve istenilen boyutta sonlu elemanlara ayırma işlemine geçilmiştir. Geometrik model 25 mm boyutunda sonlu elemanlara bölünmüştür. Şekil 2.20’de sonlu elemanlara ayrılmış ayrıca malzeme özellikleri tanımlanmış model görülmektedir.



Şekil 2.20. Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra deney tankının görüntüsü

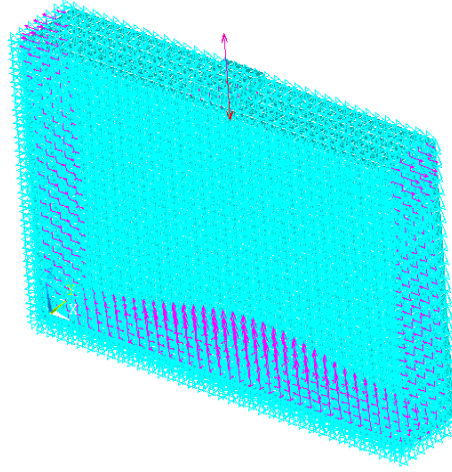
Sonlu elemanlara ayırma işleminden sonra temas yüzeylerinin oluşturulması adımına geçilmiştir. Temas yüzeyler oluşturulurken cam ve kum yüzeyler arası sürtünme açısı 12^0 olarak girilmiştir (Keskin, 2004). Kum numune ile model temel arasında tam sürtünme olduğu kabul edilerek sürtünme açısı (40^0), içsel sürtünme açısına yakın bir değer alınmıştır.

Modellemenin bir sonraki adımında sınır şartlarının (mesnetlerin) atanması, yükün uygulanması ve son olarak çözüm adımı sayısı ile yakınsama kriterinin belirlenmesidir. Oluşturulan modelde cam malzemenin dış yüzeyleri (üst yüzeyi hariç) ile deney tankında ahşap olan yüzeyler rijit olarak kabul edilip bu alanlara mesnetler atanmıştır. Şekil 2.21’de sınır şartlarının uygulandığı model görülmektedir.



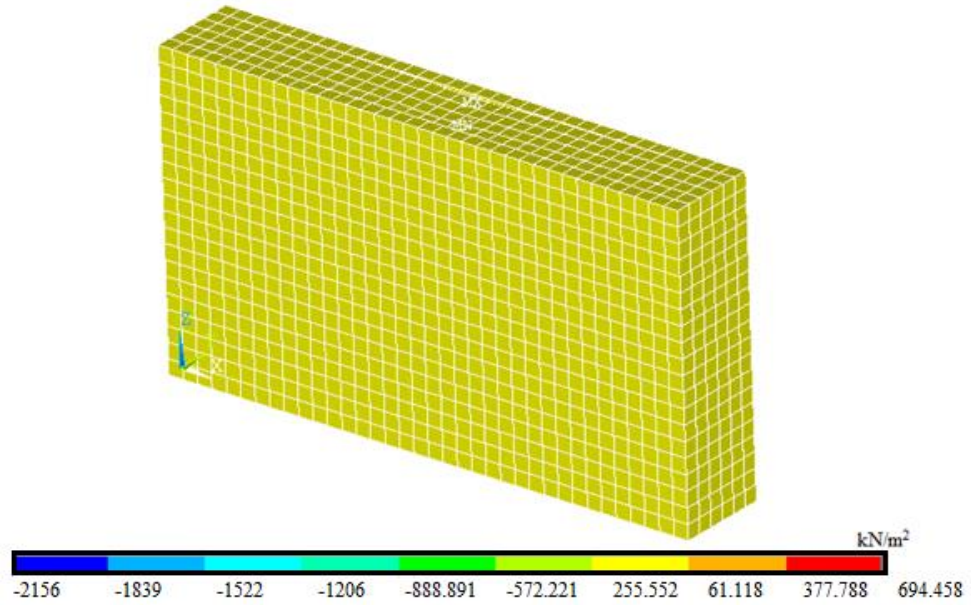
Şekil 2.21. Sınır şartları atandıktan sonra modelin görüntüsü

Çözüm adımına geçilmeden önce son olarak model %1 yakınsama kriteri ve maksimum adım sayısı 3000 olan bir analiz tipi seçilmiştir. Daha sonra modelin çözüm aşamasına geçilmiştir. Şekil 2.22’de modelin çözümden sonraki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.22. Modelin çözümden sonraki görüntüsü

Şekil 2.23’te analiz sonrası düşey gerilmelerin dağılışı ve deforme olmuş model görülmektedir ve Tablo 2.10’da bulunan sonuçlar özetlenmiştir.



Şekil 2.23. Modelin düşey gerilme dağılışı ve deforme olmuş şekli

Tablo 2.10. ANSYS programı ile hesaplanmış düşey gerilme artış değerleri

Nokta	$\Delta\sigma_{z0.75}$ (kPA)	$\Delta\sigma_{z0.50}$ (kPA)	$\Delta\sigma_{z0.25}$ (kPA)
1	48.804	48.829	48.904
2	16.563	16.577	16.598
3	21.129	21.242	21.445
4	32.013	32.024	32.038
5	21.129	21.242	21.445
6	22.430	22.436	22.545
7	18.515	18.528	18.640

2.5. Boussinesq Yöntemi ile Düşey Gerilmelerin Hesabı

Bu yöntemde rölatif sıklık değeri dikkate alınmadığı için her bir rölatif sıklık değeri için aynı ilave düşey gerilmelerin olacağı kabul edilmiştir. Bu yöntemi uygularken temel taban basıncı uniform olarak kabul edilmiş ve yüzey yüklemesinden kaynaklanan ilave düşey gerilme değerleri Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Boussinesq yöntemi ile hesaplanmış düşey gerilme artışları

Nokta	İlave Düşey Gerilme ($\Delta\sigma_z$) (kPA)
1	55.00
2	18.48
3	20.49
4	30.60
5	20.49
6	20.80
7	17.09

2.6. Sınırlı Tabaka Yöntemi İle Düşey Gerilmelerin Hesabı

Poisson oranının 0.2 ve 0.4 olduğu üniform şerit yük durumu için verilmiş olan Şekil 1.22 ve 1.23’te her bir nokta için z/h ve B/h değerlerine göre yük etki faktörü (I_{st}) belirlenmiş daha sonra bu değer ile ilgili değerler 1.16 ifadesinde yerine konularak her bir nokta için 2 poisson oranında ayrı ayrı düşey gerilme değerleri hesaplanmıştır. İhtiyacımız

olan Poisson oranları için meydana gelecek ilave düşey gerilmeleri enterpolasyon yoluyla belirlenmiştir. Böylelikle hesaplanan ilave düşey gerilme değerleri Tablo 2.12’de görülmektedir.

Tablo 2.12. Sınırlı tabaka yöntemine göre hesaplanmış düşey gerilme artış değerleri

Nokta	$\Delta\sigma_{z0.75}(\text{kPa})$	$\Delta\sigma_{z0.50}(\text{kPa})$	$\Delta\sigma_{z0.25}(\text{kPa})$
1	61.298	61.376	61.453
2	14.765	14.814	14.863
3	20.775	20.933	21.09
4	30.647	30.682	30.716
5	20.775	20.933	21.09
6	23.08	23.143	23.205
7	17.793	17.942	18.091

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Deney tankı, 0.75, 0.50 ve 0.25 rölatif sıkılık değerlerinde kum zemin ile doldurulmuş ve yüzeyden 0.05 m derinlikte örgülü geotekstil donatı yerleştirilmiştir. Bu işlemler sırasında Şekil 3.1’de gösterilen yerlere basınç ölçerler yerleştirilmiştir; ortalama taban basıncı değeri 0.1 MPa olana kadar adım adım arttırılmıştır. Basınç ölçerlerin yerleştirildiği konumlar, temel genişliğinin katları olacak şekilde B, 2B ve 3B olarak seçilmiştir. Bu yükleme ve sınır koşullarını göz önüne alarak, basınç ölçerlerin bulunduğu noktalardaki gerilme artışları elastisite teorisine dayalı analitik çözümlerle de karşılaştırma amaçlı olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, son yıllarda yaygın olarak kullanılan plastisite teorisine dayalı sonlu elemanlar yöntemiyle de basınç artışları hesaplanmıştır. Plastisite teorisine dayalı çözüm elde etmede ANSYS programından yararlanılmıştır.

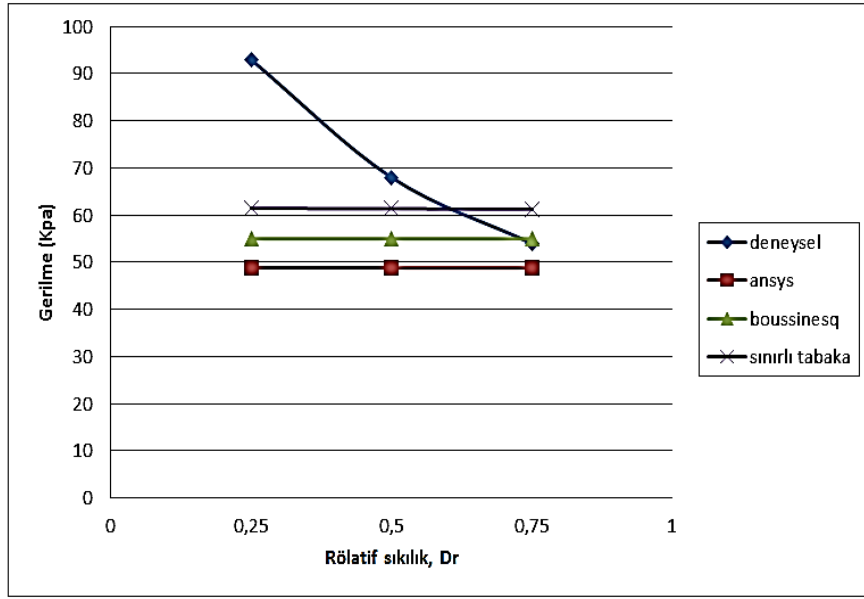


Şekil 3.1. Deney tankında basınç ölçerlerin yerleştirildiği yerler

3.1. B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları

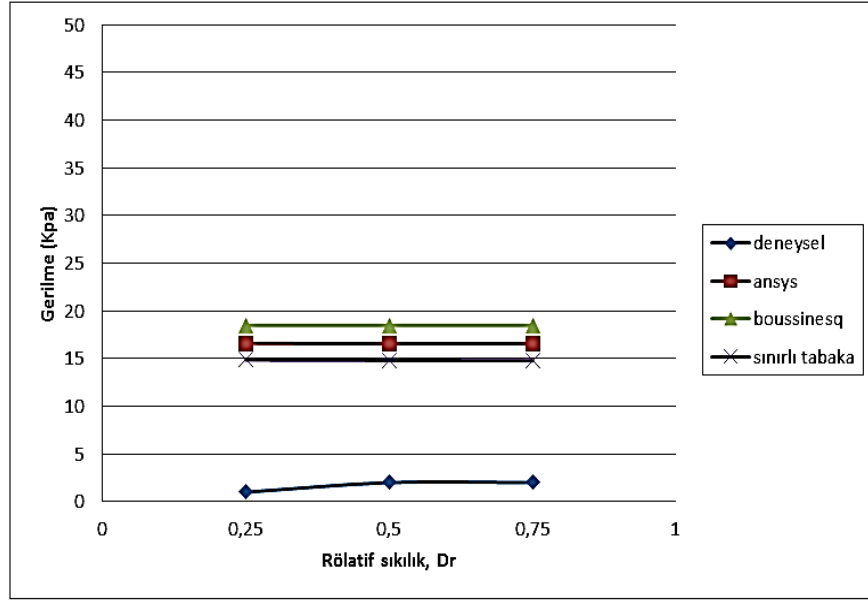
Şekil 3.1’de gösterilen 1 ve 2 No’lu noktalarda yüzey yüklemesi sebebiyle oluşan düşey gerilme artışları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 görülmektedir. Bu Şekillerde, 1 ve 2 No’lu noktalardaki gerilme artışlarının rölatif sıkılığa bağlı olarak değişimleri verilmektedir. 1 No’lu noktadaki gerilme artışı rölatif sıkılık arttıkça azalmaktadır. Gerilme artışı, rölatif

sıkılık 0.25 olduğunda 93 kPa iken 0.75 olduğunda 54 kPa olmaktadır. Düşük rölatif sıkılık değerlerinde, ($D_r < 0.5$) deneysel olarak belirlenen gerilme artışları diğer analitik ve nümerik yaklaşımlara göre oldukça yüksektir. Rölatif hata değeri %50 mertebelerine kadar çıkabilmektedir. Orta-sıkı ve sıkı durumda ise, teorik yaklaşımlarla deneysel ölçümler birbirine yaklaşmakta ve bu durumun tamamı değerlendirildiğinde en uygun sonuçlar sınırlı tabaka yöntemiyle elde edilen sonuçlar olmaktadır.



Şekil 3.2. 1 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi

2 No'lu noktada ölçülen gerilme artışları diğer nümerik ve analitik yaklaşımlardan oldukça azdır. Bu noktada da sınırlı tabaka çözümünden elde edilen gerilme artışı deneysel sonuçlara en yakın olmuştur. Bu noktada rölatif sıkılığın artmasıyla, gerilme artışlarında az miktarda yükselme olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. 2 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi

Tablo 3.1'de 1 ve 2 noktası için deneysel, nümerik ve analitik yaklaşımla bulunan gerilme artışları verilmektedir. 2 No'lu noktada rölatif sıkılık artmasıyla, sınırlı tabaka ve ANSYS MLKH ile hesaplanan gerilme artışları çok az azalmaktadır; Boussinesq çözümünde değişiklik olmamaktadır.

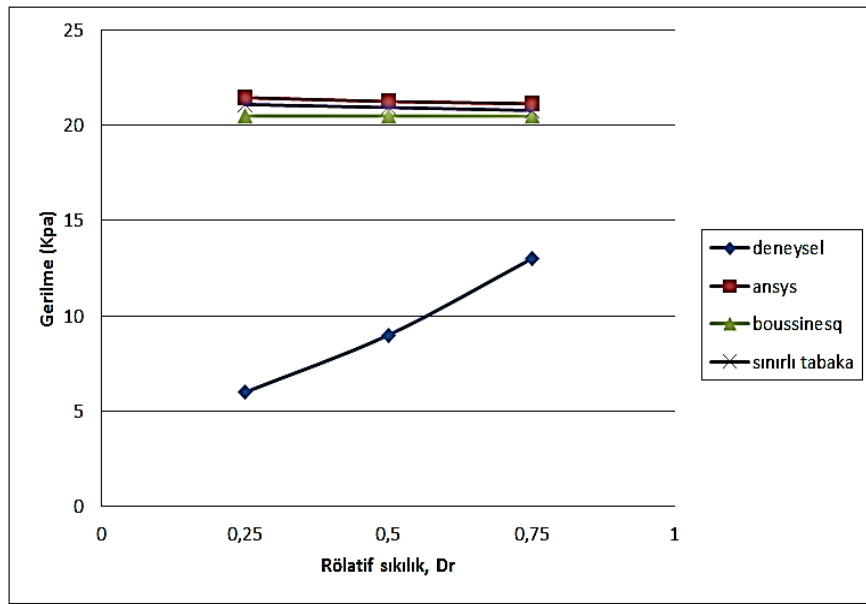
Tablo 3.1. 1 ve 2 noktalarındaki gerilme artışları

Rölatif Sıkılık (Dr)	Deneysel (kPA)		ANSYS MLKH (kPA)		Boussinesq (kPA)		Sınırlı Tabaka (kPA)	
Gerilme Artışını Bulunduğu Yer	1	2	1	2	1	2	1	2
0.75	54	2	48.804	16.563	55.000	18.480	61.298	14.765
0.50	68	2	48.829	16.577	55.000	18.480	61.376	14.814
0.25	93	1	48.904	16.598	55.000	18.480	61.453	14.863

3.2. 2B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları

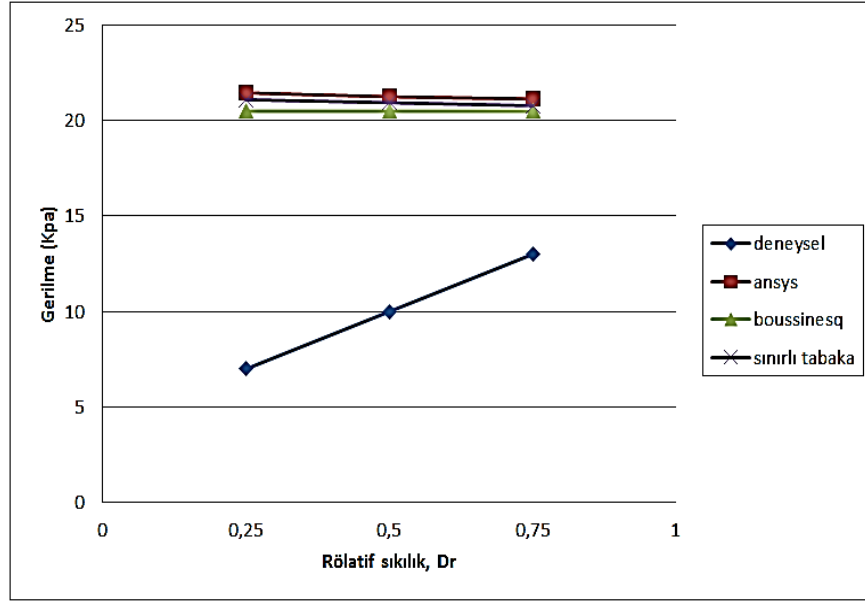
Şekil 3.1'de basınç ölçerlerin yerleştirilmiş olduğu 3, 5 ve 4 No'lu noktalar için deneysel, nümerik ve analitik yaklaşımlarla bulunan düşey gerilme artışlarının rölatif sıkılığa bağlı değişimi sırasıyla Şekil 3.4, 3.5, 3.6'da görülmektedir. 3 ve 5 No'lu noktalarda bulunan basınç ölçerler temel eksenine göre simetrik olarak yerleştirilmiştir.

Böyle bir yerleştirmedeki amaç, deney sonuçlarını kontrolünü sağlamaktır. Bu noktalarda, farklı rölatif sıklıklar için ölçülen düşey gerilme artışları arasındaki fark üniform taban basıncının %1'i mertebesinde dir. Bu sonuç, deney düzeninin simetrikliğinden ve ölçüm metodundan kaynaklı hataların çok az bir düzeyde olduğu anlamı taşımaktadır. Bu iki noktada, rölatif sıklığı artmasıyla ilave düşey gerilmeler artmıştır. Rölatif sıklık 0.25 olduğunda, ortalama ilave düşey gerilme 6.5 iken rölatif sıklık 0.75 olduğunda bu değer 13'e çıkmakta, yani %100 artış olmaktadır. Bu noktalar için nümerik ve analitik yaklaşımlarla hesaplanan ilave düşey gerilmelerle deneysel veriler arasında oldukça büyük farklılık vardır. En yaklaşık sonuçlar, Boussinesq yöntemiyle elde edilen sonuçlar olmakla birlikte, bu durumda da rölatif sıklığa bağlı rölatif hata değeri %63 ile %215 arasında değişmektedir.



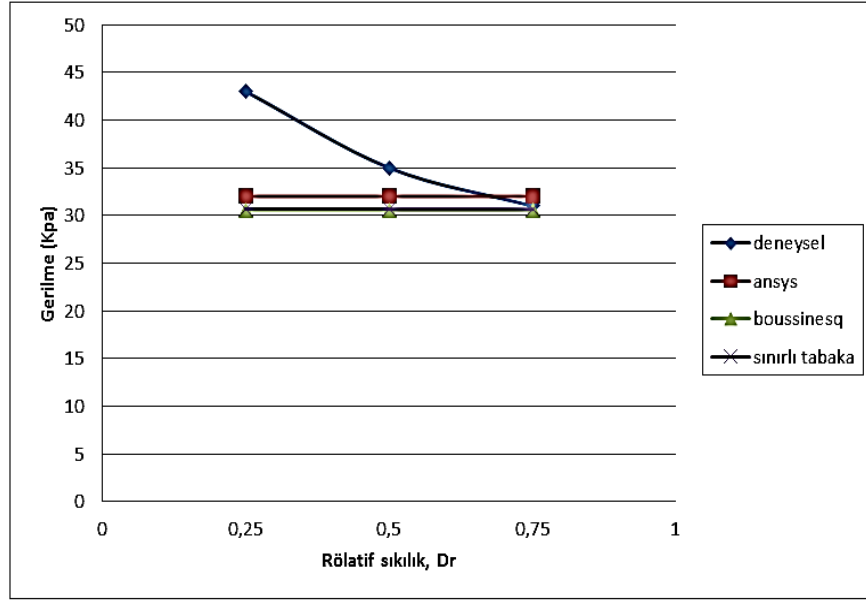
Şekil 3.4. 3 No'lu noktada gerilme artışı-rölatif sıklık ilişkisi

3 ve 5 No'lu noktalarda dikkat çeken en önemli ayrıntı, deneysel sonuçlarda rölatif sıklık azalırken gerilmelerin azalması ancak; ANSYS ve sınırlı tabaka çözümlerinde gerilmenin artmasıdır.



Şekil 3.5. 5 No’lu noktada gerilme artışı-rölatif sıklık ilişkisi

4 No’lu nokta için deneysel sonuçlar, yüksek rölatif sıklıkta ANSYS, sınırlı tabaka ve Boussinesq çözümlerine yakınken, düşük rölatif sıklıklarda ANSYS çözümlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Rölatif sıklığın 0.5’ten büyük olduğu durumda en kötü sonuçların elde edildiği Boussinesq yöntemindeki rölatif hata %10’civarındadır ve rölatif sıklık arttıkça, rölatif hata azalmaktadır. Rölatif sıklığın 0.25 olduğu durumda ise, en yaklaşık sonuçların elde edildiği ANSYS çözümlerindeki rölatif hata yaklaşık %25’tir. Dolayısıyla düşük rölatif sıklıklarda bu noktada nümerik ve analitik yöntemlerle hesaplanan ilave düşey gerilmelerin, gerçek değerlerden oldukça farklı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 3.6. 4 No’lu noktada gerilme artışı-rölatif sıklık ilişkisi

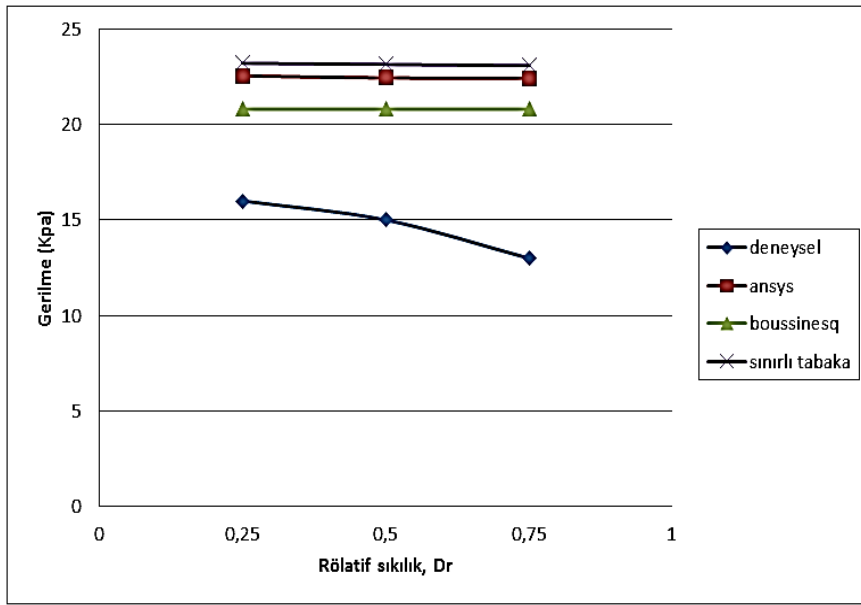
3, 4 ve 5 No’lu noktalarda deneysel, nümerik ve analitik yöntemlerle bulunan gerilme artışları Tablo 3.2’de verilmektedir. Rölatif sıklık artarken, hem deneysel olarak elde edilen ilave düşey gerilmeler hem de ANSYS MLKH’den elde edilen ilave düşey gerilmeler azalmaktadır. Fakat ANSYS MLKH oluşan azalma % 0.1 seviyesinde iken deneysel ölçümler oluşan azalma %28 seviyesindedir. Buradan, ANSYS MLKH modelinin, farklı rölatif sıklıktaki kumların davranışı modelleme iyi sonuçlar vermediği anlaşılmaktadır.

Tablo 3.2. 3, 4 ve 5 No’lu noktalardaki düşey gerilme artışları

Rölatif Sıklık (Dr)	Deneysel (kPA)			ANSYS MLKH (kPA)			Boussinesq (kPA)			Sınırlı Tabaka (kPA)		
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
0.75	13	31	13	21.129	32.013	21.129	20.490	30.600	20.490	20.775	30.647	20.775
0.50	9	35	10	21.242	32.024	21.242	20.490	30.600	20.490	20.933	30.682	20.933
0.25	6	43	7	21.245	32.038	21.445	20.490	30.600	20.490	21.090	30.716	21.090

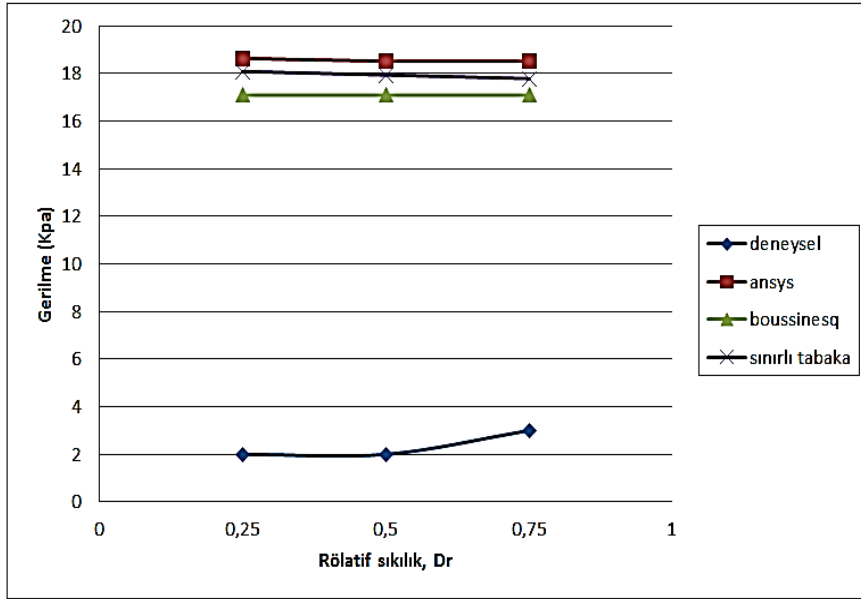
3.3. 3B Derinliğindeki Yatay Düzlemdeki Düşey Gerilme Artışları

Şekil 3.1’de gösterilen basınç ölçerlerin yerleştirilmiş olduğu 6 ve 7 No’lu noktalar için deneysel, analitik ve nümerik yaklaşımlarla belirlenmiş düşey gerilme artışları Şekil 3.7 ve 3.8’de görülmektedir. 6 No’lu noktada yaptığımız deneylerde, rölatif sıkılık azaldıkça gerilmenin arttığı görülmektedir. Deneysel, ANSYS, Boussinesq ve sınırlı tabaka çözümleri birlikte değerlendirildiğinde, 6 No’lu nokta için deneysel sonuçların Boussinesq çözümlerine daha yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. 6 No’lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi

7 No’lu noktada rölatif sıkılık azaldıkça deneysel olarak elde edilen ilave düşey gerilmeler azalmıştır. Bu noktada deneylerle elde edilen ilave düşey gerilmeler, Boussinesq çözümlerine yakın olmakla birlikte deney sonuçları ile diğer yaklaşımlar arasında çok büyük farklar vardır. 7 No’lu nokta için dikkat çeken diğer önemli ayrıntı, deney sonuçlarında rölatif sıkılığın azalmasıyla ilave düşey gerilmeler azalırken, ANSYS MLKH ve sınırlı tabaka çözümlerinde ilave düşey gerilmeler artmaktadır.



Şekil 3.8. 7 No’lu noktada gerilme artışı-rölatif sıkılık ilişkisi

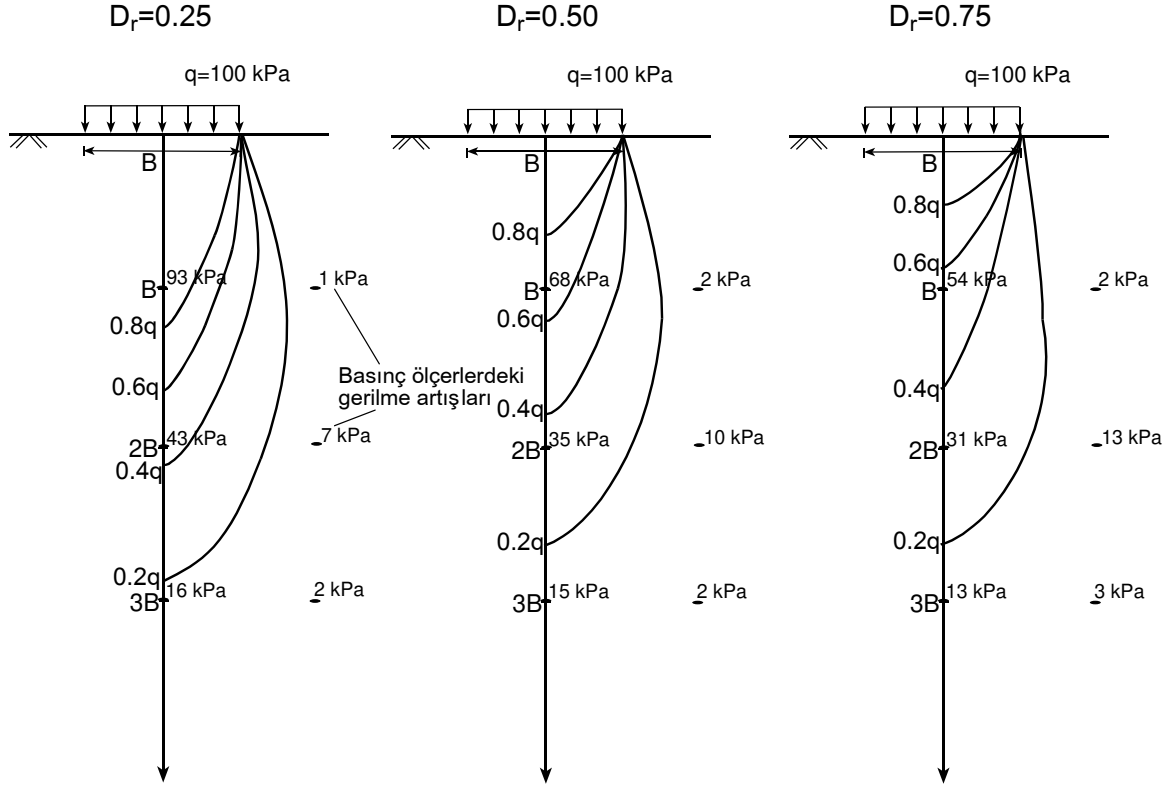
6 ve 7 No’lu noktalarda deneysel, nümerik ve analitik yöntemlerle bulunan gerilme artışları Tablo 3.3’de verilmektedir. Rölatif sıkılığın 0.25-0.75 aralığında değişmesi durumunda, 6 ve 7 noktalarında sınırlı tabaka ve ANSYS MLKH yaklaşımlarıyla bulunan ilave düşey gerilmelerdeki değişim %6’dan azdır.

Tablo 3.3. 6 ve 7 No’lu noktalardaki düşey gerilme artışları

Rölatif Sıkılık (Dr)	Deneysel (kPA)		ANSYS MLKH (kPA)		Boussinesq (kPA)		Sınırlı Tabaka (kPA)	
Gerilme Artışını Bulunduğu Yer	6	7	6	7	6	7	6	7
0.75	13	3	22.430	18.515	20.800	17.090	23.080	17.193
0.50	15	2	22.436	18.525	20.800	17.090	23.143	17.942
0.25	16	2	22.545	18.640	20.800	17.090	23.205	18.091

3.4. Farklı Rölatif Sıkılıklardaki Donatılı Zeminin Basınç Soğanları

Farklı sıkılıklardaki donatılı kum zemine ait basınç soğanları Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Rölatif sıkılık arttıkça anlamlı derinlik azalmaktadır. Fakat tüm rölatif sıkılıklarda anlamlı derinlik 3B’den daha az olmuştur. Ayrıca rölatif sıkılık arttıkça, basınç soğanı daralmaktadır.



Şekil 3.9. Farklı rölatif sıkılıklara ait basınç soğanları

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı rölatif sıklıklara sahip, donatılı kohezyonsuz zemindeki gerilme dağılışı deneysel, nümerik ve analitik yöntemler ile araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, özellikleri daha önce belirlenen kum deney tankına farklı rölatif sıklıklarda yerleştirilmiş ve model şerit temel ile zemin yüzeyine 100 kPA'lık ortalama düşey gerilme uygulanmıştır. Bu basınç uygulanırken tanka farklı derinliklerde yerleştirilen basınç ölçerler yardımıyla düşey gerilme artışları tespit edilip kayıt altına alınmıştır. Boussinesq ve sınırlı tabaka yöntemleri ile deney tankında basınç ölçerlerin yerleştirildiği noktalarda düşey gerilme artışları hesaplanmıştır. Ayrıca, multilineer kinematik pekleşme modeli kullanılarak ANSYS programında aynı noktalar için gerilme artışları bulunmuştur. Elde edilen deney sonuçları, nümerik ve analitik yöntemlerle elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şöyle sıralayabiliriz:

- Rölatif sıklık arttıkça model temelin eksenini altındaki noktalarda gerilmeler azalmaktadır. Bu durum, rölatif sıklığın düşey gerilme artışlarında ne kadar etkili bir parametre olduğunu göstermektedir.
- Donatılı zeminde geosentetik malzemenin, düşey gerilmelerin bir kısmını karşılaması ve düşey gerilme artışını azaltması bekleniyordu. Ancak, özellikle düşük rölatif sıklıklarda bu beklentinin doğru olmadığı tespit edilmiştir. Donatı kullanılmasının düşey gerilme dağılışı üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.
- Boussinesq, sınırlı tabaka ve ANSYS MLKH'den elde edilen düşey gerilme artışı değerleri ile deneysel bulgular, model temelin merkezi altındaki noktalarda paralellik gösterirken sağ ve sol noktalarda zıt yönde artma veya azalma göstermektedir.
- Deneysel olarak elde edilen düşey gerilme artışları, farklı rölatif sıklıklarda sığ derinliklerde Boussinesq çözümlerinin üzerinde, orta derinliklerde Boussinesq çözümlerine yakın ve derin noktalarda ise Boussinesq çözümlerinin altında çıkmıştır.
- Model temel eksenini sağında ve solundaki noktalarda düşey gerilmeler farklı rölatif sıklıklarda önce artmış sonra azalmıştır. Öyle ki, bu noktalarda sığ ve derin kısımlarda düşey gerilme artışı çok düşüktür. Bu durum geosentetik

malzeme ile güçlendirilmiş zeminlerde basınç soğanının daha dar olduğunun belirtisidir.

- Rölatif sıklık arttıkça anlamlı derinliğin azaldığı görülmüştür. Fakat tüm rölatif sıklıklarda anlamlı derinlik 3B'den daha azdır. Ayrıca rölatif sıklık arttıkça, basınç soğanı daralmaktadır.

Plastisite teorisine dayalı farklı malzeme modelleri kullanılarak deneysel verilere daha uygun sonuçlar veren modeller araştırılabilir. Ayrıca, ince taneli zeminlerde geosentetik malzemenin etkilerini gözlemlemek için benzer bir çalışma tekrarlanabilir.

5. KAYNAKLAR

- Adams, M.T. ve Collin J.G., 1997. Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundations, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123, 1, 66-72.
- Alawaji, H.A., 2001. Settlement and Bearing Capacity of Geogrid Reinforced Sand over Collapsible Soil, Geotextiles and Geomembranes, 19, 75-88.
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Akinmunsuru, J.O., AKINBOLADE, J.A. 1981. Stability of loaded footing on reinforced soil. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107(6):819-827.
- Bağrıaçık, B., Laman, M. ve Demir, A., 2011. Dairesel Temeller Altında Farklı Sıkılıklarda Oluşan Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması, 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, Bildiriler Kitabı, 552-565.
- Bağrıaçık, B., Laman, M. ve Demir, A., 2011. Kum Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Deneysel Olarak Belirlenmesi, 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, Bildiriler Kitabı, 540-552.
- Bağrıaçık, B., 2010. Zeminde 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.
- Burmister, D.M., 1956. Stress and displacement characteristics of a two-layer rigid base soil system: influence diagrams and practical applications. Proc. Highway Res. Board, 35, 773-814.
- Cho, S., ve 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.
- Demiröz, A., TAN, Ö. 2008. Donatılı Zeminler Üzerindeki Sürekli Temellerin Oturmasını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması. Selçuk Üniv., Mim. Müh. Fak. Der., Konya, 23:3
- Fragaszy, J.R., Lawton, E. 1984. Bearing capacity of reinforced sand subgrades. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 110(10):1500-1507.

- Göktepe, A.B., Altun S., LAV A.H. 2005. Esnek Üstyapılarda Taban Zemini Dinamik Davranışının Geosentetiklerle İyileştirilmesi. 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 238-247s
- Guido, V.A., Biesiadecki, G.L., Sullivan, M.J. 1985. Bearing capacity of a geotextile reinforced foundation. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 3:1777-1780.
- Hanna, A., and Ghaly, A., 1992. Effects of K0 and Overconsolidation on Uplift Capacity. Journal of Geotechnical Engineering, 118, 9, 1449-1469.
- Hanna, A.M., ve Soliman-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.
- Hataf, N. ve Rahimi, M.M., 2006. Experimental Investigation of Bearing Capacity of Sand Reinforced with Randomly Distributed Tire Shreds, Construction and Building Materials, 20, 910-916.
- Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E. ve Yen, S.C., 1993. The Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-reinforced Sand, Geotextiles and Geomembranes, 12, 351-361.
- 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.
- Koerner, R.M. (1997). Designing with Geosynthetics, Prentice Hall.
- Laman, M., Yıldız, A.A. 2003. Model Studies Of Ring Foundations On Geogrid Reinforced Sand. Geosynthetics International, 10(5):142-152
- Laman, M. ve Keskin, M.S., 2004a. Kumlu Zeminlerde Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 431,3, 53-57.
- Laman vd., 2004b. Farklı Sıkılıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilme Analizi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Mılović, D.M., Touzot, G. ve Tournier, J.P., 1970. Stresses and displacements in an elastic layer due to inclined and eccentric load over a rigid strip. Geotechnique, 20, 3, 231-252.
- Moroğlu, B., Uzuner, B.A. 2002. Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Yüzey Şerit Temelinin Davranışı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1:277-287.
- Moroğlu, B. 2006. Bir Model Yüzey Şerit Temelinin Donatısız ve Donatılı Kumda Davranışları. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, 1:39-46.

- Newmark, N.M., 1942. Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Solids. Univ. Of Ill., Eng. Expt. Stn., 24, 33, 4.
- Omar, M.T., Das, B.M., Puri, V.K. ve Yen, S.C., 1993. Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations on Sand with Geogrid Reinforcement, Canadian Geotechnical Journal, 30, 545-549
- Özaydın, K., 1989. Zemin Mekaniği. MEYA Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul.
- Özüdoğru, K., Tanm, O., Aksoy, 1996. Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Patel, M.M. 1982. Influnce of Shape pf Footings on the Performance of the Reinforced Sand Bed. Proceedings of the Confrence on Contruction Practices and Instrumentation in Geotech. Eng., 1:265-269.
- Poulos, H.G., 1966. Stresses and Displacements in an Elastic Layer Underlain by a Rough Rigid Base. Civ. Eng. Res. Rep. No. R63, Univ. of Sydney, Australia.
- Poulos, H.G. ve Davis, E.H., 1974. Elastic Solutions for Soil and RockMechanics. John Wiley and Sons, Inc., 411p.
- Sağlam, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi. Ph.D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Shin, E.C., Das, B.M., Puri, V.K., Yen, S.C., Cook, E.E. 1993. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced clay. Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16(4):534-541.
- Shin, E.C., Das, B.M., Lee, E.S., Atalar, C. 2002. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced sand. Geotechnical and Geological Engineering, 20:169-180.
- Şadoğlu, E., 2009. Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Sığ Şerit Temelin Taşıma Gücü, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şadoğlu, E., Cüre, E., Moroğlu, B. ve Uzuner, B. A., 2009. Ultimate Loads For Eccentrically Loaded Model Shallow Strip Footing On Geotextile-Reinforced Sand, Geotextiles and Geomembranes, 27, 176-182.
- Terzaghi, K., 1920. Old Earth Pressure Theories and New Test Results. Engrg. News-Rec., 85, 14, 632-637.
- URL-1, <http://www.geogrid.com>, 10.05.2013
- URL-2, <http://www.geosentetikler.com>, 13.05.2013
- URL-3, <http://www.geotekstile.com>, 10.05.2013

URL-4, <http://www.istanbulteknik.com>, 16.05.2013

URL-5, <http://www.kercherei.com>, 26.05.2013

URL-6, <http://www.payteks.com>, 18.05.2013

URL-7, <http://www.yapikatalogu.com>, 28.05.2013

Uzuner, B. A., 2007. Temel Zemin Mekaniği, 7. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon.

Wasti, Y. ve Bütün, M. D., 1996. Behaviour of Model Footings on Sand Reinforced with Discrete Inclusions, Geotextiles and Geomembranes, 14, 575-584.

Yetimoğlu, T., Wu, J.T.H., Sağlamer, A. 1994. Bearing capacity of rectangular footings on geogrid-reinforced sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120(12):2083-2099.

Yasrobi, S.Sh., , S.F. 2009. Characterization Of Shallow Foundations On Loose Sand Reinforced With Geotextile. 2rd International Conference On New Developments In Soil Mechanics And Geotechnical Engineering, Near East Univ., Nicosia, North Cyprus

Yıldız, L. 2005., Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Ens., Adana

ÖZGEÇMİŞ

Bayram ATEŞ 1988 yılında Trabzon’da doğdu. Lise öğrenimini Trabzon Fatih Lisesi’nde tamamladı. 2006-2007 eğitim öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında lisans öğrenimini başarıyla tamamladıktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2011 yılı Kasım ayında Rize Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’ne teknik personel kadrosundan atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.