



**JEOGRİD DONATILI ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMLERİNİN  
UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI**

**Nilüfer SUNGUR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2015**

Nilüfer SUNGUR tarafından hazırlanan “JEOGRİD DONATILI ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMLERİNİN UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Nihat Sinan IŞIK  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan:** Prof. Dr. Reşat ULUSAY  
Uygulamalı Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Prof. Dr. Mehmet ORHAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 12/02/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nilüfer SUNGUR

12/02/2015



# JEOGRİD DONATILI ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMLERİNİN UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Nilüfer SUNGUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2015

## ÖZET

Son yıllarda bir jeosentetik malzeme olan jeogridlerin, istinat duvarları, karayolları - demiryolları dolgularında ve benzeri güçlendirme amaçlı kullanımlarında hızlı bir artış olmuştur. Jeogrid ile güçlendirilmiş donatılı zeminlerin taşıma güçleri jeogridlerin rijit taban etkisi, gerilmiş membran etkisi ve yanıl sınırlama mekanizmaları nedeniyle güçlendirilmemiş zeminlere oranla daha yüksek olmaktadır. Literatürde jeogrid donatılı zeminlerin taşıma güçlerinin hesaplanması için geliştirilmiş çeşitli analitik yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada öncelikle literatürde bulunan, jeogrid donatılı zeminler üzerinde yapılmış model yükleme deneyleri ve sayısal modelleme çalışmaları sonuçları incelenerek optimum jeogrid donatı sayısı ve yerleştirme biçimleri yorumlanmış, daha sonra orta sıkı – sıkı ince bir kum içerisinde jeogrid tabaka sayısı 1 – 4 arasında uygulanarak güçlendirilmiş bir zemin üzerinde yapılan laboratuvar ölçeğinde şerit temel yükleme deneylerinden elde edilen deneysel taşıma güçleri, çeşitli analitik yöntem sonuçlarıyla ve sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen taşıma güçleriyle kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda kum zeminin direk kesme kutusu deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açısı kullanılarak analitik ve nümerik yöntemler ile hesaplanan taşıma güçlerinin deneysel sonuçlara oranla daha düşük çıktığı bununla birlikte içsel sürtünme açısı 3° yüksek alındığında sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Son olarak, suya doymun yumuşak bir kil zemin üzerine inşaa edilecek yarım metre yükseklikte hayali bir demiryolu dolgununun jeogrid ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumlarının taşıma güçleri çeşitli analitik yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış; sonuç olarak iki sıra jeogrid kullanıldığında taşıma gücünde yaklaşık % 30 oranında bir artış olabileceği belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.050  
Anahtar Kelimeler : Jeosentetikler, jeogrid, taşıma gücü, donatılı zemin  
Sayfa Adedi : 121  
Danışman : Doç. Dr. Nihat Sinan IŞIK

# COMPARISON OF BEARING CAPACITY CALCULATION METHODS IN GEOGRID REINFORCED SOILS

(M. Sc. Thesis)

Nilüfer SUNGUR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2015

## ABSTRACT

There has been a significant increase in the use of geogrids which are type of geosynthetic material at retaining walls, road – rail road fills and similar applications in recent years. Bearing capacity of geogrid reinforced soils are much higher than that of unreinforced soils due to rigid base effect, lateral confinement effect and tensioned membrane effect of geogrids. There are several analytical methods for the calculation of bearing capacity of geogrid reinforced soils. In this study, first, optimum placement and number of geogrid layers are examined by investigating the model loading tests and numerical simulations performed on geogrid reinforced soils. Second observed bearing capacity values of model strip foundation loading tests performed on medium – dense fine sand reinforced with 1 to 4 layers of geogrids compared with the results of analytical bearing capacity calculation methods and finite element simulation results. According to this comparison, it was determined that calculated bearing capacity values by using analytical and numerical methods are lower than that determined from model loading tests when the angle of internal friction of fine sand determined from direct shear tests are used in calculations. However observed and calculated bearing capacity values are in good agreement when an internal friction angle that is  $3^\circ$  higher than that was determined from direct shear tests is used. Finally, bearing capacity values of a hypothetical geogrid reinforced and unreinforced half meter thick rail road fill resting on a saturated soft clay deposit were calculated using analytical bearing capacity calculation methods and finite element simulations. It was determined that bearing capacity values increase about 30 % when double geogrid layers used in fill material.

Science Code : 714.1.050

Key Words : Geosynthetics, jeogrid, bearing capacity, reinforcement,

Page Number : 121

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

## TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın başlangıcından itibaren beni teşvik eden, daima en iyi ve doğrunun olması için eşsiz deneyimleri ile beni yönlendiren, ayrıca bu tezin hazırlanması aşamasında bilgi ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Nihat Sinan IŞIK'a, verdiği destek ve sağladığı katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Önemli eleştiri ve görüşleriyle bu tezin niteliğinin artırılmasında ciddi katkıları bulunan Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a ve Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Tezin her aşamasında emeği bulunan ve motive eden sevgili eşim Tolga SUNGUR'a her türlü desteği ve anlayışı ile yanımda olduğu için teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, bu günlere gelmemde en büyük paya sahip babam Recep GÖLCÜK ve annem Nermin GÖLCÜK'e, ablalarım Nuriye, Raviye, Fecriye, Ayfer'e ve kardeşim Halit GÖLCÜK'e hayatım boyunca göstermiş oldukları sevgi, destek ve güvene içtenlikle teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| ÖZET .....                                       | iv           |
| ABSTRACT.....                                    | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                    | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                        | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                          | xi           |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                         | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                     | xvi          |
| 1. GİRİŞ.....                                    | 1            |
| 2. JEOSENTETİKLER.....                           | 3            |
| 2.1. Jeosentetiklerin Gelişimi.....              | 3            |
| 2.2. Jeosentetik Türleri .....                   | 5            |
| 2.2.1. Jeotekstiller .....                       | 5            |
| 2.2.2. Jeogridler.....                           | 6            |
| 2.2.3. Jeonet .....                              | 8            |
| 2.2.4. Jeohücre.....                             | 8            |
| 2.2.5. Jeomat .....                              | 9            |
| 2.2.6. Jeosentetik kil kaplamalar .....          | 9            |
| 2.2.7. Jeomembranlar .....                       | 10           |
| 2.2.8. Jeokompozitler .....                      | 11           |
| 2.3. Jeosentetiklerin İşlev ve Özellikleri ..... | 13           |
| 2.3.1. Jeosentetiklerin işlevleri.....           | 13           |
| 2.3.2. Jeosentetiklerin genel özellikleri.....   | 22           |
| 3. SİĞ TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ .....              | 27           |
| 3.1. Giriş.....                                  | 27           |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 3.2. Sığ Temeller .....  | 27           |
| 3.2.1. Sığ temellerde yenilme türleri .....  | 28           |
| 3.2.2. Taşıma gücü kavramı .....   | 31           |
| <b>4. JEOGRİDLERİN ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANIMI VE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b> | <b>39</b>    |
| 4.1. Donatılı Zeminler .....   | 39           |
| 4.1.1. Jeogridin kullanım alanları.....  | 39           |
| 4.1.2. Jeogrid-zemin etkileşimi .....  | 40           |
| 4.2. Donatılı Zemin Davranışı.....   | 42           |
| 4.2.1. Binquet ve Lee (1975) yöntemi.....  | 44           |
| 4.2.2. Huang ve Tatsuoka (1990) yöntemi.....   | 48           |
| 4.2.3. Huang ve Menq (1997) yöntemi .....  | 49           |
| 4.2.4. Wayne, M.H., Han, J., Akins, K., (1998) yöntemi .....                             | 50           |
| 4.2.5. Michalowski (2004) yöntemi .....  | 53           |
| 4.2.6. Sharma,R., Chen, Q., Abu-Farsakh, M. ve Yoon, S., (2009) yöntemi .....            | 54           |
| 4.2.7. Sayısal analizlerle ilgili önceki çalışmalar .....                                | 61           |
| 4.2.8. Deneysel çalışmalar .....   | 67           |
| <b>5. YOL YAPILARINDA JEOGRİD KULLANIMI.....</b>   | <b>71</b>    |
| 5.1. Güçlendirilme Amaçlı Tasarım.....   | 72           |
| 5.2. Güçlendirme Amaçlı Jeogrid Kullanımı .....  | 76           |
| 5.2.1. Yanal tutma ve sınırlandırma .....  | 77           |
| 5.2.2. Membran etkisi.....   | 78           |
| 5.2.3. Taşıma gücü .....   | 79           |
| 5.3. Jeogrid Yerleşim Yerleri .....  | 80           |
| 5.4. CBR Verilerine Göre Jeogrid Kullanımı.....  | 81           |

|  |     |
|--|-----|
| 6. TAŞIMA GÜCÜ TEORİLERİ VE SAYISAL ANALİZLERLE<br>HESAPLANAN DONATILI ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜÇLERİNİN<br>LİTERATÜRDE BULUNAN DENEY SONUÇLARIYLA<br>KARŞILAŞTIRILMASI ..... | 87  |
| 6.1. Giriş.....  | 87  |
| 6.2. Patra ve diğerleri (2005) Tarafından Yapılan Model Deney .....  | 87  |
| 6.3. Model Deneylerin Taşıma Gücü Kuramları ve Sonlu Elemanlar Analizleriyle<br>Hesaplanması .....   | 90  |
| 6.4. Kuramsal ve Sayısal Yaklaşımlarla Hesaplanan Taşıma Güçlerinin Model Deney<br>Sonuçlarıyla Karşılaştırılması .....  | 100 |
| 7. KURGUSAL BİR DEMİRYOLU KESİDİNDE JEGRID<br>UYGULAMASI .....   | 105 |
| 7.1. Örnek Bir Demiryolu Projesinde Jeogrid Kullanımı .....  | 105 |
| 7.2. Huanq ve Menq (1997)'in Yöntemine Göre Yapılan Hesaplamalar .....   | 106 |
| 7.3. Sonlu Elemanlar Analizleri .....  | 107 |
| 7.4. Wayne ve diğerleri (1998)'nin Yöntemine Göre Hesaplama .....  | 109 |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....   | 113 |
| KAYNAKLAR .....  | 115 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 121 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| <b>Çizelge</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Jeotekstillerin fonksiyonlarına göre uygulama alanları .....                                 | 21           |
| Çizelge 2.2. Jeosentetiklerin üretilmesinde kullanılan polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ..... | 22           |
| Çizelge 2.3. Jeosentetiklerin hammaddelerine göre özellikleri .....                                       | 24           |
| Çizelge 3.1. Terzaghi temel şekil katsayıları .....   | 35           |
| Çizelge 3.2. Meyerhof faktörleri .....  | 37           |
| Çizelge 4.1. Donatıya bağlı taşıma gücü katsayıları .....   | 54           |
| Çizelge 6.1. Jeogridin fiziksel özellikleri .....   | 88           |
| Çizelge 6.2. Model deney serisi .....   | 89           |
| Çizelge 6.3. Model deney sonuçları.....   | 89           |
| Çizelge 6.4. Huang ve Menq (1997) yöntemi ( <i>derinlik faktörü dâhil</i> ).....                          | 92           |
| Çizelge 6.5. Huang ve Menq (1997) yöntemi ( <i>derinlik faktörü kullanılmadan</i> ).....                  | 93           |
| Çizelge 6.6. Michalowski (2004) yöntemi.....  | 94           |
| Çizelge 6.7. Sonlu elemanlar analizi.....   | 99           |
| Çizelge 6.8. Deney serisi III; yöntemlere taşıma gücü değerleri karşılaştırması.....                      | 101          |
| Çizelge 7.1. Huanq ve Menq (1997)'in yöntemine göre hesaplanan taşıma güçleri .....                       | 106          |
| Çizelge 7.2. Sonlu elemanlar analizi.....   | 108          |
| Çizelge 7.3. Wayne ve diğerleri (1998)'nin yöntemi .....  | 109          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Jeosentetiklerin gruplandırılması .....  | 4            |
| Şekil 2.2. Jeosentetik kil kaplamalar .....   | 10           |
| Şekil 2.3. Jeosentetiklerin ayırma işlevi .....   | 13           |
| Şekil 2.4. Jeosentetiklerin filtrasyon işlevi .....   | 15           |
| Şekil 2.5. Jeosentetiklerin drenaj işlevi .....   | 16           |
| Şekil 2.6. Jeosentetiklerin güçlendirme işlevi .....  | 17           |
| Şekil 2.7. Jeosentetiklerin sızdırmazlık işlevi .....   | 18           |
| Şekil 2.8. Jeosentetiklerin koruma işlevi .....   | 19           |
| Şekil 2.9. Jeosentetiklerin erozyon işlevi .....  | 19           |
| Şekil 2.10. Jeotekstillerde tipik boşluk boyutu dağılımı .....  | 26           |
| Şekil 3.1. Sığ temel .....  | 28           |
| Şekil 3.2. Sığ temelerde taşıma gücü yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi .....   | 29           |
| Şekil 3.3. Bölgesel makaslama yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi ....   | 30           |
| Şekil 3.4. Zımbalama makaslama yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi   | 30           |
| Şekil 3.5. Rankine kamalarına etkiyen yükler .....  | 32           |
| Şekil 3.6. Terzaghi kuramında yenilme (kayma bölgeleri).....  | 34           |
| Şekil 3.7. Meyerhof taşıma gücü kuramında kayma yüzeyleri a) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri b) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri ..... | 36           |
| Şekil 4.1. Donatı- zemin etkileşim mekanizmaları ve deney yöntemleri .....  | 41           |
| Şekil 4.2. Jeogridin zeminden sıyrıılma mekanizması .....   | 42           |
| Şekil 4.3. Donatılandırma mekanizmaları .....   | 44           |
| Şekil 4.4. Yenilme mekanizmaları .....  | 45           |
| Şekil 4.5. Şerit temel altında gerilme dağılımları ve yenilme mekanizması .....   | 46           |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 4.6. Donatısız ve donatılı zeminde kuvvet bileşenleri a) Donatısız zemin b) Donatılı zemin ..... | 48           |
| Şekil 4.7. Donatılı kum zeminde yenilme modeli a) Yenilme modeli b) Yenilme modeli .....               | 49           |
| Şekil 4.8. Donatılı zemin sisteminde yenilme mekanizması .....   | 49           |
| Şekil 4.9. Donatılı zemin sisteminde olası yenilme mekanizmaları .....                                 | 52           |
| Şekil 4.10. Zemin-temel sisteminde yenilme mekanizması.....  | 54           |
| Şekil 4.11. Yenilme Mekanizmaları .....  | 55           |
| Şekil 4.12. abc zemin kamasının serbest gövde diyagramı .....  | 57           |
| Şekil 4.13. bcdg zemin kamasının serbest gövde diyagramı .....   | 58           |
| Şekil 4.14. Zemin sürtünme açısı $\emptyset$ , $X_T$ ile değişimi .....                                | 59           |
| Şekil 4.15. Kumda düşey oturma davranışı .....   | 60           |
| Şekil 4.16. Kilde birim deformasyon dağılımı.....  | 61           |
| Şekil 5.1. Jeogrid ve zemin arasındaki kilitleme mekanizması .....                                     | 71           |
| Şekil 5.2. Piramit yük dağılımı .....  | 72           |
| Şekil 5.3. Agregata tabakalarına göre yük dağılımı .....   | 73           |
| Şekil 5.4. Jeotekstille azalan agregata kalınlığı .....  | 76           |
| Şekil 5.5. Kaplamasız yollarda jeogrid uygulandığında oluşan gerilmeler .....                          | 77           |
| Şekil 5.6. Jeogridin zemine yanal tutma ve sınırlandırma etkisi .....                                  | 78           |
| Şekil 5.7. Jeogridin zemine düşey membran etkisi .....   | 79           |
| Şekil 5.8. Jeogridin zeminin taşıma gücünün etkisi .....   | 79           |
| Şekil 5.9. Kaplamasız yollarda jeogrid kullanımında konumlar ve işlevler .....                         | 81           |
| Şekil 5.10. CBR ve drenajsız makaslama dayanımı değerleri arasındaki korelasyon....                    | 83           |
| Şekil 5.11. Temel seviyesinin belirlenmesi.....  | 84           |
| Şekil 6.1. Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deneyin şematik gösterimi.....           | 88           |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 6.2. Model deneyin sonuçlarına göre katman sayısı için taşıma gücü grafiği.....  | 90           |
| Şekil 6.3. Model deneyin sonuçlarına göre Df/B oranı için taşıma gücü grafiği.....   | 90           |
| Şekil 6.4. Donatılı zemin sisteminde yenilme mekanizması .....   | 91           |
| Şekil 6.5. Deney serisi II; katman sayısına göre taşıma gücü grafiği .....   | 92           |
| Şekil 6.6. Deney Serisi II, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği .....  | 93           |
| Şekil 6.7. Deney Serisi III; Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği.....  | 94           |
| Şekil 6.8. Deney Serisi II, katman sayısına göre taşıma gücü grafiği .....   | 95           |
| Şekil 6.9. Deney Serisi III, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği.....  | 96           |
| Şekil 6.10. Model deneylerin simülasyonunda kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları.....                               | 97           |
| Şekil 6.11. Sürtünme açısı $41^\circ$ ve 3 tabakalı grid modeli için yenilme anındaki deformasyonların dağılımı .....            | 98           |
| Şekil 6.12. Deney Serisi II, katman sayısına göre taşıma gücü grafiği .....  | 99           |
| Şekil 6.13. Deney Serisi III, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği.....   | 100          |
| Şekil 6.14. Deney Serisi III, içsel sürtünme açısı $\phi=41^\circ$ 'ki Df/B oranına göre taşıma gücü karşılaştırma grafiği ..... | 102          |
| Şekil 6.15. Deney Serisi III, içsel sürtünme açısı $\phi=41^\circ$ 'ki Df/B oranına göre taşıma gücü karşılaştırma grafiği ..... | 102          |
| Şekil 7.1. Analizi yapılan vakanın modeli .....  | 105          |
| Şekil 7.2. Huanq ve Menq (1997)'in yöntemine göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği.....                                 | 107          |
| Şekil 7.3. Doğal zemin analizi için kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları....  | 107          |
| Şekil 7.4. Güçlendirilmiş dolgu için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları.....                                    | 108          |
| Şekil 7.5. Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen yenilme anındaki deformasyonların dağılımı .....                              | 108          |
| Şekil 7.6. Sonlu elemanlar analizine göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği ...  | 109          |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 7.7. Wayne ve diğerleri(1998)'nin yöntemi göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği.....                                     | 110          |
| Şekil 7.8. Huang ve Meng (1997) ile Wayne ve diğerleri (1998)'nin kuramı ve sonlu elemanlar analizi sonuçlarının karşılaştırılması..... | 110          |



**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Resim 2.1. Jeotekstiller a) Örgülü b) Örgüsüz .....                          | 6            |
| Resim 2.2. Ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü jeogridler .....          | 7            |
| Resim 2.3. İki eksenli jeogrid (Tenax).....                                  | 7            |
| Resim 2.4. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü jeogridler ..... | 7            |
| Resim 2.5. İki eksenli jeonet (GSE World). .....                             | 8            |
| Resim 2.6. Jeohücre (Tenax). .....   | 8            |
| Resim 2.7. Jeomat (Maccaferri).....  | 9            |
| Resim 2.8. Jeomembran (XR).....  | 11           |
| Resim 2.9. Jeokompozitler (Wikipedia) .....                                  | 12           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>              | <b>Açıklamalar</b>                             |
|------------------------------|--|
| $\emptyset$                  | İçsel sürtünme açısı                           |
| $\emptyset_u$                | Donatı-zemin sürtünme açısı                    |
| <b>B</b>                     | Temel genişliği                                |
| <b>b</b>                     | Kayma bloğu yüksekliği                         |
| <b>BCR</b>                   | Taşıma kapasitesi oranı                        |
| <b>c</b>                     | Kohezyon                                       |
| <b>d</b>                     | Donatı bölge derinliği                         |
| <b>Df</b>                    | Temel derinliği                                |
| <b>Dr</b>                    | Rölatif sıklık                                 |
| <b>GS</b>                    | Güvenlik katsayısı                             |
| <b>h</b>                     | Donatı düşey aralığı                           |
| <b>J</b>                     | Donatı eksenel rijitliği                       |
| <b>L</b>                     | Donatı genişliği                               |
| <b>M</b>                     | z/B oranına bağlı katsayı                      |
| <b>N</b>                     | Toplam donatı tabaka sayısı                    |
| <b>Nc, Nq, N<sub>γ</sub></b> | Taşıma kapasitesi katsayıları                  |
| <b>q</b>                     | Temele uygulanana ortalama taban basıncı       |
| <b>q<sub>u</sub></b>         | Donatısız durumdaki taban basıncı              |
| <b>s</b>                     | Temel plakasının yaptığı düşey yöndeki oturma  |
| <b>SE</b>                    | Sonlu elemanlar                                |
| <b>T</b>                     | Donatı tabakasındaki çekme kuvveti             |
| <b>u</b>                     | İlk donatı tabakasının temel tabanına uzaklığı |
| <b>γ</b>                     | Zemin birim hacim ağırlığı                     |
| <b>Δσ</b>                    | İlave düşey gerilme değişimi                   |
| <b>τ<sub>xz</sub></b>        | Kayma gerilmesi                                |

**Kısaltmalar****Açıklamalar****ASTM**

American Standardsfor Testing and Materials (Deney ve malzemeleri için Amerikan standardı)

**EN**

European Norm (Avrupa Standardı)

**IGS**

International Geosynthetics Society (Uluslar arasıJeosentetikler derneği)

**ISO**

International Organization for Standardization (Uluslar arası standartlar organizasyonu)

**TS**

Türk Standardı



## 1. GİRİŞ

Jeosentetikler inşaat mühendisliği problemlerine çözüm üretmek için genelde polimer hammaddelerden üretilmiş malzemelerdir. Öncelikle jeotekstil üretimi ile başlayan imalat, jeosentetik ürünlerin çok çeşitli şekilde ve özellikle üretilmesi sonucunda her gün gelişmeye ve çeşitlenmeye devam etmektedir. Jeosentetikler ile ilgili ilk üretimler ve yayınlar 1960'lı yıllarda jeosentetiklerin filtre ve donatı olarak kullanılmaları ile başlamaktadır. 1977 yılında Paris'te düzenlenen ilk kongre ile bu konularda çalışan ilk üretici ve uygulamacıları bir araya getirmiştir (Güler, 2014). IGS (International Geosynthetics Society) 1982 yılında kurulmuştur.

Jeosentetik türleri; jeotekstiller, jeogridler, jeomembranlar, jeonetler, jeokompozitler, jeoseller, jeomatlar ve jeosentetik kil kaplamalarıdır. Jeosentetikler günümüzde pek çok inşaat mühendisliği, jeoteknik mühendisliği, ulaştırma, çevre ve hidrolik projelerinde başarı ile kullanılmaktadır. Jeosentetikler yol, demiryolu, havaalanı, seddeler, istinat duvarları, rezervuarlar, kanallar, barajlar, erozyon önleme projeleri, katı ve sıvı atık depolama sahaları taban ve üst kaplamaları, madencilik faaliyetleri ile ilgili üretim atık depolama, su ürünleri ve tarım gibi çok çeşitli uygulamalarda hem daha ekonomik hem de daha üstün mühendislik çözümleri sağlamaktadır (Güler, 2014). Jeosentetiklerin işlevleri uluslar arası literatürde; ayırma, donatı, filtre, drenaj, geçirimsizlik, koruma ve son olarak eklenen erozyon kontrolü olarak sıralanmaktadır. Pek çok uygulamada jeosentetiğin öne çıkan bir işlevi olmakla birlikte, jeosentetik bir veya daha fazla ikincil işlevi de aynı anda yerine getirebilmektedir. Güçlendirme ve donatı olarak jeogridler kullanılmaktadır (Wasti, 2007).

Jeoteknik uygulamalarında kullanılan donatılı zemin uygulamaları ile hızlı, kolay ve ekonomik çözümler üretilebilmektedir. Donatılı zeminler, çekme dayanımı çok düşük olan zeminlerin metal şerit, jeotekstil veya jeogrid gibi malzemeler kullanılarak mühendislik özelliklerinin iyileştirildiği zeminlerdir. Donatılı zemin kavramı bu gelişmelere koşut olarak ilk kez Fransız Mühendis H.Vidal (1960) tarafından bilimsel olarak araştırılmıştır (Vidal, 1968). Günümüze değin değişik yönleriyle de bu konulardaki araştırmalar sürdürülmüştür. Donatılı zemin uygulamasında amaç; zeminin taşıma gücünü arttırmak, oturma ve deformasyonları azaltmak olup alternatif ve özellikle ekonomik olması sebebiyle son yıllarda gittikçe önem kazanan zemin iyileştirme yöntemlerinden biri

olmuştur. Ancak donatılı zemin etkileşimini belirleyerek projelendirmelerde esas olacak hesap yöntemleriyle ilgili araştırmalar halen sürmektedir. Donatının yerleştirilme ve zemine bağlanma şekli, donatı tabaka sayısı, zemin seviyeleri, birinci donatı tabakasının temel tabanına uzaklığı, kullanılan donatının boyu ve özellikleri, zemin sıklığı, temel tipi ve genişliği, donatı ve zemin etkileşimi gibi parametreler donatılı zemin uygulamalarında temellerin taşıma gücünü etkilemektedir. Bu parametrelerin bir kısmı taşıma gücünü az oranda etkilerken, diğer bir kısmı ise daha fazla oranda etkilemektedir.

Bu çalışmada, jeogrid donatılı zemin davranışlarıyla ilgili kuramsal ve sayısal yaklaşımlar literatürde yayınlanmış olan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, taşıma gücü kavramlarından ve analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler ve çizelgeler halinde verilerek karşılaştırılmıştır, donatı yerleşim parametrelerinin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.

Jeogridlerin yol inşaatlarında kullanılması ile zeminin taşıma gücünü artırması, membran etkisi ile oturmaların azaltılması ve yanal deformasyonları kısıtlaması ile daha duraylı ve uzun ömürlü bir yol elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada ayrıca, tipik bir demiryolunun donatısız ve jeogrid donatılı ile güçlendirilmiş şekilde taşıma gücü hesapları kuramsal yaklaşımlar ve sonlu elamanlar analizi yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. JEOSENTETİKLER

### 2.1. Jeosentetiklerin Gelişimi

Jeoteknik, ulaşım ve gittikçe artan bir şekilde çevre jeotekniği uygulamalarında, zemin veya zemin içinde bir sistemin performansını iyileştirme amacıyla sentetik polimerlerden üretilen plastik malzemeler zemin yerine yada zeminle beraber kullanılmaktadır(Wasti, 2007). Jeosentetik, jeoteknik ve inşaat mühendisliği uygulamalarında toprak ve/veya diğer malzemelerle temasta olacak şekilde kullanılan levha, şerit ve üç boyutlu yapıda, bileşenlerinden en az bir tanesi sentetik veya doğal bir polimerden yapılmış mamulü tanımlayan genel terimdir (TS EN10318, 2006).

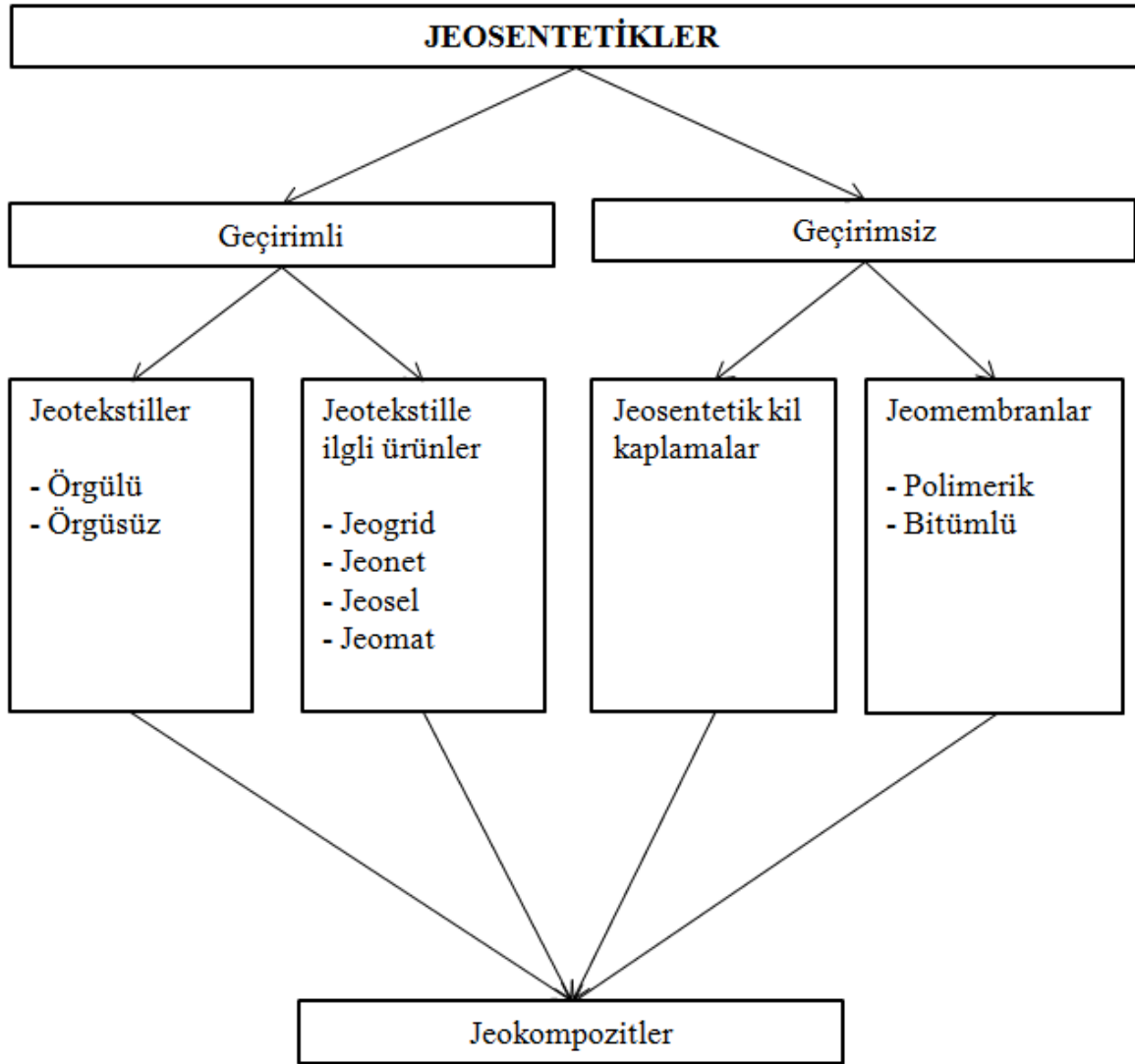
Amerikan standartları (Amerikan Society of Testing and Materials; ASTM D4439-14, 2014) jeosentetiği “bir inşaat projesinin, yapının veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer jeoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile birlikte kullanılan, polimerik malzemelerden üretilmiş düzlemsel ürünlerdir” şeklinde tanımlamaktadır.

İlk jeosentetik malzeme kullanımı, Güney Carolina (A.B.D.) Karayolu’nda 1926 yılında denenmiştir. Ağır pamuklu bir jeotekstil, sıkıştırılmış taban zemininin üzerine serilmiş, üzerine sıcak asfalt dökülmüş ve onun üzerine de ince bir kum seviyesi serilmiştir. Bu çalışmayla ilgili olarak 1935’de yayınlanan sonuçlara göre, jeotekstil bozuluncaya kadar yolun iyi durumda kalmasını, çatlakların, sökülmelerin ve bölgesel yol çökmelerinin azalmasını sağlamıştır (Beckham ve Mills, 1935).

Türkiye’de yeni kullanılan bu malzemeler, esasen özellikle Avrupa ve A.B.D’de 50’li yıllardan beri gittikçe artan bir şekilde ve başarıyla kullanılmaktadır. Yıllar boyunca bu malzemeler üzerine yapılan gözlemler ve incelemelerin bu tür malzemelerle ilgili soru işaretlerini büyük ölçüde ortadan kaldırdığı görülmüştür (Çoruh,1991).

Son otuz yıl içerisinde jeosentetiklerin inşaat işlerinde kullanımı hızla artmış ve en çok kullanılan malzemeler arasında yer almıştır. Çoğu durumda, jeosentetiklerin kullanımı güvenlik faktörünü arttırmakta, performansı geliştirmekte ve konvansiyonel tasarım yöntemlerine göre maliyetleri azaltmaktadır (Bağcı, 2007).

Jeosentetikler ile ilgili tanımları veren EN ISO 1038 (2004) no'lu "taslak Avrupa standardına" göre jeosentetikler gruplandırılmaktadır (Şekil 2.1). Başlıca jeosentetik türleri geçirgen olan jeotekstil ve pratik olarak geçirimsiz olan jeomembrandır. "Jeotekstil ile ilgili ürünler" olarak adlandırılan geçirimli ürünler grubunun altında jeogrid, jeonet, jeosel ve jeomat yer almaktadır. Jeomembranlar polimerik ve bitümlü olabilmektedir. Kil içeren jeosentetik kil kaplamalar da geçirimsiz ürünlerdir. Birden fazla jeosentetik ürün kullanılarak imal edilen türler jeokompozit olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Jeosentetiklerin gruplandırılması (EN ISO 1038, 2004)



## 2.2. Jeosentetik Türleri

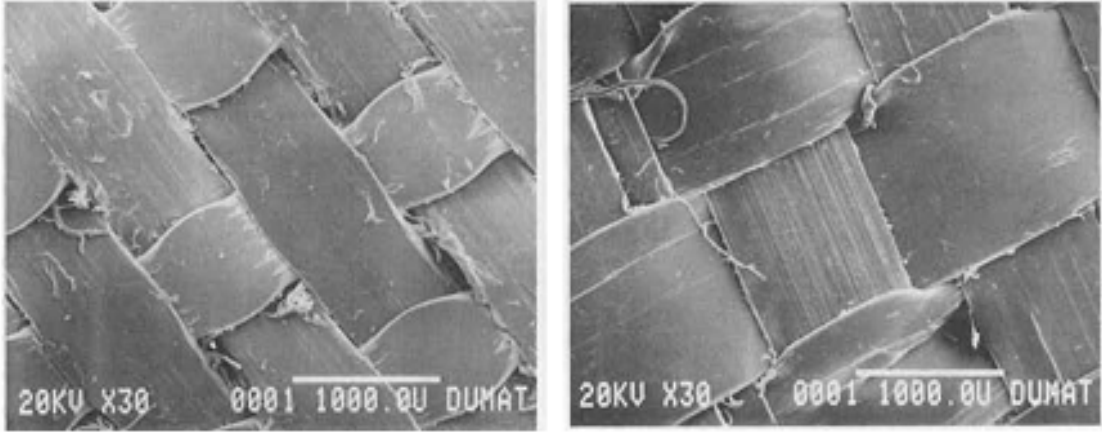
### 2.2.1. Jeotekstilller

ASTM D4439-14 jeotekstili, insan yapısı bir proje veya sistemin bir parçası olarak temel elamanı, zemin kaya ve toprakla veya Jeoteknik mühendisliği ile ilgili kullanılan herhangi bir malzeme ve geçirimli tekstil ürünü olarak tanımlamaktadır (Koerner, 2005).

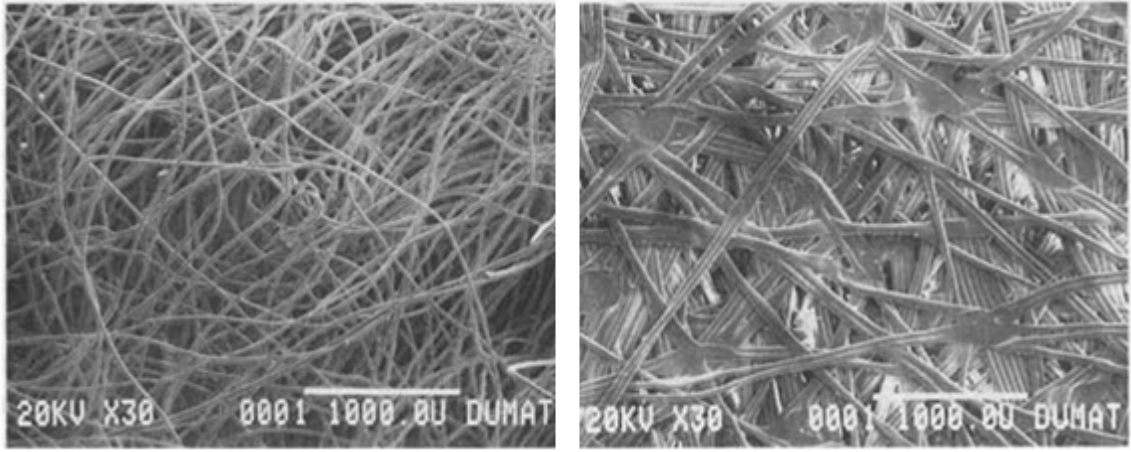
Jeotekstil, jeosentetiklerin ilk ve miktar açısından halen en fazla kullanılan türüdür. Bu nedenle jeotekstil terimi jeomembran hariç tüm diğer sentetik ürünleri kapsayan bir terim olarak kullanılmıştır. İlk türleri sentetik elyaflardan geleneksel dokuma yöntemleri ile üretilen “örgülü” tip jeotekstillerdir. 1960’tan sonra tekstil sayesinde daha ucuz olan “örgüsüz” jeotekstil üretimi ile günümüzde pazar payı yaklaşık % 70 olan örgüsüz tipler, elyafların birleştirilme yöntemlerine bağlı olarak kendi içinde üçe ayrılır (Koerner, 2005).

- a) En yaygın olan jeotekstil, elyafların özel iğnelerle birbirine dolandırıldığı mekanik bağlamalı veya keçe tipidir. Mekanik olarak sağlamlaştırılmış keçemsi malzeme yumuşak olup, kolay şekil verilebilir ve hacimlidir.
- b) Elyafların çakışma noktalarında ısı ve basınç altında birleştirildiği ısıl bağlamalı tipidir. Isıl bağlamalılar keçelerden daha ince ve daha az esnektir. Lifler alçak derecede eriyen bir kılıfa sahiptir ve üst üste gelen noktalarda erime ile birleşme oluşur.
- c) En az yaygın olan, liflere akrilik bir reçine püskürtülerek veya emdirilerek kimyasal bağlamalı tiptir. Liflerin birbiriyle temas ettikleri yerlerde katı bir birleşme oluşur. Bu nedenle de kimyasal yoldan sağlamlaştırılmış malzeme çok sert olur.

Jeotekstil 0,4-3 mm kalınlığında ve 70-350 gr/m tül ağırlığında sentetik polipropilen veya polyester fiberler içeren geçirgen jeosentetiklerdir. Aşağıdaki resim 2.1’de örgülü ve örgüsüz jeotekstil türlerinden örnekler verilmektedir.



a) Örgülü



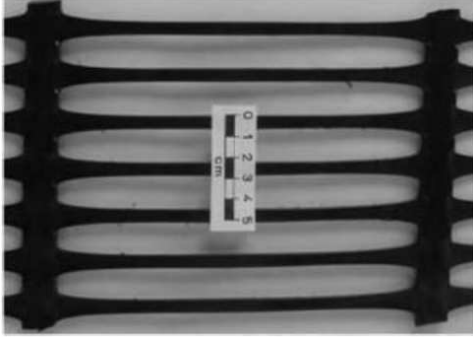
b) Örgüsüz

Resim 2.1. Jeotekstiller a) Örgülü b) Örgüsüz (Koerner, 2005)

### 2.2.2. Jeogridler

Jeogridler; polipropilen veya yüksek yoğunluklu polietilen şiltelerinin çekilerek uzatılması sonucunda elde edilen, yüksek çekme modülüne sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirilmesinde kullanılan, bir jeosentetik üründür (Yıldız, 2005). Jeogridlerin boşlukları granüler zeminle kenetlenecek büyüklüktedir ve dolgu malzemesi serildiğinde, malzeme taneleri jeogridin göz aralarına yerleşerek malzeme ile kenetlenmektedir (Resim 2.2). Dolayısıyla bunlar taşıma gücü yönünden zayıf olan zeminlerde güçlendirme amaçlı olarak kullanılan donatılı zemin sisteminde kullanılmaktadır.

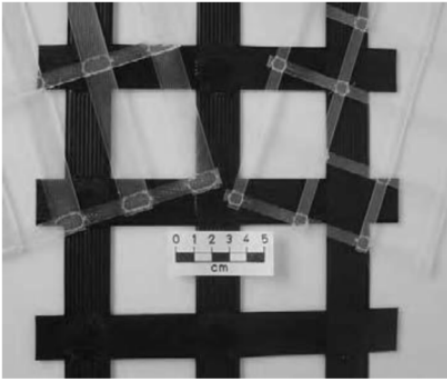
Jeogridlerin daha yaygın türü, üzerinde zımbalamayla düzgün delikler açılan polimer tabakaların tek eksenli jeogridler için tek yönde, iki eksenli jeogridler için iki yönde çekilerek dayanım kazandırmaktır (Resim 2.3, Resim 2.4). Daha esnek olan şerit veya örgülü jeogrid olarak tanımlayacağımız jeogridler ise çakışma noktalarında örme veya ısı kaynak ile birleştirilen yüksek dayanımlı polyester iplik şeritlerden kare açıklıklı olarak yapılıp sonrasında genellikle PE, PVC veya bitümlle kaplananlardır (Wasti, 2007).



Resim 2.2. Ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü jeogridler (Tenax, 2005)



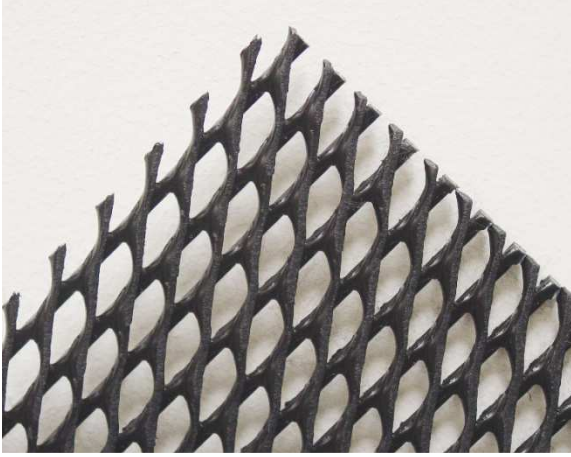
Resim 2.3. İki eksenli jeogrid (Tenax, 2005)



Resim 2.4. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü jeogridler (Shukla ve Yin, 2006)

### 2.2.3. Jeonet

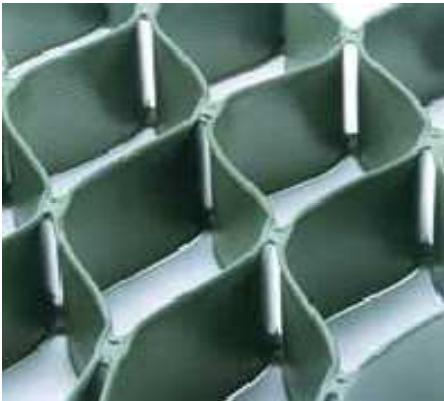
Jeonetler genellikle polietilenden üretilir. Drenaj ve ayırma amaçlı kullanılan jeonetler daima üst ve alt yüzeyine yerleştirilmiş jeotekstil, jeomembran ya da diğer jeosentetikler ile kullanılırlar. Jeonetler, birbirine paralel kanalları sayesinde yüksek akış kapasitesine sahiptir (Karagül, 2007). Aşağıdaki şekilde iki eksenli jeonet gösterilmiştir (Resim 2.5).



Resim 2.5. İki eksenli jeonet (GSE World)

### 2.2.4. Jeohücre

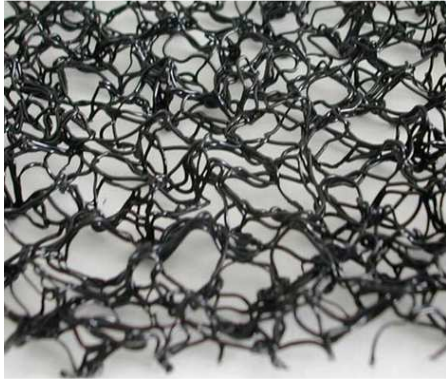
Jeohücreler, jeotekstil şeritleri, jeoızgara veya jeomembrandan yapılmış üç boyutlu, petek şeklinde açılan ve içine toprak, kum, kaya ve beton doldurulan ürünlerdir (John 1987, Wasti, 2007). Jeohücre, sınırlandırma, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesinde kullanılır. Aşağıdaki şekilde jeohücre gösterilmiştir (Resim 2.6).



Resim 2.6. Jeohücre (Tenax)

### 2.2.5. Jeomat

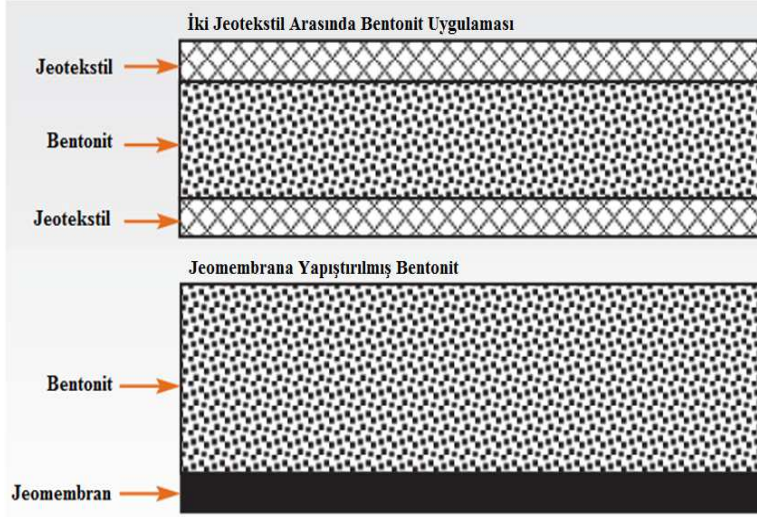
Jeomat erozyon direncini uzun süreli arttırmak amacıyla serilen üç boyutlu, geçirgen, çok elyafli ve 1 cm'den daha kalın polimer ürünlerdir. Şev yüzeyinde geçici olarak, bitki tabakası oluşuncaya kadar ömre ve işleve sahip olan, doğada çürüyüp yok olan ve jeoörtü olarak da adlandırılan jeosentetiklerdir (Wasti, 2007). Aşağıdaki şekilde jeomat gösterilmiştir (Resim 2.7).



Resim 2.7. Jeomat (Maccaferri)

### 2.2.6. Jeosentetik kil kaplamalar

Jeosentetik kil kaplamalar, iki jeotekstil tabakası arasındaki toz halindeki bentonit kil karışımından oluşmaktadır. Bentonit ıslanınca sızdırmaz bir tabaka oluşturur. Alt ve üstteki jeotekstil dikiş veya iğneleme yöntemiyle birbirine tutturulur. Jeosentetik kil kaplamalar, “kil örtüler”, “bentonit örtüler”, “bentonit hasırlar” ve “prefabrike bentonit kil örtüler” olarak da adlandırılmaktadırlar. Suyu ve diğer akışkan maddelere karşı hidrolik bariyer olarak kullanılmaktadırlar (Wasti, 2007). Aşağıdaki şekilde jeosentetik kil kaplama gösterilmiştir (Şekil 2.2).



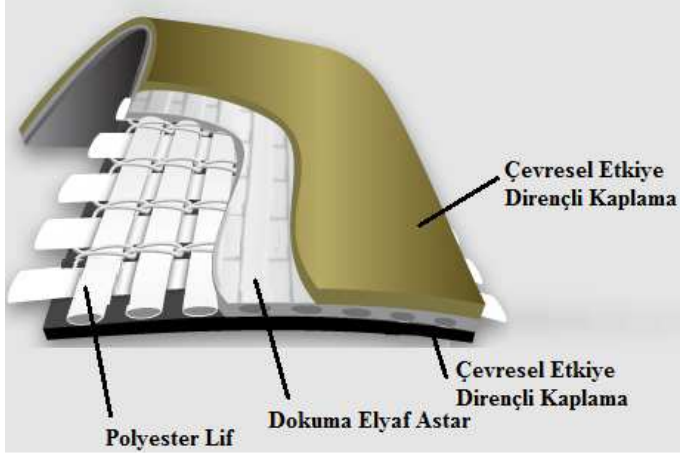
Şekil 2.2. Jeosentetik kil kaplamalar (EPA)

### 2.2.7. Jeomembranlar

ASTM D4439-14, jeomembranı “jeoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından üretilmiş sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır.

Termoplastiklerden üretilenler, polivinil klorür (PVC), güçlendirilmiş polietilen membran (CSPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE) gibi polimerlerden çeşitli yöntemlerle ince, esnek tabakalar halinde imal edilirler (Resim 2.8). HDPE ve VLDPE membranların yüzeyleri sürtünmeyi arttırmak amacıyla özel yöntemlerle pürüzlendirilir.

Jeosentetik sektöründe birçok membran türü bulunmaktadır. Belirlenen bir uygulama için, gerekli özelliklerin doğru bir kombinasyonu ile uygulamanın gereksinimlerini karşılayacak doğru ürünü seçmek genelde güçtür. Jeomembranlar, kimyasal dirençleri, mekanik özellikleri (elastik modülü, sünme dayanımı, yırtılma/delinme direnci vb.) ve hava koşullarına karşı dayanıklılık özellikleri göz önüne alınarak seçilmelidir. İyi ve doğru malzeme seçimi, uygun tasarım ve başarılı uygulama yöntemiyle birleştiğinde, sorunsuz bir geçirimsizlik sistemi oluşturulabilmektedir. Aksi takdirde yapılan uygulama hiçbir fayda sağlamamakta ve uygulamadan bir süre sonra geçirimsizlik sisteminde çözümü güç sorunlarla karşılaşmaktadır (yırtılma, delinme, bozuna, çatlama vb.).



Resim 2.8. Jeomembran (XR)

### 2.2.8. Jeokompozitler

Jeokompozitler jeosentetik malzemelerin değişik özellikleri kullanılarak birçok ürünün kombinasyonlarından oluşmakta olup bunların çok sayıda kullanım alanı bulunmaktadır.

#### Jeotekstil – jeonet kompozitler

Bir jeotekstil, jeonetin altında veya üstünde kullanıldığı ya da jeotekstil – jeonet – jeotekstilden oluşan bir katman yapıldığı zaman ayırma ve süzülme özelliklerini sağlamış olur, aynı zamanda drenaj özelliği sadece jeotekstil kullanıldığı durumdan çok daha üstün olmaktadır. Don etkisi ya da tuzlanma problemi olan bölgelerde jeokompozitler, yatay olarak yerleştirildikleri zaman, yüzeyden süzülen suyu kapiler bölgeden çok iyi şekilde drene edebilmektedir. Su, jeokompozit katmanın içine girdiği zaman jeonetin içinde yatay yönde gidebilmekte ve zarar verebileceği yerden uzaklaştırılmış olmaktadır. Jeokompozitler aynı zamanda dolgularda suyun ve buharın uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır (Koerner, 2005).

#### Jeotekstil – jeomembran kompozitler

Jeotekstiller, jeomembranların bir ya da her iki yüzüne birden yapıştırılarak kompozit malzemeler elde edilebilir. Bu durumda jeotekstillerin patlama, yırtılma, çekme dayanımları ve ara yüzey sürtünme açılarında artış olur. Bu amaçla genellikle örgüsüz

iğneleme ile birleştirilmiş jeotekstiller kullanılmaktadır. Bunlar çoğu kez su, akışkan madde ve gazların drenajı problemlerinin çözümünde kullanılmaktadırlar (Koerner, 2005).

#### Jeomembran – jeogrid kompozitler

Aynı malzemeden imal edilmiş (örneğin yüksek yoğunluklu polietilen) jeomembran ve jeogridlerin bir arada kullanılmasıyla elde edilen bu ürünler, daha yüksek dayanım ve sürtünme özelliğine sahiptirler. Geçirimsiz bariyerlerin oluşturulmasında bu ürünler kullanılabilirler (Koerner, 2005).

#### Jeotekstil – jeogrid kompozitler

Düşük çekme modülüne sahip veya yenilme anında büyük deformasyona uğrayan jeotekstiller ve güçlendirme etkisini geliştirebilen jeogridlerin ile bir arada kullanılmasıyla elde edilen bu ürünler, ayırıcı özelliği ve filtre etkisi olan güçlendirici eleman olarak kullanılabilirler (Resim 2.9).



Resim 2.9. Jeokompozitler (Wikipedia)



## 2.3. Jeosentetiklerin İşlev ve Özellikleri

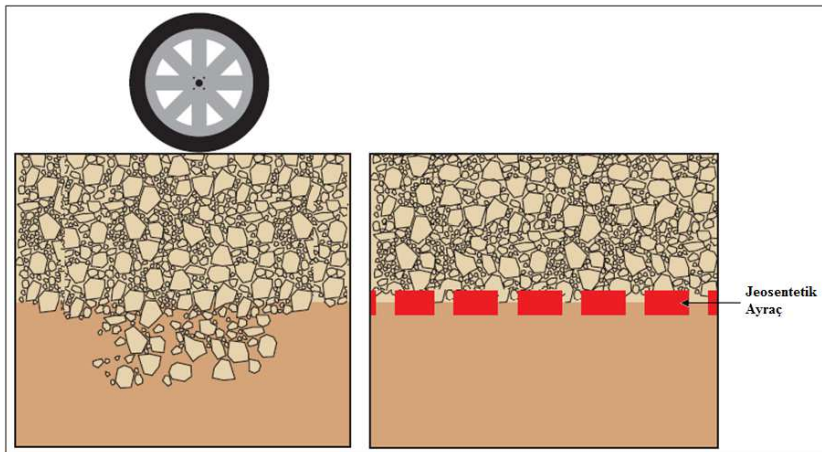
### 2.3.1. Jeosentetiklerin işlevleri

Jeosentetiklerin işlevlerine EN ISO 10318 (2004) ve IGS (2009) tarafından önceleri düşünülen altı işlevine “erozyon kontrolü” işlevini eklenmiştir.

#### Ayrırma

Jeosentetiğin iki farklı zeminin veya malzemenin karışmasını, sıklıkla ince tane (killi) drenaj seviyesi ya da yol yapımında agrega olarak kullanılan taneli zeminin karışmasını önlemesi amacıyla kullanılır (Şekil 2.3).

Ayrırma amacıyla kullanılan geosentetiğin,ayırma fonksiyondan başka birçok ikincil fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; dinamik yükler altındaki ince taneli zeminlerin hareketini engellediği ve fazla suyun drenajına izin verdiği için, yolların servis ömrü ve taşıma gücünün artması, kaliteli malzemeyle ince taneli zeminin birbirine karışmasını önlediği için, inşaatın durabileceği hava koşullarında bile inşaatın devam etmesi, özellikle yol inşaatlarında daha az agrega kullanılması ve daha iyi sıkışma oluşmasını sağlaması gösterilebilir (Öztekin, 1992).



Şekil 2.3. Jeosentetiklerin ayırma işlevi (Tensar, 2003)

## Filtrasyon

Jeosentetik malzeme, tıpkı kum filtresi gibi, suyun geçişine izin verip belirli büyüklükteki zemin tanelerinin geçişine izin vermez. Bir jeosentetik malzeme olan jeotekstilller, genellikle filtrasyon amacıyla kullanılmaktadır (IGS, 2009). Filtrasyon amacıyla kullanılacak jeotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir (Şekil 2.4). Jeotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince taneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme jeotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, jeotekstilin karşısında içerisinde ince taneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların jeotekstile doğru hareketini önler. Eğer bu ince taneler jeotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, jeotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır (Aksoy, 1993).

Su ile birlikte geçen ince tanelerin jeotekstillerin deliklerini tıkamaması gerekir. Seçilecek jeotekstilller aşağıdaki ölçüte uygun olmalıdır:

$$Q_{max} < A \cdot D_n$$

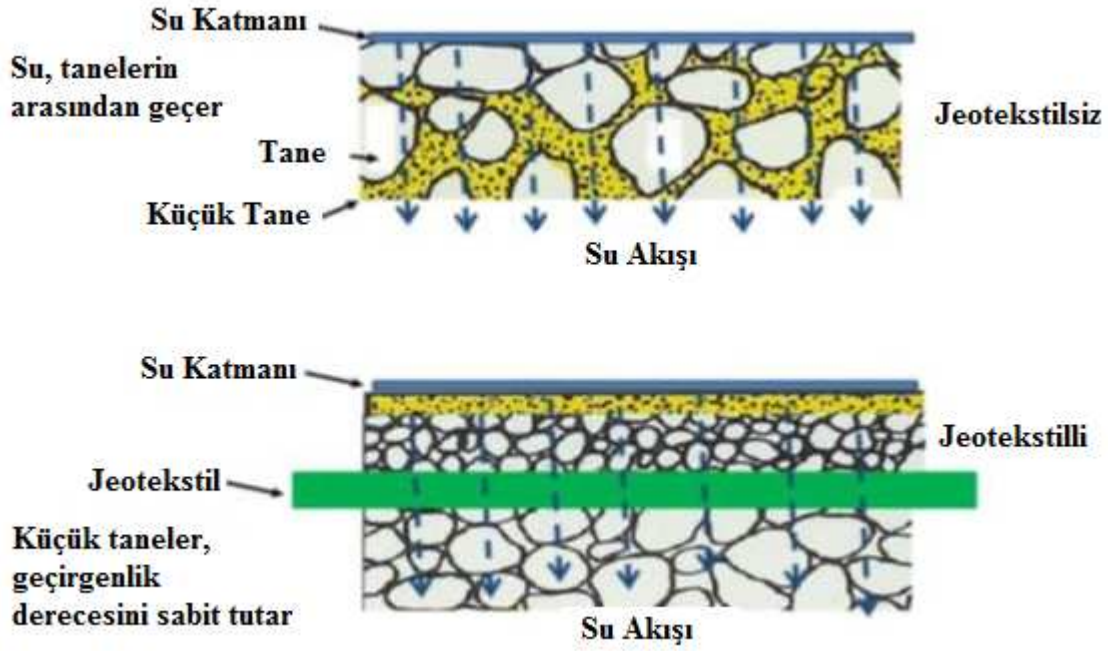
$Q_{max}$ : Jeotekstilin en büyük açıklığı.

$A$ : Hidrolik koşullar ve jeotekstillere bağlı korelasyon faktörü.

$D_n$ : Tane dağılımından  $D_{85}$

Sürekli sabit akım şartı;

$$Q_{max} < 2 \cdot D_{85}$$



Şekil 2.4. Jeosentetiklerin filtrasyon işlevi(Tıkp)

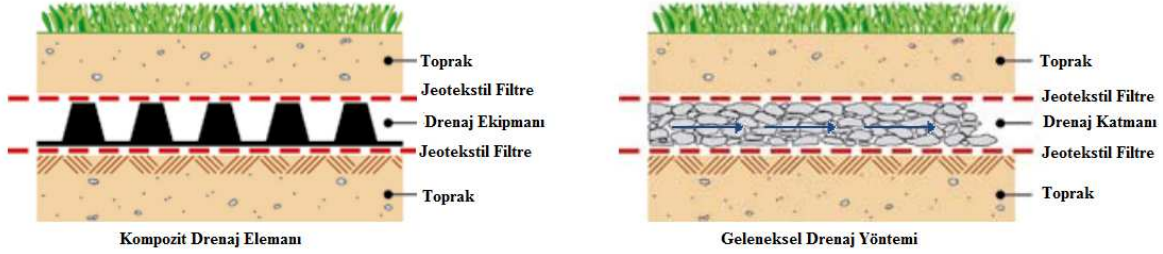
### Drenaj

Jeosentetik malzeme, tıpkı bir drenaj kanalı gibi geçirimsizliği düşük bir malzeme içerisinden su ve buhar geçişini sağlar. Bir jeosentetik malzeme olan jeotekstilller genel olarak drenaj için kullanılmaktadır (Şekil 2.5).

Boşluklu zeminler, genellikle küçük parçacıklar ile biraz da büyük parçacıklardan oluşmaktadır. Eğer bu tip zeminlerde jeotekstil kullanılırsa, iri taneli zeminlerin içinde hareket eden ince taneli zeminler jeotekstili tıkar. Uniform ince parçacıklı siltli zeminler, suyun geçişine az izin verir. Eğer bu tip zeminlerde jeotekstil kullanılırsa, su akımı iyice azalır. Siltli zemin ile iri kum karıştırılırsa veya jeotekstil ile siltli zeminin arasına iri kum konursa, su akımı daha iyi sağlanır (Öztekin, 1992).

Ayrışmış killi zeminler, suyun içinde hareket edebilen ufak kil taneleri içerir. Bu kil taneleri büyük gözenekli jeotekstillere geçebilir ancak küçük gözenekli veya yoğun jeotekstillere geçemez ve jeotekstili tıkar (Öztekin, 1992).

Jeonet ve jeotekstilden oluşan bir jeokompozitin drenaj özelliği, sadece jeotekstilin kullanıldığı durumdan çok daha üstün olmaktadır (Koerner, 2005).



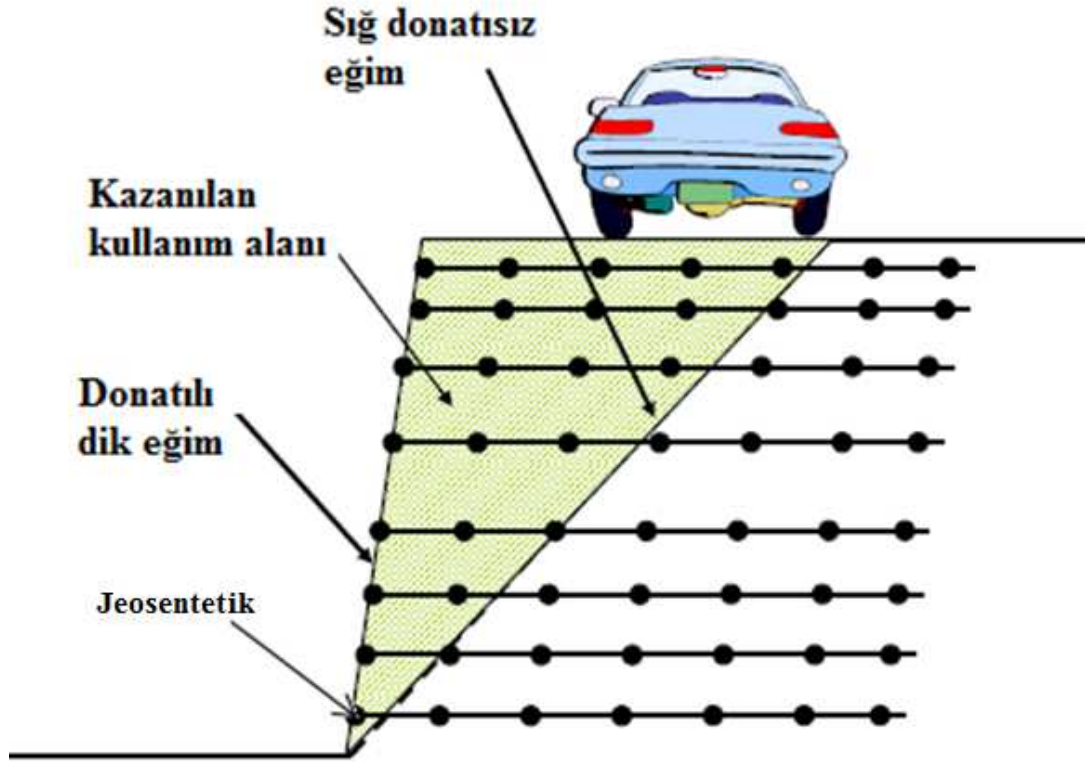
Şekil 2.5. Jeosentetiklerin drenaj işlevi (Dupont)

### Güçlendirme

Güçlendirme; noktasal yüklerin geniş bir alana uniform olarak yayılması ve oluşan gerilmelerin zemin tarafından karşılanmasına olanak vermesi amacıyla zemin içinde jeosentetiklerin kullanılmasıdır (Şekil 2.6). Burada jeosentetiklerin sahip oldukları, zeminin tek başına sahip olmadığı gerilme direnci, diğer bir ifadeyle çekme dayanımından yararlanır (Öztekın, 1992).

Jeosentetik malzeme, zemin kütesinin içinde bir güçlendirme elemanı gibi rol oynar veya zeminle bütünleşik kompozit bir malzeme gibi davranarak zeminin dayanım ve deformasyon özelliklerini iyileştirir. Örneğin jeotekstilller ve jeogridler, normalde çekme dayanımı olmayan zemine çekme dayanımı kazandırır. Jeosentetiklerin güçlendirme özelliği, toprak bentlerin oldukça zayıf temeller üzerine inşa edilebilmesine ve toprak dolgu şevlerinin daha dik bir açıyla tasarlanmasına olanak sağlar (IGS, 2009).

Jeosentetikler (genellikle jeogridler), karayolu ve demiryolu gibi yük taşıyan taneli malzemeden oluşan seviyelerde veya atık depolama sahalarında kaplama seviyesinin altında zamanla meydana gelebilecek boşlukları köprülemek amacıyla da kullanılmaktadır (IGS, 2009).

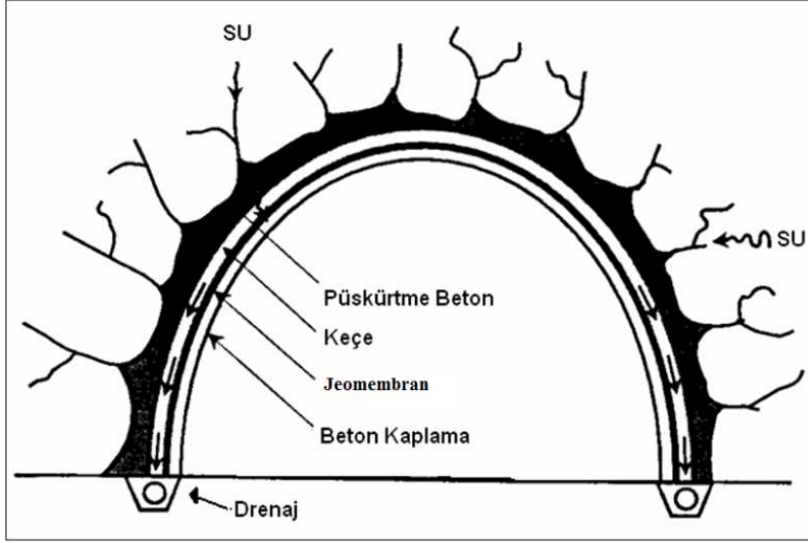


Şekil 2.6. Jeosentetiklerin güçlendirme işlevi (Rajagopal, K.)

### Sızdırmazlık

Jeosentetik malzeme, sıvı ve gazlara karşı nispeten geçirimsiz bir engel görevi görür (Şekil 2.7). Jeosentetiğin düzlemi boyunca sıvı ve gaz geçişini engellemesi, genel olarak sızdırmazlık ya da yalıtım fonksiyonu olarak nitelendirilir. Örneğin jeomembranlar; ince film şeklindeki jeotekstil kompozitleri, jeosentetik kil örtüler ve arazide kaplanan jeotekstiller sıvı veya gazların akışını engelleyici bir malzeme olarak kullanılmaktadır (IGS, 2009).

Bir jeosentetik olan jeomembranların en yaygın kullanımı; su depoları veya hazneleri, havuzlar vb. alanlarda yalıtım uygulamasıdır. Jeomembranların kullanıldığı yalıtım amaçlı imalatlarda amaç, istenmeyen sıvı atığın geçişini tamamen engelleyerek izole edilmesini sağlamaktır. Bu malzemenin en önemli kullanım alanlarından biri, atık depolama alanlarındaki kullanımıdır. Doğal veya uygulama sırasındaki etkilerle oluşan deformasyonları önlemek amacıyla jeomembranların jeotekstiller ile birlikte kullanımı yaygındır (Bayram, 2006).

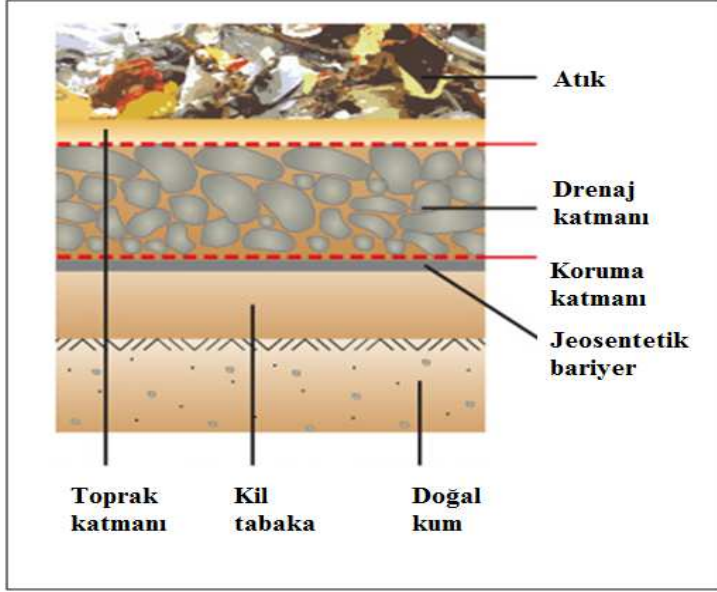


Şekil 2.7. Jeosentetiklerin sızdırmazlık işlevi (Dupont)

### Koruma

Jeotekstil malzemeler; muhafazası gerekli görülen zemin tabakası veya yapı elemanının etrafına veya temas yüzeyine yerleştirilerek deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak, daha geniş bir alana yayarak istenilen malzemeyi korur (Şekil 2.8). Koruma iki tipte gerçekleşir:

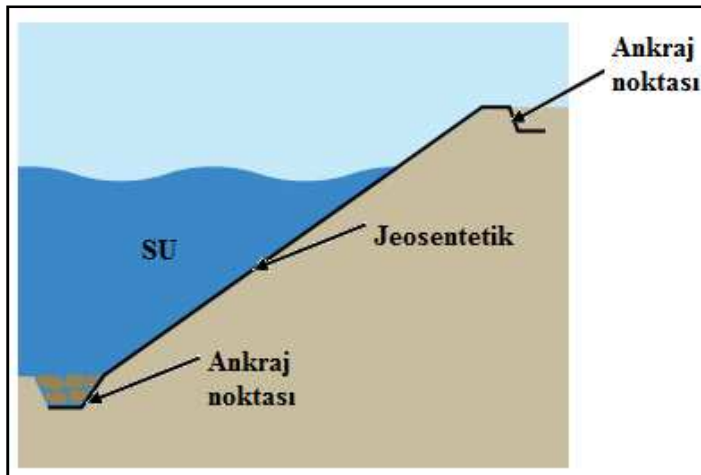
- a) **Yüzey Koruması:** Zemine yerleştirilen jeotekstil, hava koşulları ve trafik gibi etkilerden yüzeyi korur.
- b) **Ara yüzey Koruma:** İki malzeme arasına yerleştirilen jeotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya jeomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur (Aksoy, 1993).



Şekil 2.8. Jeosentetiklerin koruma işlevi (Dupont)

### Erozyon

Erozyon; zeminden tanelerin sökülüp taşınmasıdır. Jeosentetiğin rüzgâr, yağmur, su akımı, dalga gibi etkenlerle şev yüzeylerinde, nehir/deniz/göl kıyılarında ve nehir/deniz tabanlarında erozyonun önlenmesi amacıyla kullanılmasıdır (Şekil 2.9). Jeosentetik malzeme, yağmurdan ve yüzey sularının hareketinden kaynaklanan toprak erozyonunu azaltmak için de kullanılır. Bazı erozyon kontrol hasırları doğada çözülebilen ağaç ipliklerinden yapılmaktadır (IGS, 2009).



Şekil 2.9. Jeosentetiklerin erozyon işlevi (Maccaferri)

Pek çok uygulamada jeosentetiğin esas fonksiyonu olmakla beraber, jeosentetik bir veya birden fazla ikincil fonksiyonu da aynı anda yerine getirebilir (Çizelge 2.1). Örneğin hemen hemen bütün uygulamalarda jeosentetiğin ayırma işlevi vardır.



Çizelge 2.1. Jeotekstillerin fonksiyonlarına göre uygulama alanları (Wasti, 1992)

| <input checked="" type="radio"/> <b>Esas Fonksiyon</b><br><input type="radio"/> <b>İkincil Fonksiyon</b> |   | <b>Fonksiyon</b>                 |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |
|--|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|  |   | <b>Ayırma</b>                    | <b>Filtrasyon</b>                | <b>Drenaj</b>                    | <b>Güçlendirme</b>               | <b>Koruma</b>                    | <b>Yalıtım</b>                   |
| <b>Uygulama Alanı</b>  |   |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |
| Kaplamaşız yollar  |   | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |
| Kaplamaşlı yol, uçuş pisti (yapım aşaması)   |   | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |
| Yol dolguları altında drenaj şiltesi   |   | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |
| Spor sahaları  |   | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |
| Kapilarite şilteleri   |   | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |                                  |
| Asfalt/beton takviye tabakası  | Jeotekstil  |                                  |                                  |                                  | <input type="radio"/>            |                                  | <input checked="" type="radio"/> |
|  | Jeogrid   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Kaplamaşlı yol, uçuş pisti   | Jeogrid   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Demiryolları   | Jeotekstil  | <input checked="" type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |
|  | Kum şilte - Jeotekstil  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |
|  | Jeogrid   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Drenaj sistemleri ve problemleri   | Yüzey drenajı hendekleri, Toprak barajlar (topuk dreni, boyuna dren, dren kuyusu vs.), İstinat duvarı arkası drenajı, Bina çevre/basınçlı su drenajı, Perfore drenaj borusunun sarılması, Prefabrike bant dren kılıfı | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |
| Şey yüzeyi (erozyon) koruması  |   | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |
| Nehir, göl, deniz kıyısı koruması  |   | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |
| Oyulma problemi (köprü ayakları)   |   | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |                                  |
| Donatılı zemin duvarları, donatılı dik şevler, dolgu genişletilmesi, şev ıslahı                          |   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Dolgu altında  |   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Kazıklı sistemde taşınan dolgularda  |   |                                  |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |                                  |
| Esnek kalıp  |   |                                  | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/>            |                                  |                                  |
| Jeomebran altında  |   |                                  |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  | <input checked="" type="radio"/> |                                  |

### 2.3.2. Jeosentetiklerin genel özellikleri

Jeosentetiklerin tip, üretim yöntemi, kalınlık, ana madde olan polimer türü ve ağırlık gibi genel özellikleri diğer özelliklerini yansıttığı için önemlidir.

Jeosentetikler, aşağıda verilen başlıca altı çeşit hammaddeden oluşurlar.

- a) Poliamid (PA)
- b) Poliyester (PET)
- c) Polietilen (PE)
- d) Polivinilklorid (PVC)
- e) Polipropilen (PP)
- f) Polistiren (PS) dir.

Polimerler, fabrikasyon işlemleri sırasında sürekli lifler, 50–150 mm boylarında kesilmiş kısa lifler ve değişik boyutlarda kesilmiş film (bant) parçacıkları şekillerine getirilirler. Fiber bükülebilirliğe, inceliğe, yüksek boy/kalınlık oranına sahip malzemelerdir. Lifler haline getirilmiş malzemeler çeşitli yöntemlerle birleştirilerek jeosentetikler oluşturulur. Jeosentetiklerin hammaddesini oluşturan polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirtilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Jeosentetiklerin üretilmesinde kullanılan polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Koerner, 2005)

| Polimer Tütü | Özgül Ağırlık | Erime Sıcaklığı (°C) | Çekme Dayanımı, 20°C'de (MPa) | Elastisite Modülü (MPa) | Kopma Birim Uzaması (%) |
|--------------|---------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| PP           | 0,90 – 0,91   | 165                  | 400 - 600                     | 2000 - 5000             | 10 – 40                 |
| PET          | 1,22 – 1,38   | 260                  | 800 - 1200                    | 12000 - 18000           | 8 -15                   |
| PE           | 0,90 – 0,96   | 130                  | 80 – 600                      | 200 – 6000              | 10 – 80                 |
| PVC          | 1,3 – 1,69    | 160                  | 20 – 50                       | 10 – 100                | 50 – 150                |
| PA           | 1,05 – 1,15   | 220 – 250            | 700 – 900                     | 3000 – 4000             | 15 - 30                 |

*Polietilen (PE):* Polietilen en çok kullanılan ve en ucuz polimer türüdür ve özellikle jeomembran üretiminde yaygın olarak kullanılır. Arı haldeyken saydamdır ve sudan

hafiftir. Jeotekstil üretiminde, VLDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ve HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) olmak üzere iki tip polietilen kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu polietilenin (VLDPE) kristalliği de düşük olup bu sayede mükemmel bükülebilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle katı atık depolama sahalarında büyük oturma ya da farklı oturumlar beklendiğinden üst kaplama sistemi içinde kullanılan bir malzemedir. HDPE'ler daha rijit ve kimyasal olarak daha dayanıklıdır ve bu nedenle taban kaplamasında kullanılır (Cindemir, 1997).

*Polipropilen (PP)*: Polipropilen, yarı-kristalin yapıya sahip bir termoplastiktir ve jeotekstil üretiminde PP'nin çok tercih edilme nedenlerinin başında ucuz olması gelmektedir. Tercih edilmesinin bir diğer nedeni ise yarı kristalin yapısından dolayı kimyasallara karşı yüksek bir dayanıma sahip olmasıdır. Organik asitlere karşı dirençleri yüksektir ve ayrıca, dayanıklı olduğu pH aralığı da oldukça geniştir. Erime sıcaklıkları 165°C'dir. Güneş ışınlarından etkilenir. Ultraviyole ışınlarına karşı dayanımını arttırmak için katkı eklenmesi gerekir. PP, uzun dönem yük altında etkinliğini kaybetmektedir. Bunun nedeni, uzun dönem asılı yükler altında sünme deformasyonları açısından oldukça zayıf özelliklere sahip olmasıdır (Bayram, 2006).

*Poliyester (PE)*: Poliyester de bir termoplastiktir. Yüksek dayanıma ve düşük sünme özelliğine sahip olduğu için, başlıca jeogrid olmak üzere jeosentetik üretimindeki kullanımı gittikçe artmaktadır. Yüksek PH'ye sahip ortamlar hariç, kimyasallara karşı dayanımı oldukça iyidir. Ultraviyole ışınlarına karşı kendiliğinden dayanıklıdır. Doğal maddelere karşı dirençlidir. PH değeri 11'den büyük olan alkali maddelere karşı duyarlıdır ve asitlere karşı dayanıklıdır. Yorulma ve sünme dayanımı da yüksektir (Bayram, 2006).

*Polivinilklori (PVC)*: Uygun katkılarla stabilize edilmediği takdirde, ultraviyole ışınlarına maruz kaldığında gevrek bir hale gelir ve zamanla kararır. Dayanımı yüksek, kimyasallara ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Maruz kaldığı ısıya bağlı olarak zamanla dağılabilir. Alevle yanmaya karşı dirençli olmakla birlikte, zehirli gaz yayar.

*Poliamid (PA)*: Ticari adı "Naylon" olarak bilinir. Güneş ışınlarına ve kimyasal etkilere karşı dayanımı yüksektir, gaz ve hidrokarbonlara karşı geçirgenliği ise düşüktür. En zayıf tarafı suyu absorbe etmesidir. Sulu ortamlardan etkilenir, sünme ve benzeri mekanik

özellikleri zayıflar. Bu durum fiziksel özelliklerini zayıflatmakta, asitlere ve diğer aşındırıcılara karşı dayanımını azaltmaktadır.

*Polistiren (PS)*:Daha çok jeofomların üretiminde kullanılır. Jeofomlar daha çok yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Jeoteknik mühendisliğinde ise dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3. Jeosentetiklerin hammaddelerine göre özellikleri (Bayram, 2006)

| POLYMER                | PP     | PE     | PPET   | PA     |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Birim Hacim Ağırlık    | Düşük  | Düşük  | Yüksek | Orta   |
| Çekme Dayanımı         | Düşük  | Düşük  | Yüksek | Orta   |
| Elastisite             | Düşük  | Düşük  | Yüksek | Orta   |
| Kopmada Dayanım        | Yüksek | Yüksek | Düşük  | Orta   |
| Maliyet                | Düşük  | Düşük  | Yüksek | Orta   |
| Sünme                  | Yüksek | Yüksek | Düşük  | Orta   |
| UV Işığı               | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Orta   |
| Alkali Madde Dayanımı  | Yüksek | Yüksek | Düşük  | Yüksek |
| Organik Madde Dayanımı | Orta   | Yüksek | Orta   | Orta   |

Jeosentetikler, kullanım amaçlarına ve kullanılacakları ortama göre seçilmelidirler. Jeosentetiklerin üretildikleri hammaddelere göre sahip olacakları fiziksel özelliklerden bazıları genel olarak belirtilmiştir (Çizelge 2.3). Örnek olarak; dış ortamda kullanılacak bir jeosentetik seçilirken PA'dan imal edilmiş olan tipi seçilmemelidir veya donatı olarak kullanılmak isteniyorsa PP veya PE'den imal edilen jeosentetikler uygun değildir (Bayram,2006).

#### Jeosentetiklerin mekanik özellikleri

Genel olarak yük-deformasyon ilişkileri mekanik özellikler olarak tanımlanır. Çekme dayanımı, konsantre yüklere karşı direncin göstergesi olan yırtılma, delinme, patlama ve darbe dayanımı jeosentetiklerin başlıca mekanik özellikleridir.

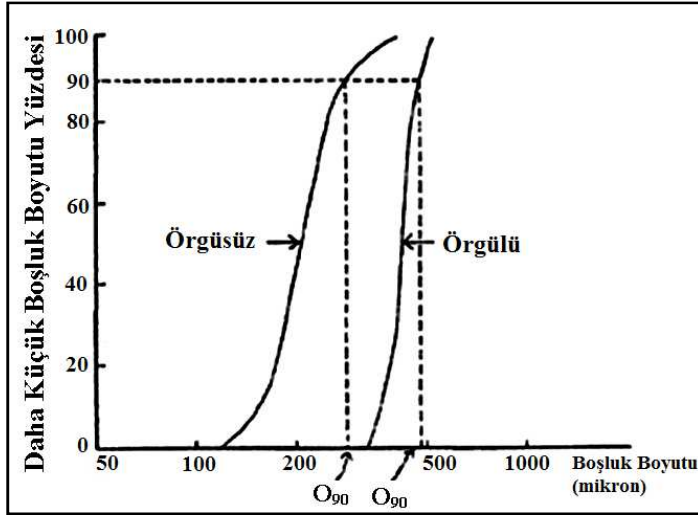
Çekme dayanımı, donatı adı verilen ve güçlendirme amacıyla kullanılan jeosentetiklerin en önemli özelliğidir ve tasarımda kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Çekme deneyinde, dikdörtgen bir örneğe bir yönde artan çekme kuvveti uygulayarak kopmaya kadar uzamalar ölçülür. Deneyde hem uygulanan yük, hem de boy uzaması ölçülür ve çekme gerilmesi-deformasyon eğrisi grafiği çizilir. Buradaki gerilme, uygulanan yükün numune genişliğine bölünmesiyle elde edilir. Birim boy uzaması ise uzama miktarının numunenin orijinal boyuna bölünmesiyle elde edilir ve çekme dayanımı birimi  $kN/m$ 'dir (Wasti, 2007).

Sünme, kısa dönemde kopma yükünden daha düşük bir sabit çekme yükünde uzamanın devam etmesi ve belli bir yükte ve zamanda "sünme kopmasının" oluşmasıdır. Güçlendirme uygulamalarında donatı olarak kullanılan geosentetiğin çekme dayanımının yüksek, kopmada uzama değerinin düşük yani az sünme sergilemesinin yanı sıra, zeminle donatı arasında yeterli "ara yüzey kayma dayanımı (sürtünme)" olması gerekir. Zemin güçlendirme uygulamalarında zemin kütlelerinin donatı üzerinden kayması ve donatının zeminden sıyrılmaya başlamasının yanı sıra, atık sahalarındaki şev kaplamalarının herhangi bir yüzey boyunca kayma durumu, şev üstünde yapılmış olan jeomembran ankraj sistemi hesaplamalarında da ara yüzey kayma parametrelerinin bilinmesi gerekir.

Tüm uygulamalarda jeosentetiğin esas işlevini yerine getirebilmesi açısından yerleştirilirken maruz kalacağı kuvvetler altında yırtılmayacak ve delinmeyecek kadar dayanıma sahip olması gerekir. Pek çok uygulamada zarar görme açısından en güç durum yerleştirme sırasındadır. Çekme dayanımı, dar mesnetli çekme dayanımı (çene genişliğinin numune genişliğinden az olduğu deney), yırtılma dayanımı, delinme dayanımı, patlamaya karşı dayanım ve bir tür darbe dayanımı deneyi olan dinamik delinmeye karşı direnç pek çok uygulamada yerleştirme sırasında, dayanım açısından gösterge kabul edilir ve bazı şartnameler için en düşük kabul edilebilir değerler verir. Tek eksenli sıkışma dayanımı kendi düzleminde sıvı/gaz akımı sağlamak için kullanılan drenaj jeokompozitlerinin basınç altında sıkışarak ezilmesi ve geçirgenliğinin azalmasının belirlenmesine yöneliktir (Wasti, 2007).

### Jeosentetiklerin hidrolik özellikleri

Hidrolik özellikler jeotekstil ve jeokompozitler içinde geçerlidir. Jeotekstilin içerdiği gözeneklerin boyut dağılımı, zeminler için verilen yarı logaritmik tane boyu dağılımı eğrilerine benzer şekilde, gözenek boyutunu logaritmik yatay eksenle, o boyut ve daha küçük gözeneklerin yüzdesini dikey eksenle veren eğriler olarak çizilir (Şekil 2.10). Bu eğride belirli bir “x” yüzdesine, örneğin %50’ye karşılık gelen gözenek boyutu  $O_{50}$  ile gösterilir. Örnek olarak  $O_{50} = 160$  mikron ise, jeotekstilin içerdiği gözeneklerinin %50’sinin 160 mikron veya daha küçük olduğu anlamına gelir.



Şekil 2.10. Jeotekstillerde tipik boşluk boyutu dağılımı (Wasti, 2007)

Görünen gözenek boyutu (AOS), veya “efektif gözenek boyutu”(EOS), kullanılan deney yöntemine bağlı olarak bu eğrilerde % 90 veya % 95’e karşılık gelen  $O_{90}$  veya  $O_{95}$  olarak gösterilen gözenek boyutudur. AOS pratik olarak jeotekstilin içerdiği en büyük sürekli boşluk çapı olarak düşünülebilir ve jeotekstilin filtrasyon dayanımını belirleyici bir parametredir.

Jeotekstillerin filtrasyon amacı ile kullanımında içerdiği boşlukların boyutu kadar miktarı da tasarımda gereklidir. Kalın olan keçe tipi jeotekstillerde bu boyut, zeminlerde olduğu gibi, boşluk hacminin toplam hacme oranı olan gözeneklilik ile ifade edilir ve taneli zeminde yaklaşık % 30-50 aralığında olan gözeneklilik değerleri jeotekstillere için % 50-90’dır. Örgülü jeotekstillerde boşluk miktarı, boşlukların alanının toplam alanı olarak verilir.

### 3. SIĞ TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

#### 3.1. Giriş

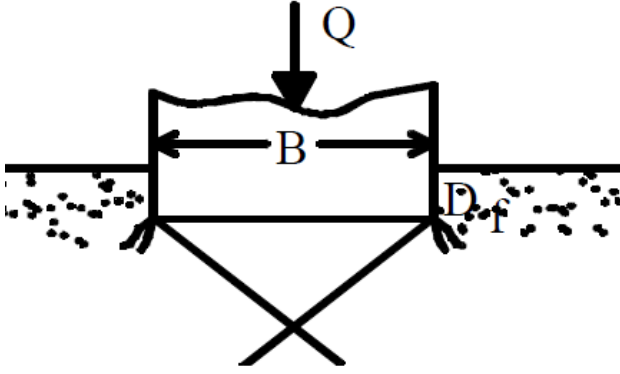
Bu bölümde, öncelikle sığ temeller ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Bu amaçla, sığ temellerde temel yenilmesine etki eden faktörler, taşıma gücü koşulu ve zemin emniyet gerilmesi kavramları açıklanmıştır (Bölüm 3.2). Sığ temellerin taşıma gücü ve oturma davranışını belirlemeye yönelik amaçlarla yapılmış önceki çalışmalar incelenerek, bunlara ilişkin değerlendirmeler sunulmuştur. 1970'li yıllardan itibaren tüm dünyada, özellikle dolgu ve dayanma yapılarında yaygın bir şekilde kullanılan "donatılı zemin" kavramı bölüm 3.3'de irdelenmiştir. Ardından, jeogrid donatı ile güçlendirilmiş zeminleri konu alan yayınlar ve yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

#### 3.2. Sığ Temeller

Bir yapı sistemi genel olarak iki kısımdan oluşur. Üst kısım üst yapı olarak adlandırılırken, zeminle üst yapı arasındaki ara bölge de temel olarak tanımlanır (Şekil 3.1). Bir yapı sistemi üst yapı, temel ve zemin bileşiminden oluşur. Temel, zeminle doğrudan temas halinde olan ve üst yapı yüklerini zemine aktaran aracı yapı kısmıdır. Bir başka deyişle temel, yapı yüklerini ve yükün dağılımını altta bu yükü taşıyacak zeminin taşıyabileceği şekle dönüştürerek aktaran bir sistemdir. Bu niteliğiyle de hem yapıdan hem de zeminden etkilenir. Buna göre, temel tasarımı bir yapı-zemin etkileşimi problemi'dir. Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

1. *Sığ (yüzeysel) temel (tekil temel, sürekli temel, radye temel):* Yapı yüklerini zemin yüzüne yakın olan sığ derinliklere aktarırlar.  $D_f/B \leq 1$  olması halinde temele sığ (yüzeysel) temel denir.

2. *Derin temeller (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar):* ( $D_f/B > 1$ ) Zeminin zayıf olup taşıma gücü aşıldığı zaman sığ temeller yeterli olmazlar. Diğer yandan; bir temel taşıma gücü açısından yeterli olabilir ancak istenilenden fazla oturabilir. Bu durumda yapı yüklerini daha sağlam olan zemin seviyelerine veya kayaya aktaran ve oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlayan derin temeller inşa edilir (Birand, 2001 ve 2006; Demiröz 2008'den).



Şekil 3.1. Şığ temel (Das, 1999)

Temel, üst yapı yüklerini taşıyıcı zemin tabakalarına aktarırken zeminde aşırı gerilmeye sebep olmamalıdır. Bu sebeple emniyetli temel tasarımında uygun bir güvenlik sayısı uygulanmalıdır. Kullanılan güvenlik sayısı, temel zemininin makaslama duraysızlığına ve aşırı oturmalara karşı yeterli güveni sağlamalıdır. Nihai taşıma gücü, taşıma duraysızlığı mekanizması ve bu duraysızlık durumuna ulaştıran statik denge hesabı yapılarak bulunur. Tüm statik denge problemlerinde olduğu gibi duraysızlık mekanizmasının tanımlanmasının ardından bu mekanizmaya etki eden, duraysızlığa neden olan kuvvetlere karşı koyan kuvvetler (gerilmeler) tanımlanır (Demiröz, 2008).

### 3.2.1. Şığ temellerde yenilme türleri

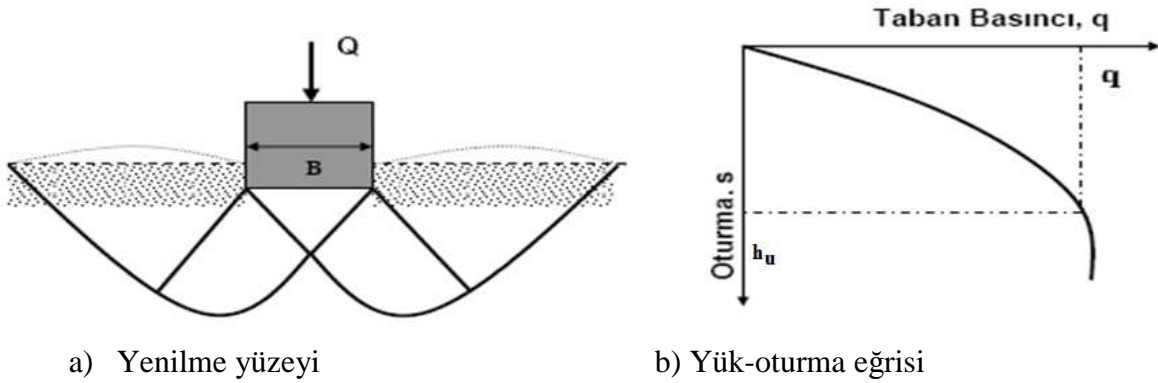
Şığ temeller uygulanan yapısal yükleri yakın zemin seviyelerine iletirler. Yüklerin iletilmesi sırasında zeminde hem sıkışma hem de makaslama gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerin büyüklükleri temel taban gerilmesine ve temel büyüklüğüne bağlıdır. Taban gerilmesinin yeteri kadar büyük ve temelin yeterli boyutlarda olmaması durumunda, makaslama gerilmeleri zeminin makaslama dayanımını aşabilir. Bu durumda, taşıma gücü problemi ortaya çıkmaktadır (Coduto, 2005).

Temelden aktarılan yüklerin zeminde oluşturduğu makaslama gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşarsa taşıma gücü duyarsızlığı oluşur. Bu tür duyarsızlıklar yıkıcıdır ve mutlaka kaçınılmalıdır (Craig, 2004).



### Genel makaslama yenilmesi

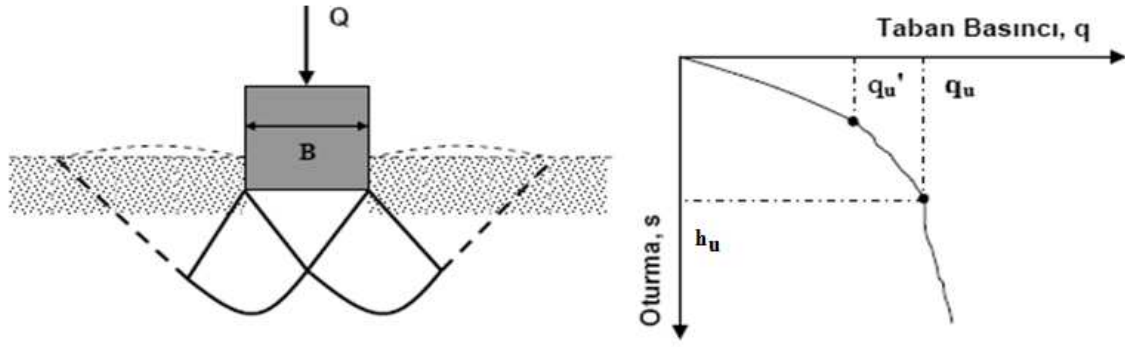
Bu tür bir yenilme türü genellikle, sıkı kum veya sert killerde görülmektedir. Temel zemininde gözlenen yenilme yüzeyi ile tipik bir yük-oturma eğrisi gösterilmiştir (Şekil 3.2). Başlangıçta, temele uygulanan  $Q$  yükü ( $q=Q/A$ ) arttıkça oturmalar artmakta iken, yenilme yüküne ulaşıldığında, yük sabit kalırken oturmalar devam ederek büyük değerlere ulaşmaktadır. Zemin, kayma yüzeyleri boyunca yenilerek duraysızlığa maruz kalmakta ve zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmaktadır. Nihai taşıma gücü  $q_u$ , yük-oturma eğrisinin en üst noktasındaki değer olup, yük-oturma eğrisinden açıkça belirlenebilmektedir. Grafikteki  $h_u$  değeri yenilme anındaki oturma miktarıdır (Yıldız, 2002).



Şekil 3.2. Sığ temellerde taşıma gücü yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi (Das, 1999; Örnek,2009)

### Bölgesel makaslama yenilmesi

Bu tür bir yenilme türü genellikle, orta sıkı kum veya orta sertlikteki kil zeminlerde görülmektedir. Zeminde gözlenen yenilme yüzeyi ve yük-oturma eğrisi verilmiştir (Şekil 3.3). Şekilden görüldüğü üzere, yük-oturma eğrisi, 3 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde  $q_u'$  ilk  $q$  yenilme yükü olmak üzere,  $q = q_u'$  değerine kadar yükün artırılması durumunda oturmalar da artmaktadır. Bu bölümde, zemin düşey yönde sıkışırken çok az miktarda yanal deformasyonlar görülmektedir. İkinci bölümde, yani, yükün daha da artırılması durumunda yük-oturma eğrisi daha dik ve düzensiz bir şekilde artmakta, zeminde dışa ve yukarı doğru hareketler gözlenmektedir. Üçüncü bölümde, yani  $q = q_u$  olduğunda ise, yenilme yüzeyi zemin yüzeyine ulaşmaktadır. Yük arttırılmaya devam edilirse, zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmakta ve yük-oturma eğrisi de doğrusal olarak artmaktadır. Bu tür bir yenilmede eğri üzerinde  $q_u$  değeri tam olarak belirgin değildir (Yıldız, 2002).



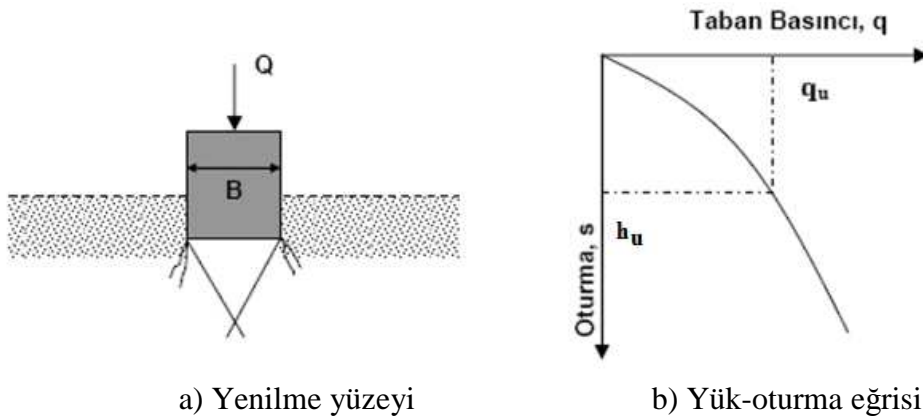
a) Yenilme yüzeyi

b) Yük-oturma eğrisi

Şekil 3.3. Bölgesel makaslama yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi  
(Das,1999; Örnek,2009)

### Zımbalama makaslama yenilmesi

Bu tür bir yenilme türü genellikle, gevşek kumlarda veya yumuşak kil zeminlerde görülmektedir. Zeminde gözlenen yenilme yüzeyi ve tipik bir yük-oturma eğrisi gösterilmiştir (Şekil 3.4). Bu tür yenilmelerde, zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmamaktadır. Yük arttıkça oturmalar da sürekli artmakta olup, eğri üzerinde yenilme yükü  $q_u$  net olarak tayin edilememektedir. Bu durumda, nihai taşıma gücü değeri ( $q_u$ 'nun) belirlenmesi için iki yöntem önerilmiştir. İlk yöntemde Das ve diğerleri (1994) tarafından, nihai taşıma kapasitesi değeri yük-oturma eğrisinde,  $\Delta S/\Delta q$  oranının en büyük olduğu ve bundan sonra sabit kaldığı nokta olarak tanımlanmıştır. İkinci yöntemde ise, Yetimoğlu ve diğerleri (1994), (Yıldız, 2002) tarafından yük-oturma eğrisinin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktası olarak tanımlanmıştır.



a) Yenilme yüzeyi

b) Yük-oturma eğrisi

Şekil 3.4. Zımbalama makaslama yenilmesi a) Yenilme yüzeyi b) Yük-oturma eğrisi (Das, 1999; Örnek,2009)

### 3.2.2. Taşıma gücü kavramı

Zeminin taşıma gücünün belirlenmesi için araştırmacılar tarafından birçok taşıma gücü kuramı ve yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak zeminin karmaşık ve değişken özelliklere sahip olması nedeniyle, geliştirilen yöntemlerden pek azı deneyimler ve deney sonuçları ile uygunluk göstermiştir. Geliştirilen kuram ve yöntemlerde zeminle ilgili bir takım varsayımlar yapılmakta ve çıkan sonuçlar yaklaşık ve birbirinden biraz farklı değerler alabilmektedir. Zeminin taşıma gücünü belirleme yöntemlerini 3 genel grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

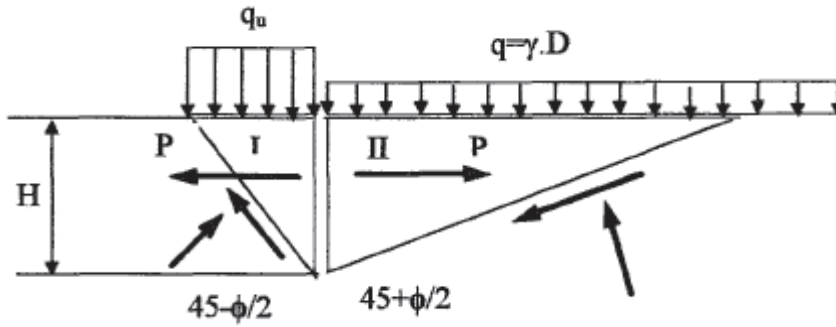
- a) Taşıma gücü teorileri ile zemin taşıma gücünün belirlenmesi
- b) Arazi deneyleri ile zemin taşıma gücünün belirlenmesi
- c) Hazır tablolardan zemin taşıma gücünün belirlenmesi

Sığ temellerin taşıma gücü analizlerinde günümüze değin geliştirilen bazı yöntemler aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir.

#### Rankine taşıma gücü kuramı

Rankine (1885) tarafından geliştirilen aktif ve pasif toprak basınçlarına dayanan Rankine kuramında, temel altındaki iki ayrı kamadan oluşan yenilme bölgesi kabul edilir. Bu kamalar, aşağıya ve dışarı doğru basılan pasif Rankine kamalarıdır (Şekil 3.5).

Temele gelen düşey doğrultudaki basınç, en büyük asal gerilme olarak göz önüne alınmakta ve yatay gerilme aktif toprak basıncına karşılık gelen gerilme olarak düşünülmektedir. Bu yatay gerilme temel kenarının hemen yanındaki taneler için en büyük bir asal gerilme olup, düşey yönde en küçük asal gerilmenin gelişmesine neden olur. Kuramda kohezyonun etkisi dikkate alınmamakta, bulunan sonuçlar deneyimler ve deneysel sonuçlara genellikle çok fazla uygunluk göstermemektedir (Çelik, 1997).



Şekil 3.5. Rankine kamalarına etkiyen yükler (Rankine 1885, Çelik, 1997'den)

Hesaplamalarda temel taban seviyesi üstündeki zeminin ağırlığı ihmal edilip;

$$q_0 = \gamma \cdot D_f \quad (3.1)$$

büyükliğünde üniform yayılı yük ile temsil edilmektedir. Bu kabul, hesapları basitleştirmektedir. Yapılan kabuldeki hata küçük ve emniyetli yöndedir.

Taban seviyesi H;

$$H = \frac{B}{2} \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (3.2)$$

$$H = \frac{B}{2} \sqrt{N_\phi} \quad (3.3)$$

Pasif II. Kamaya etkiyen en büyük P yükü;

$$P = q_0 H N_\phi + \frac{1}{2} \gamma H^2 N_\phi \quad (3.4)$$

$$P = q_0 \frac{B}{2} N_\phi^{3/2} + \frac{1}{8} \gamma B^2 N_\phi^2 \quad (3.5)$$

Aktif I. Kamaya etkiyen en büyük P yükü;

$$P = q_s \frac{H}{N_\phi} + \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{1}{N_\phi} \quad (3.6)$$

$$q_s = \frac{P}{H} N_{\emptyset} + \frac{1}{2} \gamma H \quad (3.7)$$

$$q_s = \frac{2P\sqrt{N_{\emptyset}}}{B} - \frac{1}{4} \gamma B \sqrt{N_{\emptyset}} \quad (3.8)$$

(3.5) eşitliği, eşitlik (3.8) de yerine yazılırsa;

$$q_s = q_0 N_{\emptyset}^2 + \frac{1}{4} \gamma B N_{\emptyset}^{5/2} - \frac{1}{4} \gamma B N_{\emptyset}^{1/2} \quad (3.9)$$

$$q_s = q_0 N_{\emptyset}^2 + \frac{\gamma B}{4} (N_{\emptyset}^{5/2} - N_{\emptyset}^{1/2}) \quad (3.10)$$

$$N_q = N_{\emptyset}^2 = K_p^2 \quad (3.11)$$

$$N_{\gamma} = \frac{1}{2} (N_{\emptyset}^{5/2} - N_{\emptyset}^{1/2}) \quad (3.12)$$

$$q_s = \gamma \cdot D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} \quad (3.13)$$

eşitlikleri ile sınır taşıma gücü belirlenir. Bu eşitlikleri  $N_q$  ve  $N_{\gamma}$  değerleri içsel sürtünme açısına ( $\emptyset$ ) bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

### Terzaghi taşıma gücü kuramı

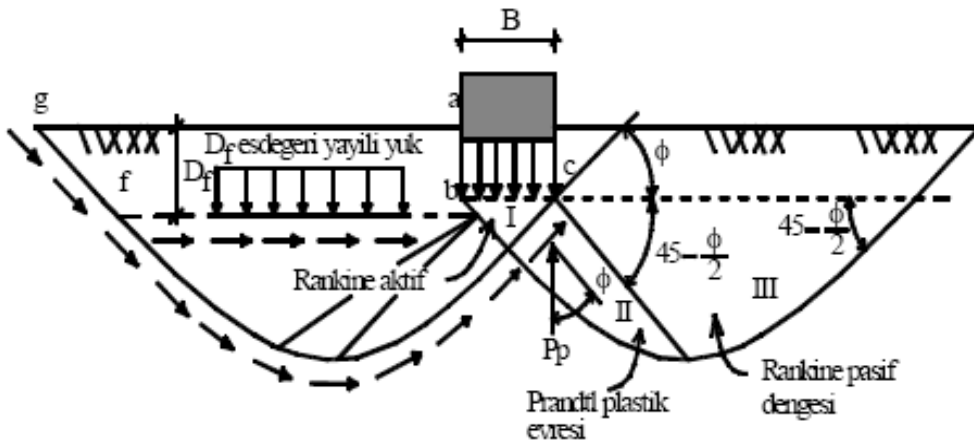
Zemin yüzeyine oturan bir şerit temel altındaki zeminin taşıma gücü için Prandtl (1921) plastisite kuramına (Terzaghi, 1943) dayanan çözümler verilmiştir. Prandtl sınır taşıma gücü için;

$$q_s = (\Pi + 2)c = 5,14 \cdot c = 2,57 \cdot q_u \quad (3.14)$$

eşitliği önerilmiştir. Bu eşitlikte  $c$  kohezyonu ve  $q_u$  ise tek eksenli sıkışma dayanımıdır.

Terzaghi, sığ temellerin taşıma gücü için Prandtl ifadesini zemin koşullarına göre düzenleyerek kuramını geliştirmiştir. Şekil 3.5’de gösterilen aktif ve pasif kamalara ek olarak üç önemli değişiklik getirmiştir (Terzaghi, 1943). Bunlar,

- Kamamın kenar eğiminin  $45 + \frac{\phi}{2}$  yerine  $\phi$
- Temel tabanının kaygan- düz değil pürüzlü olması
- Temel derinliği ( $D_f$ ) boyunca zeminin makaslama direncini göstermeyerek sadece ( $\gamma D_f$ ) eşdeğeri yayılı yük  $q$  gibi etkimesidir.



Şekil 3.6. Terzaghi kuramında yenilme (kayma bölgeleri) (Das, 1999, Demiröz, 2008’den)

Bir temelin taşıma gücü, temelin yenilmeden taşıyabileceği en büyük taban basıncıdır. Sığ temeller altında yenilme mekanizmasının gelişeceği düşünülür ve kaydıran kuvvetlerle karşı koyan kuvvetler dengelenerek limit durum için çözüm yapılır (Şekil 3.6), (Terzaghi, 1943).

Temel zemini; homojen, izotrop ve yarı sonsuz kabul edilerek şerit temelin nihai taşıma gücü için aşağıdaki bağıntı çıkarılmıştır:

$$q_{ult} = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5\gamma B N_\gamma \quad (3.15)$$

Bu eşitlik nihai taşıma gücü ( $q_{ult}$ ) için önerilmiştir.  $N_c, N_q, N_\gamma$  : İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları,  $c$  : Kohezyon,  $D_f$  : Temel derinliği,  $B$  : Temel genişliği,

$\gamma$ : Zeminin birim hacim ağırlığı,  $\gamma D_f$ : Zemin yüzeyinden aşağıdaki  $D_f$  derinliğindeki efektif düşey gerilmeyi, Terzaghi formülünün genel biçimi ise aşağıda verilmektedir:

$$q_{ult} = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N_\gamma \quad (3.16)$$

Burada,  $K_1$  ve  $K_2$ , temel şekil katsayılarıdır.

Çizelge 3.1. Terzaghi temel şekil katsayıları (Terzaghi, 1943)

| Temel Şekli | $K_1$     | $K_2$       |
|-------------|-----------|-------------|
| Şerit       | 1,00      | 0,50        |
| Kare        | 1,2       | 0,4         |
| Daire       | 1,3       | 0,3         |
| Dikdörtgen  | 1+0,2 B/L | 0,5-0,1 B/L |

Güvenli bir temel veya temel sisteminin taşıma gücü ve oturma gibi iki ana şartı sağlaması gerekmektedir. Taşıma gücü şartı göre, üstyapı yükü altında temel zemininde makaslama yenilmesi oluşmamalı ve yenilmeye karşı belli bir güvenlik olmalıdır. Bu durumda nihai taşıma gücü değeri, belirli bir güvenlik sayısına ( $GS$ ) bölünerek izin verilebilir taşıma gücü elde edilmektedir.

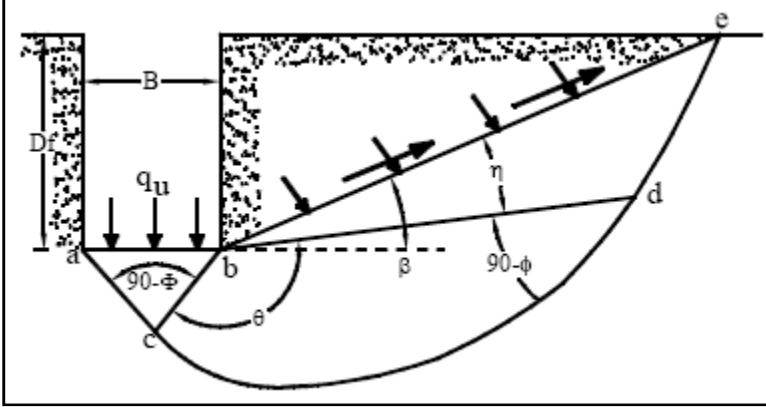
$$q_a = \frac{q_{ult}}{GS}$$

Oturma şartına göre, üstyapı yükü nedeniyle temel tabanında meydana gelen oturmalar yapıya zarar vermemeli veya müsaade edilebilir sınırlar içerisinde (izin verilebilir toplam oturma 20 mm) olmalıdır. Taşıma gücü ve oturma şartları sağlanarak hesaplanan taban basıncı değeri, zemin emniyet gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

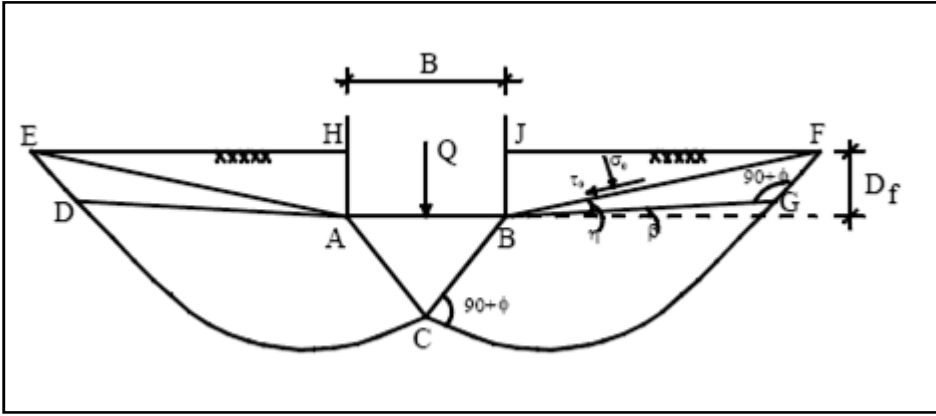
#### Meyerhof taşıma gücü kuramı

Meyerhof (1951), Terzaghi eşitliklerini temel şekli ( $s$ ), temel derinliği ( $d$ ) ve temele uygulanan yük eğimi ( $i$ ) faktörlerini dâhil ederek geliştirmiştir. Yenilme mekanizması

Terzaghi'nin kuramına benzemekte olup yenilme yüzeyleri temel taban seviyesinin üstüne uzatılmaktadır. Kuramda, sığ şerit temel için kayma yüzeyleri gösterilmiştir (Şekil 3.7).



a) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri



b) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri

Şekil 3.7. Meyerhof taşıma gücü kuramında kayma yüzeyleri a) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri b) Sığ şerit temel için kayma yüzeyleri (Das,1999)

Şekilde;

- (i) CD ve CG eğrileri birer logaritmik spiraldir.
- (ii) Temel tabanı sürtünmelidir.
- (iii) ABC kaması temelin bir parçası gibi davranış gösterir ve bu kamanın bitişiğindeki ACD ve BCG radyal kesme bölgelerinin sınırları temel taban seviyesinin üstüne kadar uzanır.
- (iv) ADEH ve BGFJ bölgeleri radyal ve düzlem makaslama durumları arasında makaslama dayanımı gösteren bölgedir.
- (v) BFJ ve AEH bölgelerinde zeminin etkisi eşdeğer bir üniform yayılı yük yerine BF ve AE yüzeylerinde normal gerilme ( $\sigma_0$ ) ve makaslama gerilmesi ( $\tau_0$ ) olarak temsil



edilmektedir.  $\beta$  açısı derinlikle artmaktadır.  $\beta$ ,  $\sigma_0$  ve  $\tau_0$  değerlerine temel derinlik parametreleri denilmektedir.

Meyerhof, sıg şerit temellerin taşıma gücü için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

Düşey eksenel yükleme durumu için;

$$q_{ult} = cN_cS_c d_c + \gamma D_f N_q S_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \quad (3.17)$$

Eğik yük uygulanan durum için;

$$q_{ult} = c + \gamma N_c S_c d_c i_c + \gamma D_f N_q S_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (3.18)$$

$N_c, N_q, N_\gamma$  değerleri Meyerhof taşıma gücü faktörleri olup temelin derinliğine, şekline ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişmektedir.  $S_s, d$  ve  $i$  faktörleri için ifadeler verilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Meyerhof faktörleri (Meyerhof, 1951)

|                             | Şekil                                     | Derinlik   | Eğiklik  |
|-----------------------------|---|--|--|
| Herhangi<br>( $\emptyset$ ) | $S_c = 1 + 0,2K_p \frac{B}{L}$            | $d_c = 1 + 0,2\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$            | $i_c = i_q$<br>$= (1 - \frac{\alpha}{90})^2$       |
| $\emptyset = 0^\circ$       | $S_q = S_\gamma = 1$                      | $d_q = d_\gamma = 1$                               | $i_\gamma = 1$                                     |
| $\emptyset \geq 10^\circ$   | $S_q = S_\gamma = 1 + 0,1K_p \frac{B}{L}$ | $d_q = d_\gamma = 1 + 0,1\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$ | $i_\gamma$<br>$= (1 - \frac{\alpha}{\emptyset})^2$ |



## 4. JEGRIDLERİN ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANIMI VE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 4.1. Donatılı Zeminler

Donatılı zeminler, çekme dayanımı çok düşük olan zeminlerin metal şerit, jeotekstil veya jeogrid gibi malzemeler kullanılarak mühendislik özelliklerinin iyileştirildiği zeminlerdir. Donatılı zemin kavramı bilimsel olarak ilk defa Vidal (1968) tarafından kullanılarak zemin içerisinde çekmeye dayanıklı elemanların varlığının betonarmedeki çeliğe benzer bir etki oluşturduğu iddia edilmiştir. 1970'li yıllardan itibaren tüm dünyada, özellikle dolgu ve dayanma yapılarında yaygın bir şekilde kullanılarak çok iyi sonuçlar alınmıştır. Zeminlerde donatı olarak kullanılan elemanlar; doğal, işlenmiş metal veya sentetik lifli malzemelerden üretilmektedir. Yapılan ilk çalışmalarda, metal şeritler veya çubuklar kullanılırken, 1980'li yıllardan sonra bu tür malzemelerin yerini jeosentetik türü malzemeler almıştır (Yıldız, 2002). Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, jeogrid malzemelerin bu alandaki kullanımları hızla artmaktadır.

#### 4.1.1. Jeogridin kullanım alanları

Boşluklu yapısıyla drenaj yapısını desteklediği bilinse de, jeogrid malzemelerin esas fonksiyonu güçlendirmedir. Güçlendirme fonksiyonu ile jeogrid malzemeler taneli malzeme içeren yapıların ve zemin seviyelerinin güçlendirilmesinde kullanılmaktadırlar. Jeogridlerin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar, kaplamasız yollarda agreganın altında, toprak dolguların ve dolgu barajların güçlendirilmesinde, şev duraysızlıkları ve heyelanlarının iyileştirilmesinde, kaplamalarda asfalt donatısı olarak sıralanabilir (Ay, 2014).

#### Jeogridin zayıf zeminlerde kullanımı

Jeogridler, yüksek çekme dayanımı ve üretimine göre ayarlanabilir boşluklu yapıları sayesinde kullanıldıkları yerde duraylılığı arttırırlar. Jeogridlerin diğer jeosentetiklere göre daha yüksek dayanım sağlaması ve boşluklu yapısı sayesinde kullanıldığı ortamdaki

malzemelerle bütünlük arz etmesi, bunların zemin iyileştirmelerinde, şevlerde ve donatı olarak kullanılmasını sağlar. Boşluklu yapısı sayesinde şev yapısının bitkilendirilmesine imkan sağlarken, yüksek çekme dayanımları ve kolay uygulanabilirlikleri sayesinde çevreci istinat yapılarının oluşturulmasını da sağlamaktadır.

Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yapılarda, zemin iyileştirme yöntemleri arasında jeogridler ile iyileştirme de yer almaktadır. Jeogridler yükü uniform olarak zemine yayarak farklı oturmaları da engellemiş olur. Zemin iyileştirmede kullanılan jeogridlerin başlıca faydaları;

- a) Taşıma gücünü artırır.
- b) Uzun zamanda oluşacak deformasyonları azaltır.
- c) Farklı oturmaları önler.
- d) Çatlakları önler.
- e) Alt temelin taşıma gücünü artırır.
- f) Yükün uniform dağılımını sağlar.

#### Jeogridin yollarda kullanımı

Demiryollarında ve havaalanlarında, karayollarından farklı olarak oluşan dinamik yükler zeminde önemli oturmalara ve çatlaklara yol açar. Zemine gelen dinamik yüklerin neden olabileceği gerilmeler ve farklı oturmadan kaynaklanan çatlakları önlemek için ya da kullanılan dolgu zemininin kalınlığını azaltmak için jeogridler kullanılır (Tunç, 2002)

Jeogridlerin yol zeminlerinin iyileştirilmesindeki amacı, farklı oturmaları önleyerek zeminin taşıma gücünü arttırmaktır. Jeogridler, üzerlerine etkiyen yükleri kendi alanları boyunca yayarak birim alana gelen yük miktarını azaltırlar. Bu sayede daha düşük taşıma gücüne sahip zeminin taşıma gücünü arttırmaya da, etkiyen yükü azaltarak, daha yüksek yükleri taşımasını sağlarlar (Karagül, 2007).

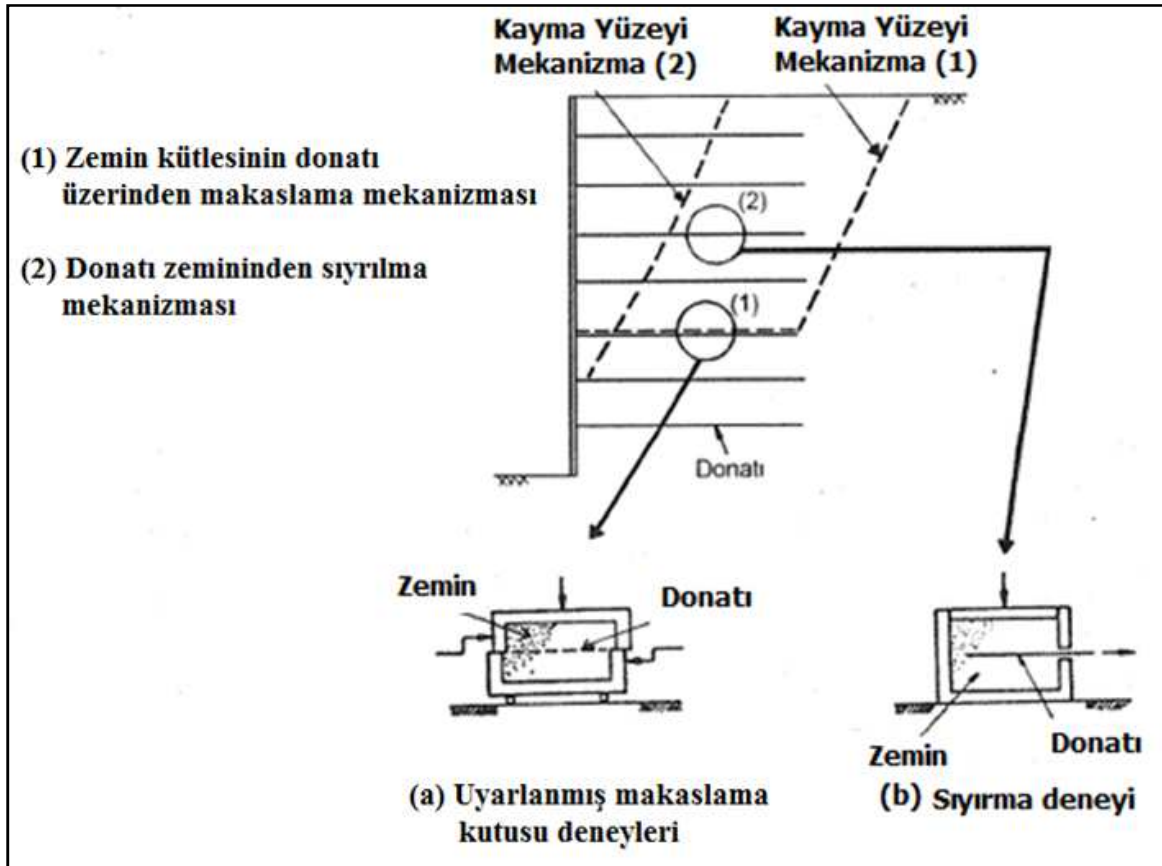
#### **4.1.2. Jeogrid-zemin etkileşimi**

Donatılı zemin sistemlerinde, donatı olarak kullanılan jeogridin çekme dayanımının yüksek, kopmada uzama değerinin düşük, diğer bir ifadeyle çekme modülünün yüksek

olmasının, az sünme sergilemesinin yanı sıra zeminle donatı arasında yeterli “ara yüzey makaslama dayanımı” olması şartı aranır.

Zemin güçlendirmesi uygulamalarında, donatı ve taneli zemin ara yüzeyinde etkileşim mekanizmaları donatılı zemin bir duvar kesiti üzerinde gösterildiği gibi (i) zemin /donatılı zemin kütlelerinin, donat-zemin ara yüzeyi “üzerinden kayması” ve (ii) donatının zemin içinden “sıyırılması” veya zeminle “kenetlenmesi” şeklinde gösterilmiştir (Wasti, 2007), (Şekil 4.1).

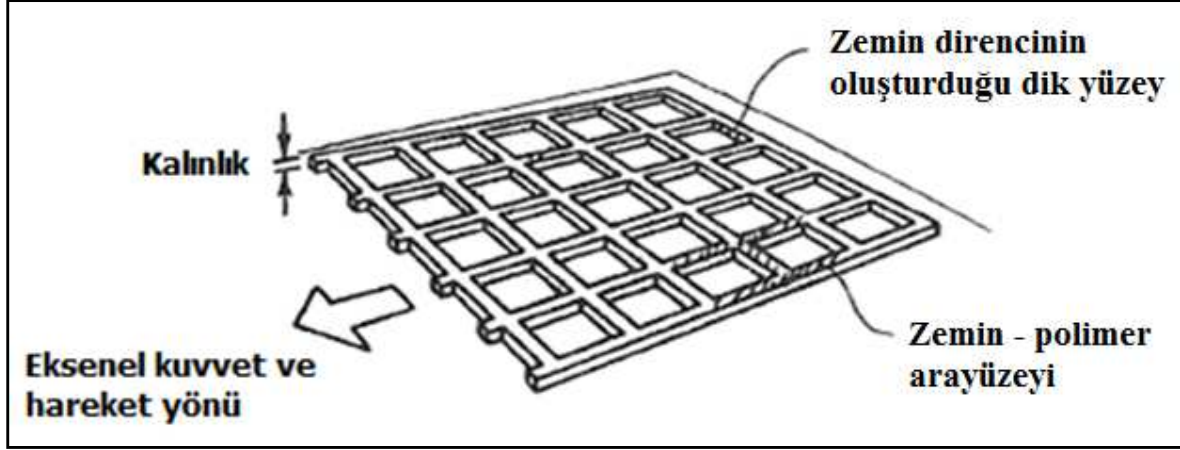
Zemin-jeogrid etkileşim parametrelerini makaslama dayanımı/sürtünme parametrelerini ölçmek için “uyarlanmış makaslama kutusu deneyi” veya “sıyırma/çekme” deneyi kullanılabilir (Wasti, 2007).



Şekil 4.1. Donatı- zemin etkileşim mekanizmaları ve deney yöntemleri (Wasti, 2007)

Jeogridin zeminden sıyırılma veya zemine tutunma/kenetlenme kuvvetini ise, zemin polimer sürtünmesi ve basitleştirilmiş jeogrid kesitinden anlaşılacağı gibi donatı zemin

içinden çekilirken açıklıkların çekme yönüne dik alanlarına etki eden, bir çeşit pasif toprak basıncından kaynaklanan direnç belirler (Şekil 4.2). Açıklıkları dolduran zemin, jeogrid ile hareket ettiği için bu mekanizmada zeminin içsel sürtünmesinin katkısı söz konusu değildir.



Şekil 4.2. Jeogridin zeminden sıyrılma mekanizması (Wasti, 2007)

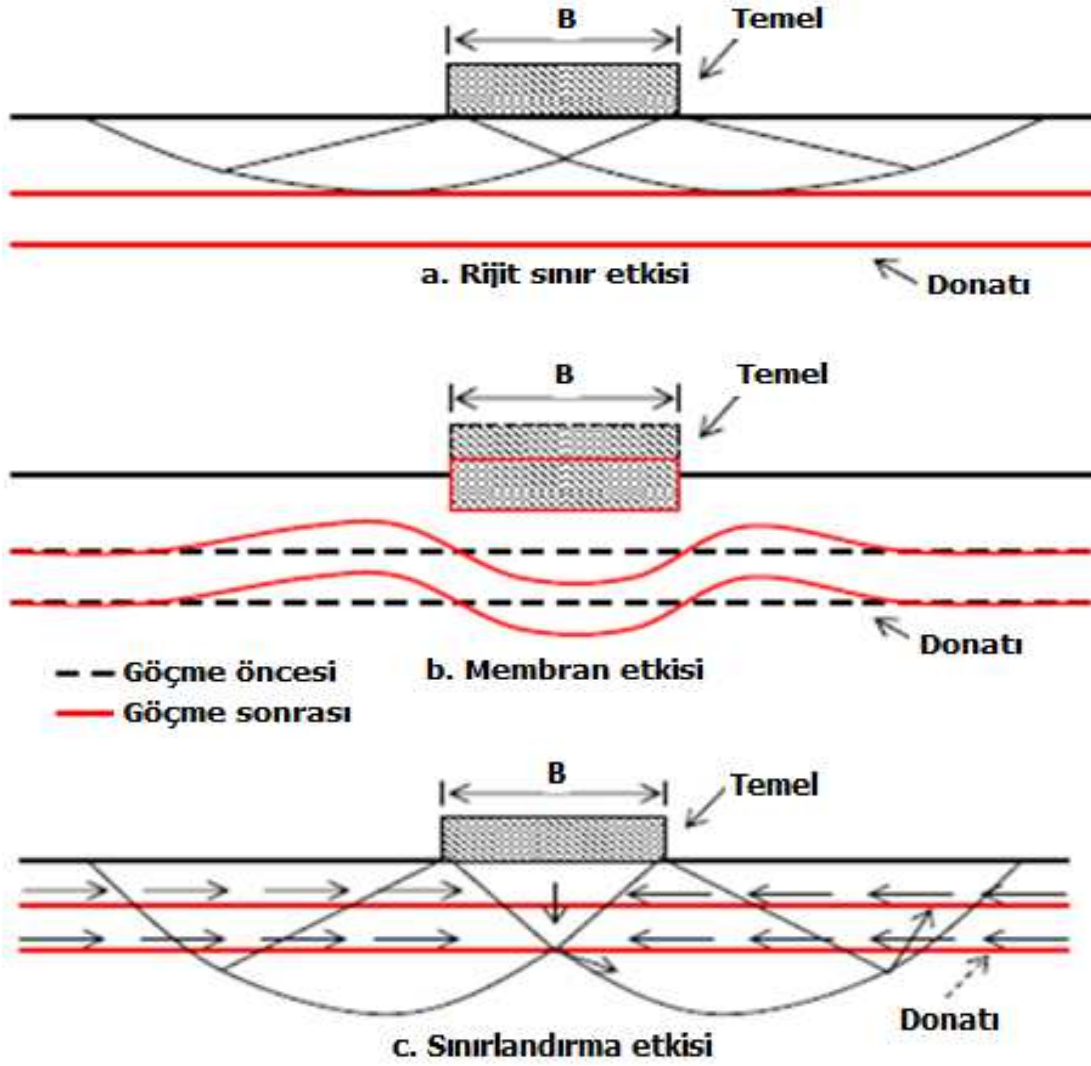
#### 4.2. Donatılı Zemin Davranışı

Bu bölümde donatılı zemin davranışı ile ilgili olarak önerilmiş kurgusal ve sayısal yaklaşımlar anlatılmıştır. Güçlendirilmiş zeminlere oturan temellerin taşıma gücüyle ilgili yapılan kuramsal çalışmaların sayısı, deneysel çalışmalara göre oldukça sınırlıdır. Literatürde, donatı ile güçlendirilen zeminlerle ilgili aşağıda yer alan yenilme mekanizmaları tanımlanmıştır (Chen, 2007; Örnek, 2009).

- Rijit taban etkisi: İlk donatı derinliğinin ( $u$ ) belirli bir değerden büyük olması durumunda donatı, etki bölgesini sınırlamakta ve zemin donatı sistemi, rijit bir taban gibi davranmaktadır. Rijit taban etkisi ilk olarak, Binquet ve Lee (1975b) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra, birçok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmalarda (Akinmusuru ve Akinbolade, 1981; Mandal ve Sah, 1992; Khing ve diğerleri 1993; Omar ve diğerleri, 1993b; Ghosh ve diğerleri, 2005) benzer davranışlar elde edilmiştir (Şekil 4.3a).
- Membran etkisi: Yük uygulandığı zaman temel ve temel zemini aşağı doğru hareket etmekte ve donatı deforme olmaktadır. Jeogrid donatısının rijitliğine bağlı olarak, donatı da yükü karşılamaya çalışarak ve temele doğru bir kuvvet oluşturacaktır. Bu tür bir

mekanizmanın oluşabilmesi için belirli bir oturma değerine ulaşılması ve donatıda herhangi bir kopma ve çekme olmaması için donatının belirli bir uzunlukta ve rijitlikte olması gerekmektedir. Binquet ve Lee (1975b) tarafından yenilme sonrası donatı şekli için basit varsayımlar yapılarak güçlendirilmiş kum zeminlere oturan şerit temellerde bir tasarım yöntemi geliştirmek amacıyla bu tür bir yenilme mekanizması uygulanmıştır. Kumar ve Saran (2003) tarafından ise, bu yöntem güçlendirilmiş kum zeminlere oturan kare temeller için de uygulanmıştır (Şekil 4.4b).

- c) Sınırlandırma etkisi: Zemin ve jeogrid donatı arasındaki bağıl yer değiştirmeden dolayı zemin-donatı ara yüzeyinde sürtünme kuvveti oluşmakta ve aynı zamanda zemin-donatı arasında bir kenetlenme etkisi de meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, donatı ile güçlendirilmiş zeminde yanal deformasyon veya potansiyel çekme gerilmesi sınırlanmaktadır. Zeminler genel anlamda gerilme bağımlı malzemeler olduklarından, yanal olarak sınırlama arttıkça zeminlerin rijitlik modülleri, dolayısıyla sıkışma dayanımları da artmaktadır. Bu durum da zeminin taşıma gücünün artmasına neden olmaktadır. Bu mekanizma, Huang ve Tatsuoka (1990) tarafından temel genişliğinin (B) ve jeogrid donatı boyuna (L) eşit alınarak güçlendirildiği kum zeminlerde yapılan deneysel çalışmalarda başarıyla doğrulanmıştır. Michalowski (2004) tarafından bu mekanizma, donatı ile güçlendirilen zeminlerin limit analizinde ve güçlendirilmiş zeminlere oturan şerit temellerin nihai taşıma güçlerini hesaplayan bir eşitlik elde edilmesinde kullanılmıştır (Şekil 4.5c).



Şekil 4.3. Donatılendirma mekanizmaları (Örnek, 2009)

#### 4.2.1. Binquet ve Lee (1975) yöntemi

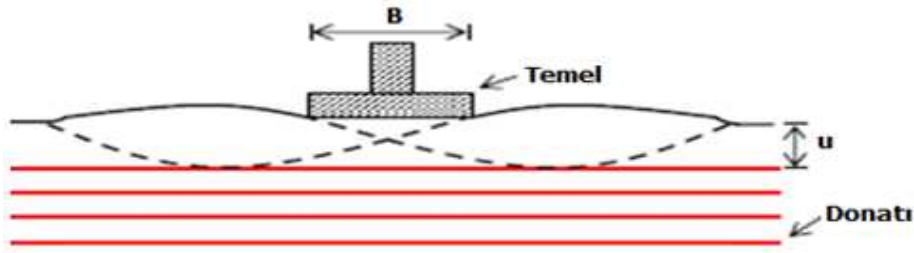
Taşıma gücü analizlerinde, deneysel çalışmalarda gözlenen farklı yenilme şekillerini esas almıştır. Donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü araştırmak için Binquet ve Lee (1975b) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda şerit temel ve donatı malzemesi olarak alüminyum şeritler kullanılmıştır. Binquet ve Lee (1975b) çalışmalarını hem deneysel hem de kuramsal olarak yürütmüştür.

Donatılı zeminlerde, donatı elemanlarının yerleşim düzeni ve dayanımına bağlı olarak yenilmenin farklı şekillerde olduğu görüşünü Binquet ve Lee (1975b) ortaya koymuştur. Bu kuramlardan hareketle sayısal modelleme yapmış ve işlem sonuçlarını deneysel

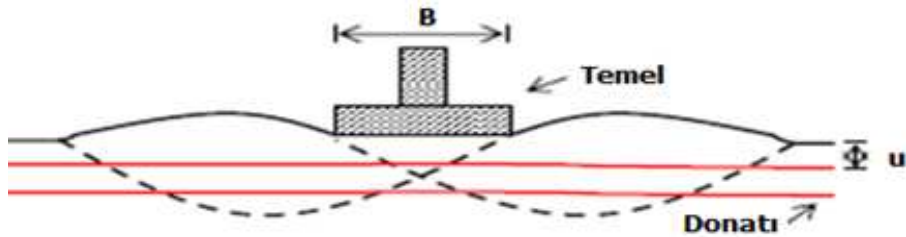


sonuçlarla Binquet ve Lee (1975b)karşılaştırmıştır. Bu kuramlar aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

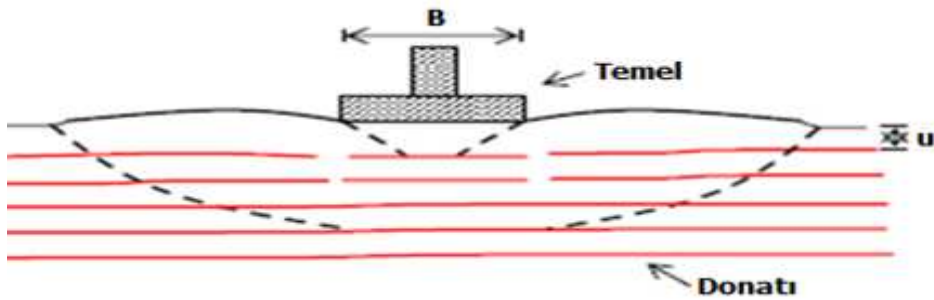
- İki donatı seviyesi üzerinde meydana gelen makaslama yenilmesi:* İlk donatı seviyesinin donatı derinliğine bağlı olarak  $u/B > 0,67$ 'deki tabakada olduğu hesaplanmıştır. Donatı seviyeleri yoğunluğu nedeniyle kayma bölgesi daha derine inemez ve yenilme üst bölgede kalır (Şekil 4.4a.).  $u/B < 0,67$  durumlarında taşıma gücünde daha kesin artış tespit edilmiştir.
- Donatı sıyrılması:* Donatı sıyrılması,  $u/B < 0,67$  ve  $N < 2$  veya 3 olduğu seyrek ve sık donatılı ve donatı uzunluğunun gerekli sürtünme direncini alamayacak kadar kısa olduğu durumlarda oluşmaktadır (Şekil 4.4b.).
- Donatı kopması:* Bu davranış zemin donatısının yeterince uzun ve sık ( $u/B < 0,67$  ve  $N > 4$ ) olduğu durumda oluşmaktadır (Şekil 4.4c.).



a) Donatıların üzerinde oluşan yenilme ( $u/B > 0,67$ )



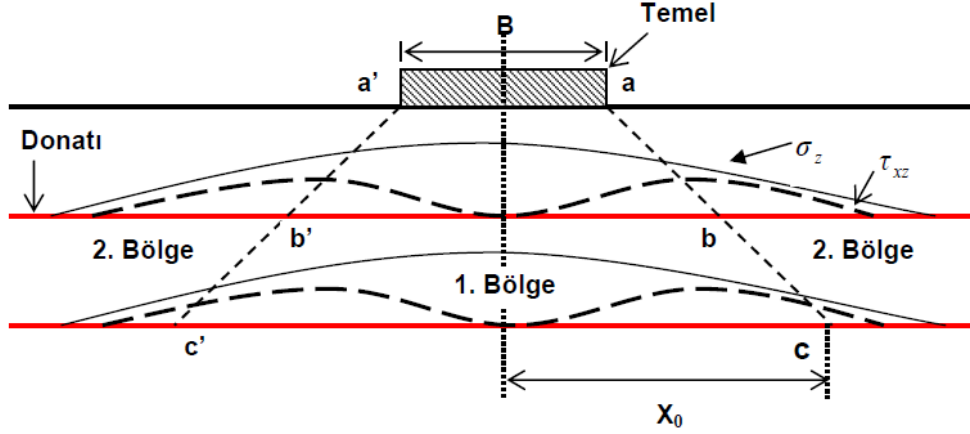
b)  $u/B < 2/3$  ve  $N < 3$  veya kısa donatı, donatı sıyrılması



c)  $u/B < 2/3$ ,  $N > 4$  ve uzun donatı, donatı kopması

Şekil 4.4. Yenilme mekanizmaları (Binquet ve Lee, 1975b; Örnek, 2009)

Şerit temeller ile ilgili kuramda belirtilen gerilmelerin zemin içindeki dağılımı gösterilmiştir (Şekil 4.5). Temel yükü altındaki zeminde yenilme yüzeyi meydana gelmiştir. Şekil 4.5'deki gibi donatılı bölge iki kısma ayrılmıştır. Temelin hemen altındaki bölge 1.bölge olarak ve yükün artması ile zeminin aşağı doğru hareket ettiği ifade edilmiştir. 2.bölgede ise zeminin yukarı ve dışarı doğru hareket ettiği ifade edilmiştir.



Şekil 4.5. Şerit temel altında gerilme dağılımları ve yenilme mekanizması (Örnek, 2009)

Donatısız durumda zemin içinde ABCD elemanı için kuvvet denklemleri aşağıdaki gibi (Şekil 4.6a) olup, yenilme sonrası sınır noktaları üzerinde donatının şekli Şekil 4.6b'de gösterilmiştir.

$$F_t + F_b - S = 0 \quad (4.1)$$

Burada;  $F_t$  ve  $F_b$  sırasıyla, ABCD elemanının üst ve alt yüzeylerindeki dikey ekseninde normal kuvvetleri ifade eder.  $S$  ise, ABCD elemanının yan yüzeylerine etkiyen makaslama kuvvetidir.

Donatılı zemin durumunda (Şekil 4.6b) ise kuvvet denge denklemi aşağıdaki gibidir.

$$F_{tr} - F_{br} - S_r - T_t = 0 \quad (4.2)$$

Burada;  $F_{tr}$  ve  $F_{br}$  sırasıyla, ABCD elemanının üst ve alt yüzeylerine etkiyen dikey ekseninde normal kuvvetleri ifade eder.  $S_r$ , ABCD elemanının yan yüzeyine etkiyen makaslama kuvveti,  $T_t$  ise, donatıda meydana gelen kuvveti ifade eder.

Aynı oturma değerlerinde ( $F_b = F_{br}$ );

$$T_t = F_{tr} - F_{br} - S_r + S \quad (4.3)$$

Boussinesq denkleminden hareketle Binquet ve Lee (1975b) tarafından herhangi bir  $z$  derinliğinde gelişen donatı kuvveti ( $T_t$ ) ilişkisi aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

$$T_t(z, N) = \frac{1}{N} \left[ J \left( \frac{z}{B} \right) B - I \left( \frac{z}{B} \right) h \right] q_0 \left( \frac{q_r}{q_0} - 1 \right) \quad (4.4)$$

Burada;  $z$  donatı derinliği,  $N$  donatı sayısı,  $h$  donatılar arası dikey mesafe,  $B$  temel genişliği,  $q_0$  donatısız durumda temel taşıma basıncı,  $q_r$  donatılı durumda temel taşıma basıncı,  $I$  ve  $J$  ise aşağıdaki gibi hesaplanan boyutsuz kuvvetlerdir.

$$J \left( \frac{z}{B} \right) = \frac{\int_0^{X_0} \sigma \left( \frac{z}{B} \right) dx}{q_r B} \quad I \left( \frac{z}{B} \right) = \frac{\tau_{xz \max} \left( \frac{z}{B} \right)}{q_r} \quad (4.5)$$

Burada;  $X_0$ ,  $\tau_{xz}$  'nin en fazla olduğu noktaya olan mesafe,  $\sigma_z$ ,  $z$  derinliğindeki dikey gerilme ve  $z$  derinliğindeki maksimum makaslama gerilmesi  $\tau_{xz \max}$  dir.

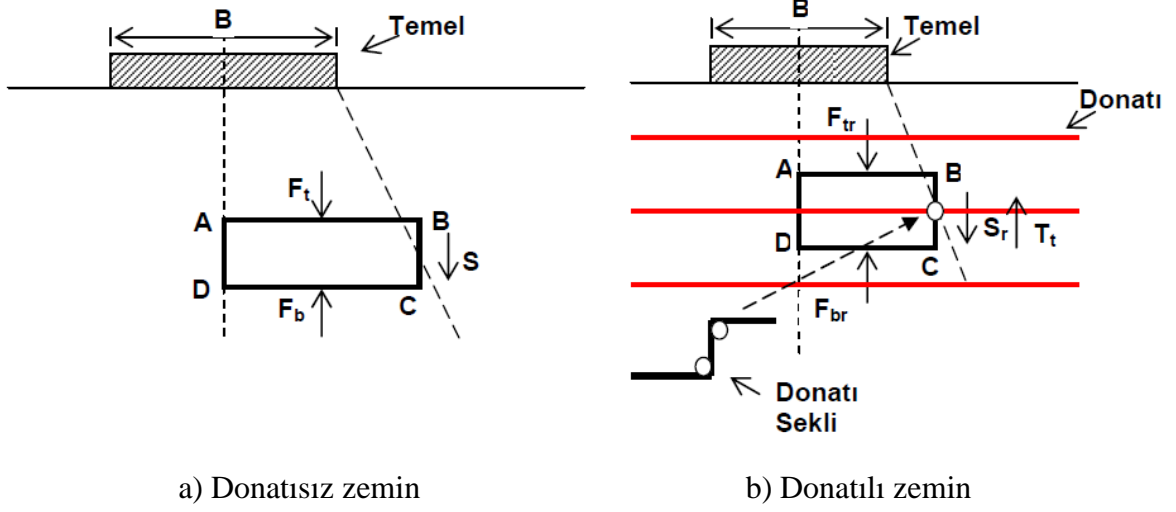
Donatıya ait uzama direnci  $R_y$ , ve kopma direnci  $T_f$  aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$R_y = \frac{w N_R t f_y}{F S_y} \quad (4.6)$$

$$T_f(z) = 2f \cdot LDR \left[ M \left( \frac{z}{B} \right) B q_0 \left( \frac{q_R}{q_0} \right) + \gamma (L_0 - X_0) (Z + D) \right] \quad (4.7)$$

Burada;  $w$  tek bir donatının genişliği,  $N_R$  şerit temelin birim uzunluğundaki donatı sayısı,  $t$  tek bir donatının kalınlığı,  $f_y$  donatının kopma dayanımı,  $F S_y$  donatının kopmasına karşı güvenlik sayısıdır.  $w$  ve  $N_R$  donatının lineer yoğunluğu (LDR) olarak tanımlanmaktadır.

Zemin ile donatı arasındaki sürtünme katsayısı,  $f$ ,  $f = (\tan \emptyset_f / F S_f)$  formülü ile bulunur.  $\emptyset_f$  zemin-donatı arasındaki sürtünme açısı,  $F S_f$  sürtünmeye karşı güvenlik faktörü,  $D$  temel derinliği,  $M$  ise boyutsuz kuvvettir.



Şekil 4.6. Donatısız ve donatılı zeminde kuvvet bileşenleri a) Donatısız zemin b) Donatılı zemin (Örnek, 2009)

#### 4.2.2. Huang ve Tatsuoka (1990) yöntemi

Huang ve Tatsuoka (1990), donatılı kum zeminde olası iki yenilme modelini açıklamıştır. Bunlar, (1) donatı altındaki donatısız bölgedeki yerel yenilme (Şekil 4.7a) ve (2) donatısız alandaki yerel yenilme (Şekil 4.7b.)'dir. Yenilmenin tipi genellikle donatının kopma yenilmesini, donatının gerilme yenilmesini ve toprakta sıkıştırma yenilmesini içerir. Huang ve Tatsuoka (1990), donatılı kum zeminde şerit temellerin taşıma gücündeki artışın  $\Delta q$  tahmin edilmesi amacıyla basit yöntem önermişlerdir.

Yenilme modeli I için taşıma gücündeki artışı;

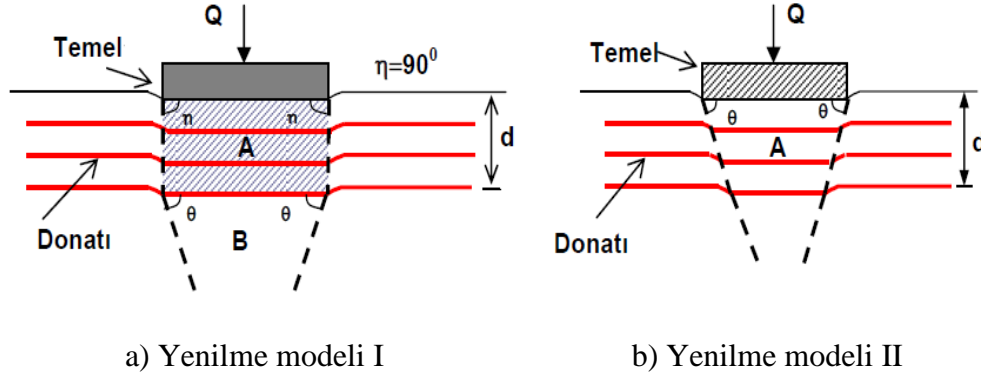
$$\Delta q = K_p^2 \gamma_d \left[ \frac{2d+b+2s_2}{2} - \frac{c+s_1}{2} \right] + \frac{2[\sum_{i=1}^N T_{t,i} * \tan \varphi * N_i]}{B} \quad (4.8)$$

ve yenilme modeli II için taşıma gücündeki artışı;

$$\Delta q = K_p \frac{[\sum_{i=1}^N T_{tav,i} * N_i]}{d} \quad (4.9)$$

Eşitlikleriyle ifade edilmiştir.

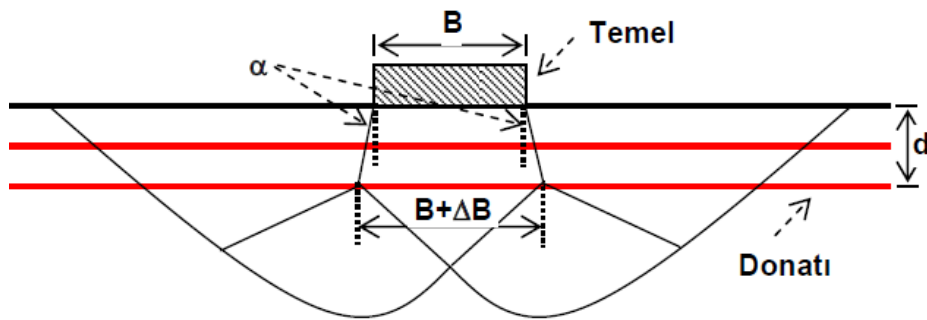
Burada  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$ 'dir.  $\phi$ , kum zemine ait  $\delta = 90^\circ$  durumunda düzlem birim deformasyon koşullarındaki sıkışma(PSC) deneyinde elde edilen içsel sürtünme açısıdır.



Şekil 4.7. Donatılı kum zeminde yenilme modeli. a) Yenilme modeli b) Yenilme modeli (Örnek, 2009)

#### 4.2.3. Huang ve Menq (1997) yöntemi

Huang ve Menq (1997), Schlosser ve vd. (1983) tarafından önerilen yenilme mekanizmasını esas alarak donatı ile güçlendirilen zeminlerde yenilme mekanizmasını incelemiştir. Şekil 4.8.'de gösterilen bu yenilme mekanizmasına göre, derin temel ve geniş taban etkisi, olarak ifade edilen iki tane donatılandırma etkisi, taşıma gücünün artmasına katkıda bulunmaktadır. Bu yenilme mekanizması, donatılandırılmış zemine oturan temelin taşıma gücünün (temel genişliği,  $B$ ),  $d$  derinliğinde (toplam donatı derinliği) daha geniş bir temel durumunda (genişlik  $B + \Delta B$ ) elde edilen taşıma gücüne eşit olduğu esasına dayanmaktadır.



Şekil 4.8. Donatılı zemin sisteminde yenilme mekanizması

Donatısız durum için,

$$q_{u(\text{donatısız}, D_f=0)} = \eta \times \gamma \times B \times N_\gamma \quad (4.10)$$

Donatılı durum için ise,

$$q_{u(R)} = q_{u(\text{donatısız}, D_f=d)} = \eta \times \gamma \times (B + \Delta B) \times N_\gamma + d \times N_\gamma \quad (4.11)$$

Temel yüzeyinde donatısız zemin temelinin nihai taşıma gücü  $q_{u(\text{donatısız}, D_f=0)}$ , donatılı zemin temelinin nihai taşıma gücü  $q_{u(R)}$ , temel gömülme derinliği  $D_f$ , temel şekline bağlı katsayı  $\eta$ , zeminin kuru birim hacim ağırlığı  $\gamma$ , temel genişliği  $B$ , taşıma gücü faktörleri  $N_\gamma, N_g$ , toplam donatı derinliği  $d$ , donatı ilavesinden dolayı temel genişliğindeki artışı  $\Delta B$ , ve  $(2xd) \tan \alpha$ ;  $\alpha$  geniş taban etkisinden dolayı gerilme dağılımı açısıdır (Şekil 4.8.).

Schlosser ve diğerleri(1983)deneysel çalışmalarına ait veriler esas alınarak Huang ve Menq (1997) regresyon analizi yapmış ve gerilme dağılımı açısını ( $\alpha$ ) bulmak için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$\tan \alpha = 0,680 - 2,071 h / B + 0,743 CR + 0,03 l / B + 0,076 N \quad (4.12)$$

Burada; donatı seviyeleri arası dikey mesafe  $h$ , donatı uzunluğu  $l$ , donatı kaplama oranı  $CR$  ve donatı sayısı  $N$ 'dir. Donatı kaplama oranı, donatı ile kaplanan zemin alanı ile donatı alanının oranına eşittir.

#### 4.2.4. Wayne, M.H., Han, J., Akins, K., (1998) yöntemi

Wayne ve diğerleri (1998), donatı ile güçlendirilmiş temel zeminleri için dört farklı yenilme mekanizması önermiştir (Şekil 4.9). Önerilen yenilme mekanizmaları, donatı yerleşim düzeni ve zemin göre değişmektedir.

İlk donatı derinliği ( $u$ ) belirli bir değerden büyük ise, donatı rijit bir sınır gibi davranır ve yenilme bu donatının üzerinde meydana gelir (Şekil 4.9a). Yenilmenin bu tipi donatının üst yüzeyinin temele yakın konumla yerleştirilmesiyle önlenir.

Donatılar arası düşey aralık ( $h$ ) büyük ise, yenilme donatılar arasında meydana gelir (Şekil 4.9b). Yenilmenin bu tipi ise donatı katmanlarının düşey aralığı yeterli tutularak önlenmiş olur.

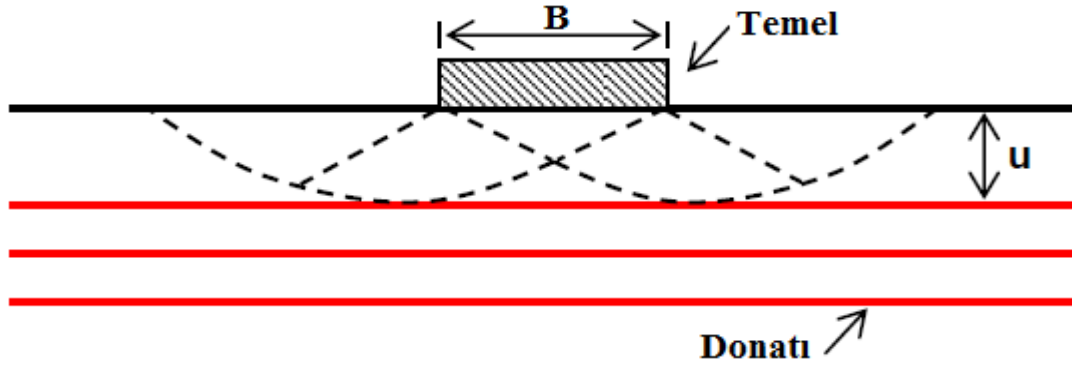
Donatı alanı boyunca zımbalama yenilmesi, donatı alanı çok güçlü olmadığı ve donatı uzunluğunun yetersiz olduğu durumda oluşabilir (Şekil 4.9c). Bu tip yenilme, rijit bir temel gibi hareket eder ve donatı alanının kalınlığı, deminin gömülme derinliği olarak işlenebilir. Donatılı temel zeminde taşıma gücü Vesic (1973) tarafından sunulan klasik taşıma gücü eşitliğiyle hesaplanabilir.

Donatı alanı boyunca zımbalama yenilmesi, uygun takviye yapılandırılmamış donatılı temel zeminde sıklıkla görülür. Bu tip yenilmede, donatılı temel zemini Wayne ve diğerleri (1998) tarafından sunulan çift katmanlı zemin sistemi (örn. güçlü zemin altında bulunan zayıf zemin) gibi işlenebilir.

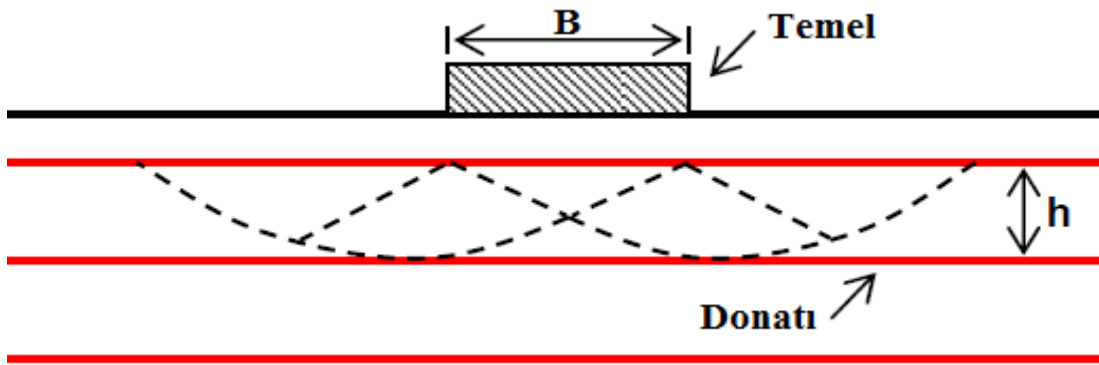
Meyerhof ve Hanna (1978) eşitliği, taşıma gücündeki artışa donatı katkısını da içerecek şekilde Wayne ve diğerleri (1998) tarafından aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

$$q_{u(R)} = q_b + 2c_t(B + L)\frac{d}{BL} + \gamma_t H^2 \left[ 1 + 2\frac{D_f}{d} \right] K_s(B + L)\frac{\tan\theta_t}{BL} + 2(B + L)\frac{T}{BL} - \gamma_t d \quad (4.13)$$

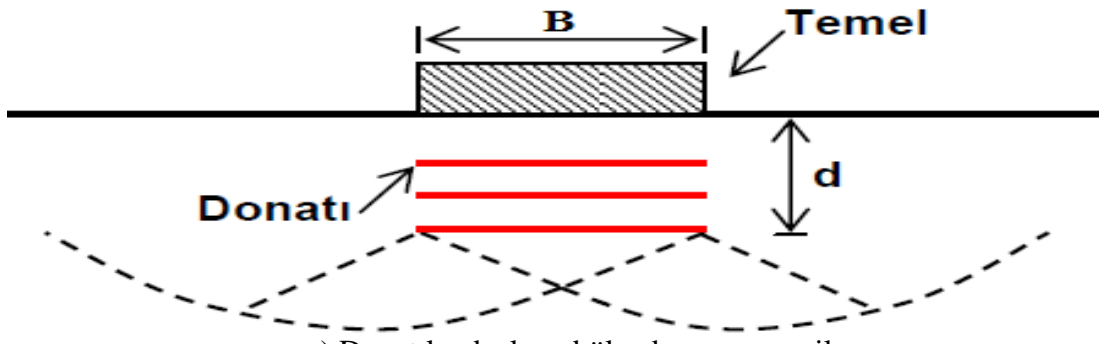
Burada; donatı alanı altındaki temelin nihai taşıma gücü  $q_b$ , üst tabakanın kohezyon değeri  $c_t$ , üst seviyenin birim hacim ağırlığı  $\gamma_t$ , üst seviye kalınlığı  $d$ , temel genişliği  $B$ , temel uzunluğu  $L$ , temel gömülme derinliği  $D_f$ , üst tabakanın içsel sürtünme açısı  $\theta$ , donatı çekme kuvveti  $T$  dir. Üst tabakanın zımbalama makaslama katsayısı  $K_s$ , sürtünme açısının bir fonksiyonu  $K_s$  tabakalı zemine oturan sığ temele ait nihai taşıma gücüne bağlıdır.



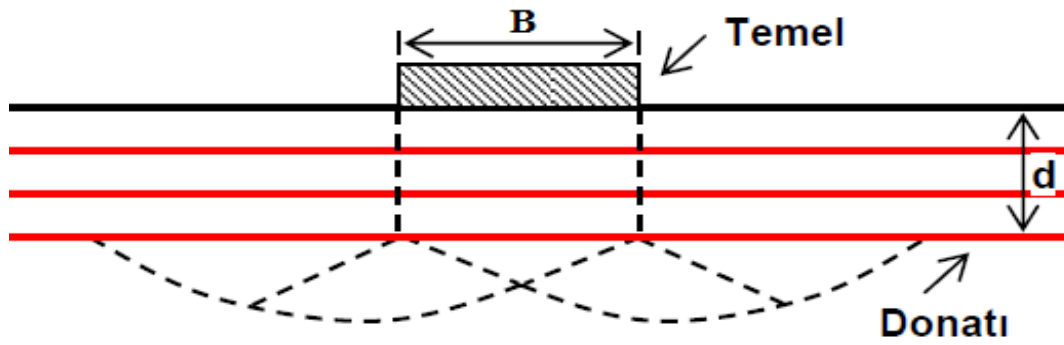
a) Donatı üzerinde yenilme



b) Donatılar arasında oluşan yenilme



c) Donatılandırılmış bölge boyunca yenilme



d) Donatılandırılmış bölge içinde yenilme

Şekil 4.9. Donatılı zemin sisteminde olası yenilme mekanizmaları



#### 4.2.5. Michalowski (2004) yöntemi

Donatı ile güçlendirilen zeminlerin duraylılık analizleri, Michalowski (2004) tarafından üst-sınır kuramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Duraylılık analizleri sonucunda kopma yenilmesi ve sünme yenilmesi olarak iki farklı yenilme mekanizması tanımlanmıştır. Analizlerde süper pozisyon yöntemi uygulanarak jeosentetik donatılarla güçlendirilen zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü hesaplamak amacıyla aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

(i) Sünme yenilmesi için;

$$p = cN_c + qN_q + 0,5\gamma BN_\gamma + k_t M'_r \quad (4.14)$$

Burada;  $k_t = \left(\frac{T_t}{h}\right)$ ,  $M'_r = (1 + \sin\emptyset)e^{\left(\frac{x}{2} + \emptyset\right)\tan\emptyset}$ ,  $T_t$  nın çekme dayanımı,  $h$  donatılar arası uzaklıktır.

(ii) Kopma yenilmesi için;

a) Tek donatı kullanılması durumunda;

$$p = \frac{1}{1 - \mu \frac{u}{B} M_p} \left[ c(N_c + f_c M_c) + q(N_q + \mu M_q) + \gamma B \left( \frac{1}{2} N_\gamma + \mu \frac{d}{B} M_\gamma \right) \right] \quad (4.15)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\emptyset \quad (4.16)$$

$$N_q = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2}\right) e^{\pi \tan\emptyset} \quad (4.17)$$

$$N_\gamma = e^{0,66 + 5,11 \tan\emptyset} \tan\emptyset \quad (4.18)$$

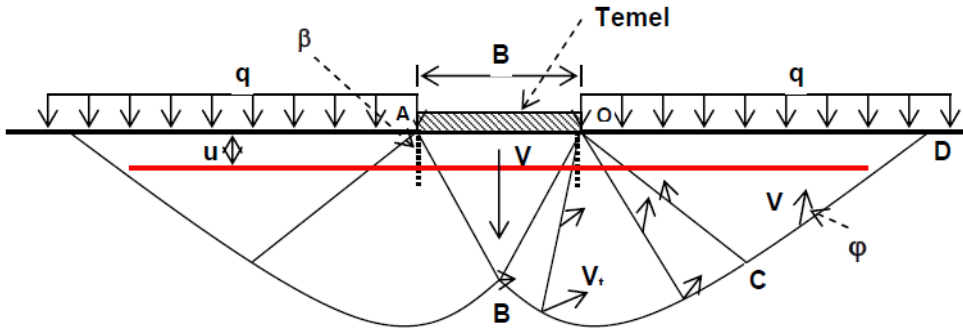
Burada;  $M_c, M_q, M_\gamma, M_p$  donatıya bağlı taşıma gücü katsayıları,  $\eta$  zemin-donatı ara yüzey sürtünme katsayısı,  $u$  ilk donatı derinliği,  $B$  temel genişliği,  $c$  kohezyon,  $\emptyset$  içsel sürtünme açısı,  $q$  örtü yükü,  $\gamma$  zemin birim hacim ağırlığı,  $f_c$  kullanılan donatı ile zemin arasındaki

kohezyondur (içsel sürtünme açısına bağlı olarak zemin-donatı arasındaki ara yüzeyi etkileyen).

b) Birden fazla donatı kullanılması durumunda;

$$p = \frac{1}{1 - \mu M_p \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B}} \left[ c(N_c + n f_c M_c) + q(N_q + n \mu M_q) + \gamma B \left( \frac{1}{2} N_\gamma + \mu M_\gamma \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B} \right) \right] \quad (4.19)$$

Burada;  $n$  donatı sayısı,  $d_{ic}$   $i$ . seviyenin derinliği ( $= u + (i - 1)h$ ),  $h$  donatılar arası uzaklıktır. Michalowski (2004) tarafından gerçekleştirilen sayısal analizler, donatıların (Şekil 4.10)'da görülen B ve C noktaları üzerine yerleştirilmesi durumunda taşıma gücüne katkısının en yüksek düzeyde olduğunu göstermiştir. Taşıma gücü katsayılarının yaklaşık değerleri Michalowski (2004) tarafından sunulmuştur (Çizelge 4.1).



Şekil 4.10. Zemin-temel sisteminde yenilme mekanizması

Çizelge 4.1. Donatıya bağlı taşıma gücü katsayıları (Michalowski, 2004; Örnek, 2009)

| Donatı Sayısı (N) | $M_c = M_q = M_\gamma$                | $M_p$                                   |
|-------------------|---------------------------------------|---|
| 1                 | $1,6 (1 + 8,5 \tan^{1.3} \emptyset)$  | $1,5 - 1,25 \times 10^{-2} \emptyset$   |
| 2                 | $1,1 (1 + 10,6 \tan^{1.3} \emptyset)$ | $40,75 - 6,25 \times 10^{-3} \emptyset$ |
| 3                 | $0,9 (1 + 10,6 \tan^{1.3} \emptyset)$ | $0,5 - 6,25 \times 10^{-2} \emptyset$   |

#### 4.2.6. Sharma, R., Chen, Q., Abu-Farsakh, M. ve Yoon, S., (2009) yöntemi

Donatılı temel zeminindeki olası yenilme mekanizmaları için daha önce yapılan sayısal çalışmalar değerlendirilmiş ve yeni eşitlikler sunulmuştur.

a)İki seviyeli donatılı zemin üzerinde bulunan temellerin yenilmesi, üst donatı alttaki donatısız alana göre daha geniş ve donatı gömülme oranının ( $L/B$ ) çok küçük olduğu donatılı alanda zımbalama yenilmesi, donatısız alanda ise genel yenilme olarak oluşmaktadır. (Şekil 4.11c.). Bu tip yenilme, ilk olarak Meyhorf ve Hanna (1978) tarafından sunulmuş ve altta zayıf üstte güçlü zemin şartları esas alınmıştır. Bu tip yenilmeyi, Wayne ve diğerleri (1998), yeniden tanımlamıştır. Makaslama kuvveti  $F_T = \sum T_i \tan \emptyset$  olarak ifade edilir. Burada seviye sınırı  $i$ , donatı çekme kuvveti  $T$ , sürtünme açısı  $\emptyset$  olarak ifade edilir.

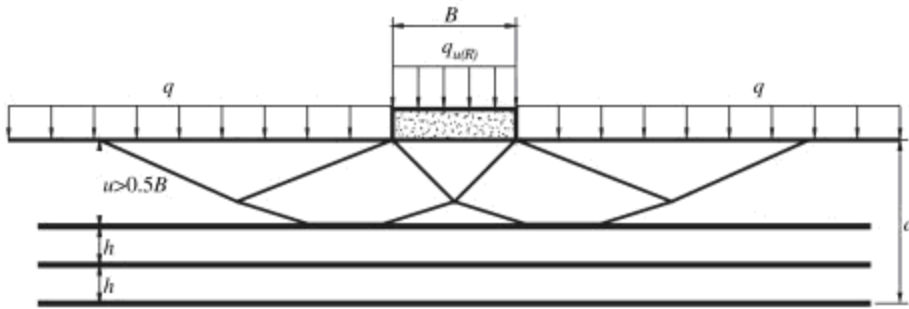
Donatılı zeminde şerit temelin taşıma gücü,

$$q_{u(R)} = q_{u(b)} + \frac{2c_a L}{B} + \gamma_t L^2 \left( 1 + \frac{2D_f}{L} \right) \frac{K_s \tan \emptyset_t}{B} + \frac{2 \sum_{i=1}^N T_i \tan \emptyset}{B} - \gamma_t L \quad (4.20)$$

Burada; donatılı zemindeki nihai taşıma gücü  $q_{u(R)}$ , alttaki donatısız zemin nihai taşıma gücü  $q_{u(b)}$ , donatılı alanın birim hacim ağırlığı  $\gamma_t$ , temel derinliği  $D_f$ , zımbalama katsayısı  $K_s$ , donatılı alanda içsel sürtünme açısı  $\emptyset_t$ , donatı sayısı  $N$  olarak ifade edilmiştir.

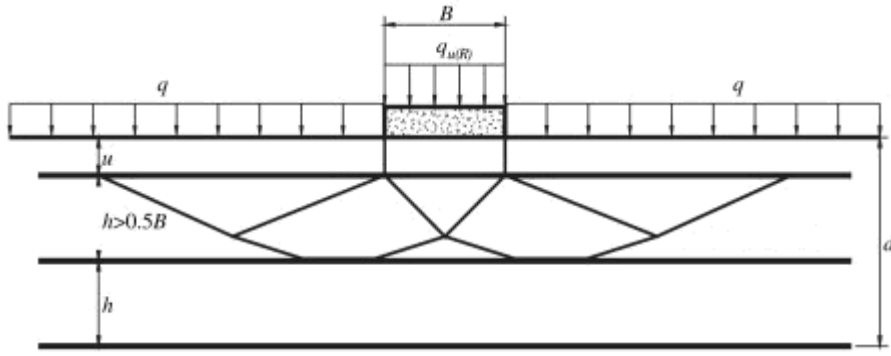
Donatılı zeminde kare temel taşıma gücü,

$$q_{u(R)} = q_{u(b)} + \frac{4c_a L}{B} + 2\gamma_t d^2 \left( 1 + \frac{2D_f}{L} \right) \frac{K_s \tan \emptyset_t}{B} + \frac{4 \sum_{i=1}^N T_i \tan \delta}{B} - \gamma_t L \quad (4.21)$$

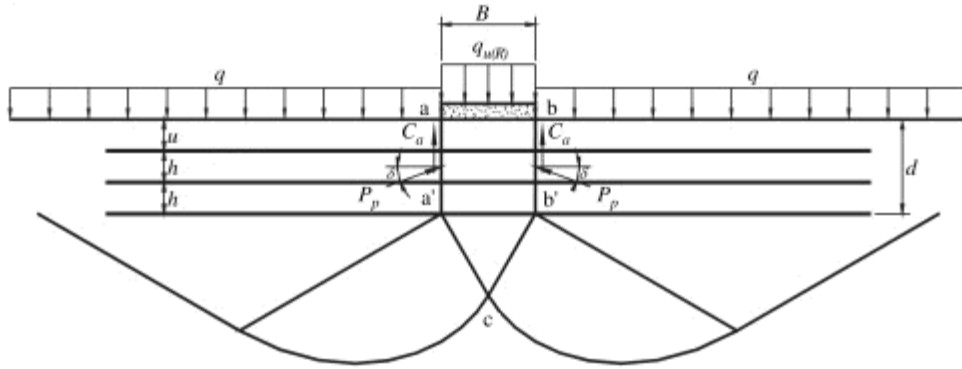


a) Üst donatının üzerinde oluşan yenilme (Binquet ve Lee 1975a, 1975b)

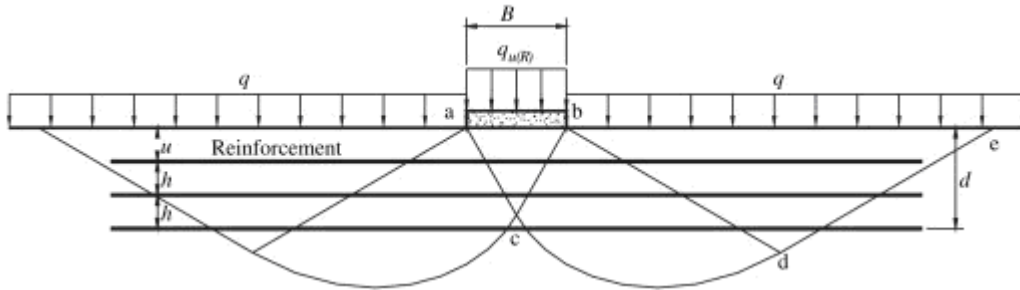
Şekil 4.11. Yenilme mekanizmaları



b) Donatılar arasında oluşan yenilme (Wayne ve diğerleri, 1998)



c) Katmanlı zemin sisteminde yenilme (Wayne ve diğerleri 1998)



d) Katmanlı zemin sisteminde yenilme (Wayne ve diğerleri 1998)

Şekil 4.11. (devamı)Yenilme mekanizmaları

b)Donatılı alanda yenilme, donatılı alanın taşıma gücü, donatısız alandan biraz fazla yada donatı gömülme oranı ( $L/B$ ) biraz büyükse oluşur. Bu tip yenilmede, süper pozisyon prensibi uygulanır ve donatı taşıma gücüne etkisi  $\Delta_{qr}$  olarak ifade edilir.

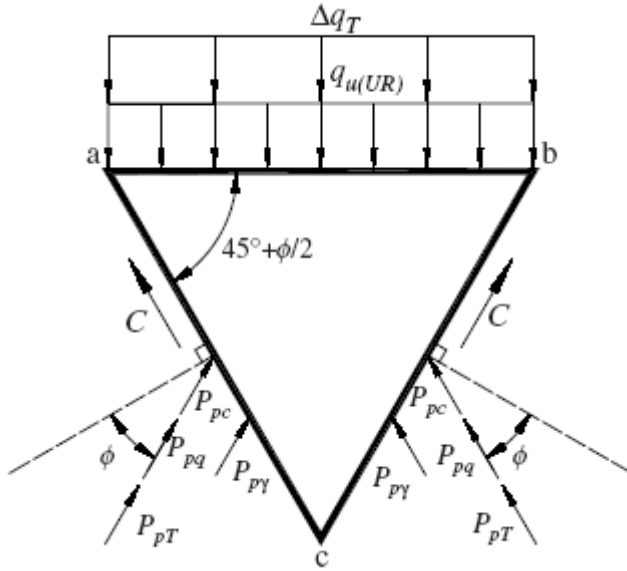
Şerit temelin taşıma gücü;

$$q_{u(R)} = q_{u(UR)} + \Delta_{qT} = cN_c + qN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma + \Delta_{qT} \quad (4.22)$$

Burada; donatısız zemin taşıma gücü  $q_{u(UR)}$ , donatı çekme kuvvetine bağlı taşıma gücü artışı  $\Delta q_T$ , örtü yükü  $q$ , kohezyon  $c$ , zemin birim hacim ağırlığı  $\gamma$ , boyutsuz taşıma gücü faktörleri  $N_c, N_q, N_\gamma$  olarak ifade edilir.

(Şekil 4.12)'de, abc zemin bölmesine etkiyen örtü  $q$ , kohezyon  $c$ , birim hacim ağırlık  $\gamma$ , donatı çekme kuvveti nedeniyle oluşan pasif kuvvetlerin bileşkesi  $P_p$ , olarak ifade edilir.

$$P_p = P_{pc} + P_{pq} + P_{p\gamma} + P_{pT} \quad (4.23)$$

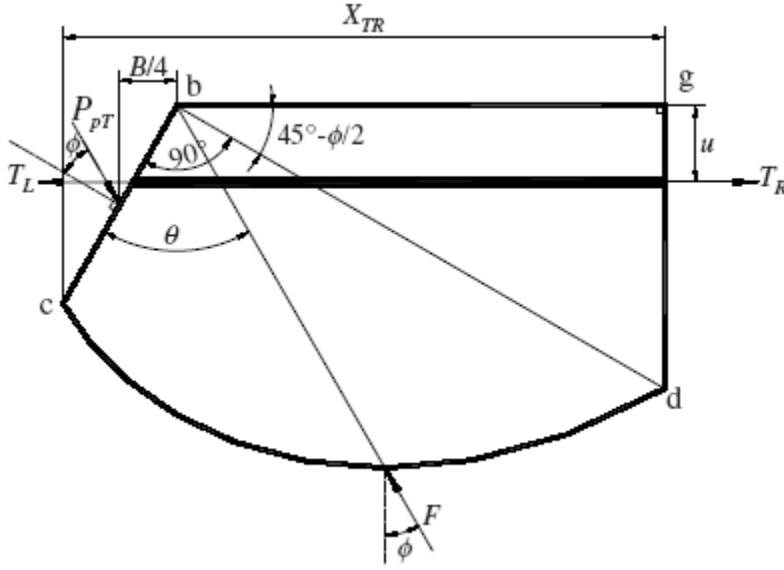


Şekil 4.12. Zemin kamasının serbest gövde diyagramı ( Sharma ve diğerleri, 2009)

Aşağıdaki eşitlikler(Şekil 4.13)da Sharma ve diğerleri, (2009) tarafından esas alınarak oluşturulmuştur.

$$r = r_0 e^{\theta \tan \phi} \quad (4.24)$$

Burada,  $r_0 = bc$  ve  $\theta = bc$  ile  $cd$  arasındaki açıdır.



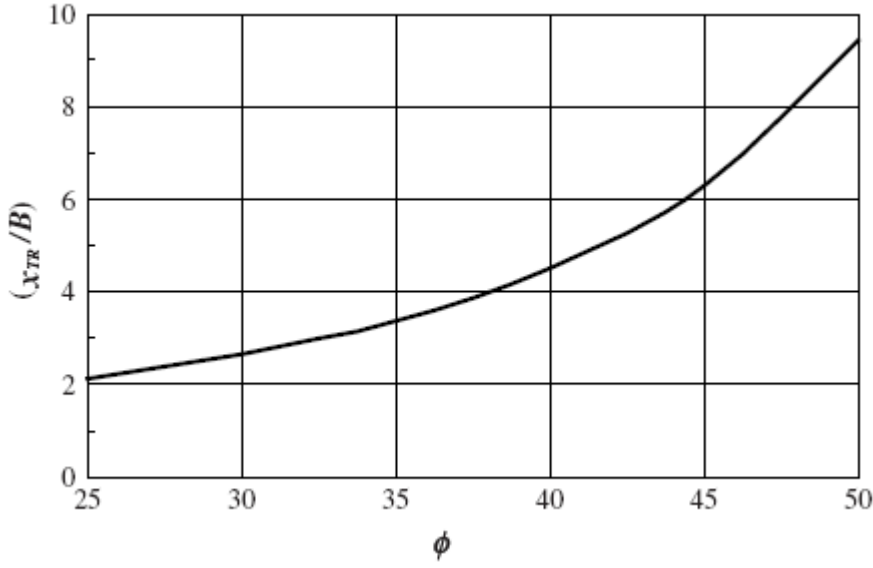
Şekil 4.13. bcdg zemin kamasının serbest gövde diyagramı (Sharma ve diğerleri, 2009)

Temel merkezine olan mesafe  $X_{TR}$ , zeminin içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu olan ve temel genişliği  $B$  ile olan oranın sürtünme açısıyla ilişkisi gösterilmiştir (Şekil 4.14). Donatı çekme kuvvetleri  $T_L$  ve  $T_R$  ye göre donatı çekmesine bağlı pasif basınç hesabı aşağıda verilmiştir.

$$P_{PT} = \frac{4(T_L - T_R)u \cos(\pi/4 + \phi/2)}{B \cos \phi} \quad (4.25)$$

Eşitlik (4.25)'den hareketle, donatı etkisiyle oluşan taşıma gücünde gelişen artışı ifade eden eşitlik (4.26) aşağıda verilmiştir.

$$\Delta_{qT} = \frac{2P_{PT} \sin(\pi/4 + \phi/2)}{Bx1} = \frac{4(T_L - T_R)u}{B^2} \quad (4.26)$$



Şekil 4.14. Zemin sürtünme açısı  $\phi$ ,  $X_T$  ile değişimi (Sharma ve diğerleri. 2009)

$$\Delta_{qT} = \frac{4T_L u}{B^2} = \frac{4T_u}{B^2} \quad (4.27)$$

$$\Delta_{qT} = \sum_{i=1}^N \frac{4T_i [u + (i-1)h]}{B^2} \quad (4.28)$$

Şerit ve kare temeller için taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda sırasıyla ifade edilmiştir.

$$q_{u(R)} = cN_c + qN_q + 0.5\gamma B N_\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{4T_i [u + (i-1)h]}{B^2} \quad (4.29)$$

$$q_{u(R)} = 1.3cN_c + qN_q + 0.5\gamma B N_\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{12T_i [u + (i-1)h] r_T}{B^2} \quad (4.30)$$

$$r_T = \begin{cases} u + (i-1)h < \frac{2}{B} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \text{ için} & \left[1 - 2 \frac{u + (i-1)h}{B} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)\right] \\ u + (i-1)h \geq \frac{2}{B} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \text{ için} & \frac{1}{2} - \frac{u + (i-1)h}{2H_f} \end{cases} \quad (3.46)$$

$$H_f = \frac{B}{2 \cos(\pi/4 + \phi/2)} e^{(\pi/4 + \phi/2) \tan \phi} \cos \phi \quad (4.31)$$

Burada; yenilme yüzey derinliği  $H_f$ 'dir. Donatı çekme kuvvetinin hesabı için Schmertman ve diğerleri (1978) tarafından aşağıda sunulan eşitlikten faydalanılmıştır.

$$S_e = C_1 C_2 C_3 (q - \gamma D_f) \sum \frac{I_E \Delta_z}{E_s} \quad (4.32)$$

Burada; derinlik  $C_1$ , ikincil kabarma  $C_2$ , temel şekil düzeltme faktörü  $C_3$ , sürşarj yükü  $q$ , birim hacim ağırlık  $\gamma$ , temel derinliği  $D_f$ , deformasyon etki faktörü  $I_E$ , bölünen zemin katman kalınlığı  $\Delta_z$ , kum elastisite modülü  $E_s$ 'dir.

Oturma ve birim şekil değiştirme davranışları şekil 4.15'de kum, şekil 4.16'da kil zemin için gösterilmiştir. Ortalama ve en fazla birim deformasyon ve donatı çekme kuvvet eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{ort} = \frac{L_{ab} + L_{bc} + L_{cd} - L_{ad}}{L_{ad}} \quad (4.33)$$

$$L_{ab} = L_{cd} = \sqrt{S_e^2 + (z/2)^2} \quad (4.34)$$

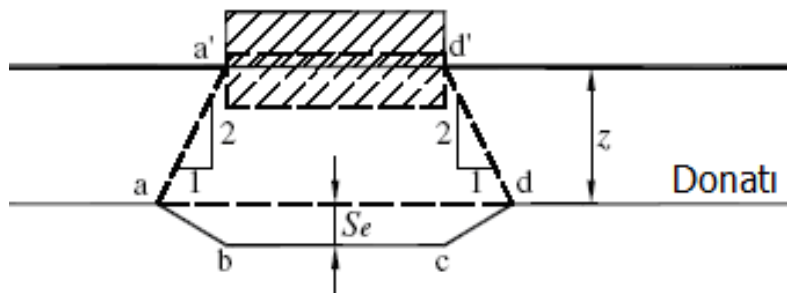
$$L_{bc} = B \quad (4.35)$$

$$L_{ad} = B + z \quad (4.36)$$

$$\varepsilon_{max} = 2\varepsilon_{ort} \quad (4.37)$$

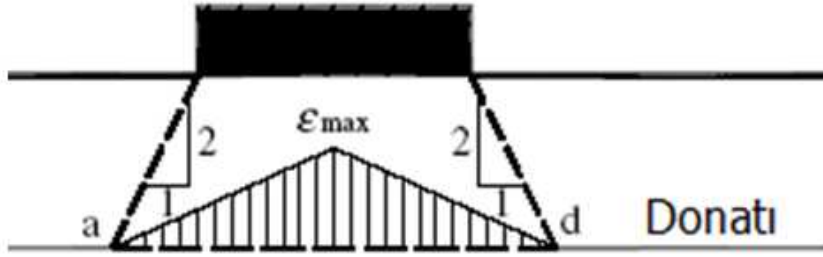
$$T = J\varepsilon \quad (4.38)$$

Burada, donatı çekme modülü  $J$ 'dir. Sharma ve diğerleri (2009) sayısal sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğunu gözlemişlerdir.



Şekil 4.15. Kumda düşey oturma davranışı (Sharma ve diğerleri, 2009)





Şekil 4.16. Kilde birim deformasyon dağılımı (Sharma ve diğerleri, 2009)

#### 4.2.7. Sayısal analizlerle ilgili önceki çalışmalar

Karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan etkin matematiksel yöntemlere sayısal analiz adı verilir. Sayısal analiz yöntemlerinden en yaygın kullanılanlardan biride sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi, donatılı zemin problemlerinin çözümünde kullanıldığı gibi, inşaat mühendisliğinin daha birçok dalında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Donatılı zemin sistemlerinin performansı; hem zemin ve donatı özelliklerine, hem de zemin ve donatı arasındaki etkileşime bağlıdır. Buradan hareketle, sonlu elemanlar yöntemiyle donatılı zeminlerin tasarımı, donatısız zeminlere göre daha karmaşıktır. Geçmiş dönemde donatılı zeminlerin çekme gerilmeleri karşısındaki davranışlarını modellemek amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemiyle donatılı zemin davranışını modelleyenler örneğin; Yetimoğlu ve diğerleri, (1994); Kurian ve diğerleri (1997); Yamamoto ve Otani,(2002); Maharaj,(2002)'dir. Donatılı zemin davranışının sayısal olarak modellendiği çalışmalar iki grupta toplanır.

Birinci sayısal analiz grubunda zemin ve donatı ayrı iki bileşen olarak ele alınmıştır (Yetimoğlu ve diğerleri, 1994; Kurian ve diğerleri, 1997; Maharaj, 2002). Donatı elemanı genelde doğrusal elastik bir malzeme gibi tasarlanmıştır. Duncan-Chang Modeli (Kurian ve diğerleri, 1997), Drucker-Prager Modeli (Maharaj, 2002) ve Modifiye Duncan Hiperbolik Modeli (Yetimoğlu ve diğerleri, 1994) kullanılarak, farklı araştırmacılar tarafından zemin davranışı modellenmiştir. Zemin donatı ara yüzeyini modellemek için genelde sınırlandırma yaklaşımı ve ara yüzey eleman yaklaşımı olmak üzere iki farklı yaklaşım modeli temel alınmıştır. Sınırlandırma yaklaşımında zeminle donatı arasında

düşey doğrultuda herhangi bir ayrılmanın olmadığı, teğet doğrultusunda ise kaymanın olabileceği kabul edilmiştir. Ara yüzey elemanı yaklaşımında düğüm noktalarının çakışmasını önlemek için normal rijitlik değeri genelde büyük değerler almaktadır.

İkinci sayısal analiz grubunda donatılı zemin sistemi, eşdeğer homojen sürekli bir alan olarak kabul edilmiştir. Yamamoto ve Otani (2002), tarafından donatılı kum zemin davranışı, donatı etkisi hayali kohezyon değerinde ele alınarak Drucker-Prager Modeli (Maharaj, 2002) ile modellenmiştir. Modellemede temsili kohezyon (gerçek kohezyon; tamamen zemin taneleri arasındaki bağın sonucudur) değeri aşağıda ifade edilmiştir.

$$C_R = \frac{T\sqrt{K_p}}{2h} \quad (3.55)$$

Burada; temsili kohezyon  $C_R$ , donatılar arası mesafe  $h$ , donatının çekme dayanımı  $T$ , pasif toprak basıncı katsayısı  $K_p$  olarak ifade edilir ( $= \tan^2(45 + \varphi/2)$ ). Aşağıdaki paragraflarda konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara ana hatlarıyla değinilmiştir.

*Ismail ve Raymond (1995)* tarafından tek katman jeogrid donatı kullanılarak güçlendirilmiş zeminlerde donatının taşıma gücüne etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve zemin davranışı genişletilmiş hiperbolik zemin modeliyle modellenmiştir. Analizde donatılı ve donatısız kum zeminler üzerine oturan 20cm genişliğindeki şerit temele etkiyen yükün eksantrik ve belirli bir açıyla eksantrik olmayan şekilde etkimesi incelenmiştir ve altı farklı donatı derinliği kabul edilmiştir. Analizlerde donatı ile zemin arasında sıyrılma olmadığı kabul edilmiş ve ara yüz eleman kullanılmamıştır. Deneysel çalışmalar, donatı seviyesinin temelin taşıma gücü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yükün eksantrik olması veya yükün eğim açısının artmasıyla taşıma gücü artış oranında arttığı gözlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçlarının ve jeogrid donatı kullanılarak güçlendirilmiş zeminde taşıma gücü deney sonuçlarının bir uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

*Kurian ve diğerleri (1997)* tarafından donatılı kum zemine oturan temeller sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan malzeme davranışı dikkate alınmıştır. Sayısal analiz sonuçları, 200x300x18mm çelik temele eşit deney

sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Zemini modellemek için ağ elemanında 904 düğüm, 8 düğümlü blok eleman, donatıyı modellemek için de üç boyutlu kafes eleman kullanılmıştır. Sayısal analizde ilk olarak, donatı ve zemin homojen bir yapı olarak ele alınmıştır. Ancak daha gerçek sonuçların elde edilmesi için donatı elemanları ile zeminin ayrı ayrı modellenmesi gerektiğine karar vermiştir. Bu durumda, donatı ile zemin arasında sürtünmeden dolayı oluşan etkileşimin sayısal analizde ara yüzey elemanları kullanılarak doğru bir şekilde modellenmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Sayısal analizde, Goodman elemanı esas alınarak geliştirilen geometrik-doğrusal üç boyutlu ara yüzey elemanları kullanılmıştır. Kum zemine ait gerilme-birim deformasyon davranışı Duncan-Chang modeliyle modellenmiş, temel ve donatı doğrusal elastik eleman olarak kabul edilmiştir. Hiperbolik model değişkenlerini elde etmek için deney kumu üzerinde farklı hücre basıncı ile üç eksenli deneyler yapılmıştır. Ara yüzey elemanların doğrusal olmayan davranışı, zeminde olduğu gibi hiperbolik ilişki kullanılarak ifade edilmiştir. Model deneylerde farklı donatılar için farklı ara yüzey elemanları tanımlanmış ve hiperbolik parametreler de zemin makaslama deneyi yapılarak tayin edilmiştir. Kurian ve diğerleri (1997) tarafından yapılan çalışmada kum zemine ait efektif çap ( $D_{10}$ ) 0.23mm, üniformluk katsayısı ( $C_u$ ) 1,34 ve poisson oranı ( $\nu$ ) ise 0,3 olarak alınmıştır.

İçsel sürtünme açısı  $38^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Sayısal analizler yük artışıyla yapılmış oturma-yük grafikleri elde edilmiştir. Farklı donatı oranı ve yerleşim düzeni için analiz ve deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

*Kurian ve diğerleri. (1997)* tarafından donatılı kum zeminler donatısız kum zeminlerle karşılaştırılmış, donatılı zeminde oturmaların daha az olduğu tespit edilmiştir. Sayısal analiz sonuçları, donatılı kum zeminlerde başlangıç yükleme seviyelerinde oturmada küçük bir artış elde edildiğini göstermiştir. Bu durum, Kurian ve diğerleri. (1997) tarafından uygulanan yük miktarının, donatı ile zemin arasındaki sürtünmeyi aktif hale getirmediği düşünülmüştür. Zemin ve donatı arasındaki bağıl yer değiştirme-yük arttıkça arttığı, donatı derinliği arttıkça ise azaldığı ifade edilmiştir. Zemin-donatı ara yüzeyindeki en büyük makaslama gerilmesi, bağıl uzaklığın ( $x / B$ ) temelin merkezinden yaklaşık 0,5 olduğu durumda olduğu ifade edilmiştir. Donatıda en büyük çekme gerilmesinin temel merkezinde olduğu ve temel merkezinden uzaklaştıkça çekme gerilmesinin azaldığı ifade edilmiştir. Donatısız durumla karşılaştırıldığında, donatılı zeminde düşey gerilme

dağılımının temel altında düşey yönde hareket ettiği ifade edilmiştir. Bu durumdan, gerilmenin daha derinlere doğru yayıldığı sonucu çıkmaktadır.

*Otani ve diğerleri (1998)* tarafından jeosentetik donatılı kohezyonlu zeminler üzerine oturan esnek üniform şerit temellerin taşıma gücü rijit plastik sonlu eleman yöntemiyle incelenmiştir. Plastisite kuramının üst sınır teoremi esas alındığı bu yöntemde taşıma gücü, limit durumdaki yük faktörü olarak tanımlanmıştır. Donatı elemanı ve bunu çevreleyen kum malzemesi, eşdeğer bir kohezyona sahip tek bir kompozit malzeme olarak kabul edilmiştir. Zemin alt seviyesindeki yumuşak zemin tamamen kohezyonlu kabul edilmiş ve donatılı zemin ile yumuşak zemin Von-Mises yenilme kabulüne göre modellenmiştir. Analiz yöntemi ilk olarak donatısız zeminler için Prandtl çözümleriyle ( $q_u = 5,14 c_u$ ) karşılaştırılmıştır. Modellemeden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiş ve yorumlanmıştır. Taşıma kapasitesini veya yenilme yükünü belirlemek için birçok yöntem vardır. Donatılı zeminlerin taşıma gücü jeosentetik tabaka sayısının yanı sıra, donatı derinliği ve donatı boyuna da bağlıdır (Ochiai ve diğerleri, 1992; Otani ve Yamamoto, 1996). Donatı zemin için yapılan analizde, donatı sayısı, boyu ve derinliği değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiş ve yorumlanmıştır.

Yapılan analizlerden donatısız durum için plastik akmanın yükün uygulandığı köşede yoğunlaştığı, donatılı durumda ise uygulanan yükün altında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca donatılı halde akma daha geniş bir alanı kaplamakta ve taşıma gücü artmaktadır. Bunun yanı sıra, derin ve uzun donatılandırmanın da taşıma gücünü artırdığı tespit edilmiştir. Donatı çekme gerilmesi büyüdükçe donatılandırma etkisinin de arttığı bu çalışmadaki diğer saptamadır.

Maharaj (2002) tarafından donatılı kil zeminlere oturan şerit temellerin davranışı sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. İki boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analiziyle donatı sayısı ve boyu, ilk donatı derinliği, donatılar arası mesafe gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Temel ve zemin dört düğümlü izoparametrik sonlu elemanlarla, donatı ise dört düğümlü tek boyutlu izoparametrik elemanlarla modellenmiştir. Kil zemini modellemek için Drucker-Prager akma değişkeni kullanılmış ve temel ve donatı doğrusal elastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Kil zeminin kohezyonu değeri 10,84 kPa, elastisite modülü 13000 kPa, Poisson oranı 0,45 ve sürtünme açısı  $0^\circ$  olarak alınmıştır. Modelde donatı rijitliği (J) 500, 2000, 5000 ve 20000kN/m olarak alınmıştır.

Yapılan sayısal analizden;

- 1) Tek donatı kullanılması durumunda, ilk donatı derinliğinin ( $u$ )  $0,125B$ ,
- 2) Efektif donatı boyunun ( $l$ ) yaklaşık  $2,0B$ ,
- 3) Etki derinliğinin, donatı rijitliğine bağlı,
- 4) Donatı rijitliği arttıkça temel oturmasının azaldığı azalır, belirlenmiştir.

*Yamamoto ve Otani (2002)* tarafından donatılı taneli zeminin yenilme mekanizması ve taneli malzemelerin taşıma gücü rijit-plastik sonlu eleman analizi yapılarak incelenmiş ve sayısal analizler ve taşıma gücü deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sayısal analizlerde donatılı zemin kompozit bir malzeme gibi modellenmiştir. Deneylerde donatı malzemesi olarak alüminyum çubuklar kullanmıştır. Deneyde plaka üzerindeki yüklem arttırılarak yapılmıştır. Zemin-donatı sistemi Drucker-Prager modeli kullanılarak modellenmiştir. Deney sonuçlarının geri analizinden zeminin kohezyonu  $0,49$  kPa ve içsel sürtünme açısı da  $25^\circ$  olarak belirlenmiştir. Aynı oturma oranında ( $s / B$ ) donatılı zeminde gözlenen plastik akma alanının, donatısız zeminde gözlenen plastik akma alanından daha geniş ve daha derinlerde olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle, donatılı zeminin taşıma gücünün arttığı sonucuna ulaşılabilir. Donatı boyu arttıkça, plastik akma bölgesinin daha geniş alana yayıldığı tespit edilmiştir. Deney ve analiz sonuçları arasında uyum olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer durum, eşdeğer plastik deformasyonlara ait kontur dağılımları içinde elde edilmiştir.

*Yıldız (2002)* tarafından jeogrid ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan dairesel temellerin taşıma gücünü sonlu elemanlar yöntemini esas alan PLAXIS 7.2 bilgisayar yazılımı kullanılarak 2 boyutlu ve eksenel, simetrik koşullarda sayısal çözümü yapılmıştır. Sayısal analizlerde kum zeminin davranışı elasto-plastik pekleşme zemin modeli ele alınmıştır. Analizde, ilk donatı tabakası yeri, donatılar arası düşey uzaklık, donatı tabaka sayısı ve boyu için hesaplamalar yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yenilme mekanizması ve donatılı zeminin davranışı incelenmiştir. Analiz sonuçları ile kare temeller üzerinde yapılan deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan analizden; ilk donatı tabakası derinliği ( $u$ ), donatı tabaka sayısı ( $N$ ), donatı tabaka boyu ( $B_R$ ) değişiminin taşıma gücüne etkisi belirlenirken ilk donatı derinliği  $u/B=0,30$ ,

donatı tabakaları arasındaki mesafenin  $h/B=0,20-0,30$  arasında seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca optimum donatı katman sayısı ve boyu ise, sırasıyla 4B ve 3B olarak önerilmiştir. Gerekli koşullar sağlandığında donatılı zeminin taşıma kapasitesinde yaklaşık 3-4 kat artış elde edildiği ifade edilmiştir.

*Laman ve Yıldız (2003)* tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, jeogrid ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan ring temellerin taşıma kapasitesi sonlu elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS bilgisayar programı ile incelenmiştir. Bu analiz ile Laman ve Yıldız (2003) tarafından elde edilen deneysel sonuçlar benzerlik göstermektedir. Ek olarak, donatı rijitliğinin belli bir değerin altında olması durumunda donatı ile ilgili optimum değerler üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

*Deb ve diğerleri (2007)* tarafından düzlem deformasyon koşullarında, yumuşak zemin üzerine taneli dolgu katmanının taşıma gücüne etkisi Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) programı kullanılarak incelenmiştir. Taneli ve yumuşak zemin tabakaları, farklı makaslama modülleri ve farklı rijitlikteki yay sabitleri ile temsil edilmiştir. Granüler dolgu, yumuşak zemin ve jeosentetik donatılar doğrusal elastik malzemeler olarak modellenmiştir. 6m derinliğinde yumuşak zemin kalınlığı ve 1m kalınlığında taneli dolgu esas alınmıştır.

Donatı aralıkları 0,25m, donatı sayısı (N) 1' den 3'e kadar değiştirilerek taşıma gücü ve oturma değerleri belirlenmiştir. Yapılan analizden; tek sıra donatılı modelde meydana gelen oturma azalması %8,5, iki sıralı donatılı modelde meydana gelen oturma azalması %12,2, üç sıra donatılı modelde meydana gelen oturma azalması %14,5 sonuçları bulunmuştur. Bu sonuçlar ışığında donatı katman sayısı arttıkça oturmanın azaldığından bahsedilebilir. Bu analizden elde edilen bir başka sonuç ise temel merkez eksenine yakın ve  $z/B < 0,375$  olduğu durumda meydana gelen düşey gerilmelerin donatı katman sayısı arttıkça azaldığıdır. Oturmalar donatı eksenel rijitliğinin (stiffness) 4000-5000 kN/m değerine kadar azalmış ve jeosentetik tabakalardaki çekme artmıştır. 5000 kN/m'den daha büyük rijitliklerin temel oturmasını etkilemediği gözlenmiştir.

#### 4.2.8. Deneysel çalışmalar

Bu bölümde geçmiş yıllarda farklı araştırmacılar tarafından yapılan model deneyler incelenmiş, jeogrid ile güçlendirilmiş zeminlere oturan temellerin taşıma gücü ile ilgili yapılan deneysel çalışmaları konu alan yayınlar özetlenerek değerlendirilmiştir.

*Akinmusuru ve Akinbolade (1981)* tarafından yapılan model deneylerde bitkisel lifli yassı şeritler donatı olarak kullanmışlardır. Yapılan deneylerle donatılı kumlu zemin üzerine oturan kare temellerin taşıma gücü araştırılmıştır. Çalışmada ilk donatı derinliği ( $u$ ) ve donatı sayısının ( $N$ ) taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır. Yatay donatı aralığının ( $h$ ), taşıma gücüne etkisi  $h/B$  oranı 0,50 ile 1,5 arasında değiştirilmiş, en yüksek taşıma gücü değeri  $h/B=0,50$  durumunda elde edilmiştir. Donatı tabaka sayısının ( $N$ ) taşıma gücüne etkisi;  $u/B=0,75$  ve  $h/B=0,50$  sabit alınırken  $N=1$ 'den 5'e arttırılmıştır.  $N=3$ 'e kadar taşıma gücünün hızla arttığı, bu tabaka sayısından sonra ise, taşıma gücünde önemli bir düzeyde bir artışın önemli bir derecede olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, donatılar arasındaki yatay ve düşey uzaklık ile en üstteki donatının derinliği  $0.5B$  ve en uygun değer donatı tabaka sayısı  $N=3$  olarak alındığında, taşıma gücündeki artışın 3 kat olduğu belirtilmiştir.

*Omar ve diğerleri (1993a)* tarafından model deneyler yapılarak jeogrid ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan şerit ve kare temellerin taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler ile en yüksek taşıma güçleri oranı (BCR) için donatı tabakalarının yerleşim derinlikleri ve boyutları belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, deney sonuçlarına göre şerit ve kare temeller arasında karşılaştırma yapılmıştır. Model deneyler kare (76,2 mmx76,2 mm) ve şerit temeller (76,2 mmx304,8 mm) için yapılmıştır. Deneyler sonunda, en büyük BCR'yi veren toplam efektif donatı derinliği şerit temellerde  $2B$ , kare temellerde ise,  $1,4B$  olarak bulunmuştur. Maksimum BCR'i veren donatı tabaka genişliğinin ise şerit temellerde  $8B$  ve kare temellerde  $4,5B$  olduğu belirlenmiştir. İlk donatı derinliği için optimum bir  $u/B$  oranı verilmemiş, ancak donatıların efektif olarak çalışması için ilk donatı derinliğinin  $1B$ 'den küçük alınması önerilmiştir.

*Omar ve diğerleri(1993b)*daha önce yaptıkları bir çalışmanın devamı niteliğinde olan jeogrid ile güçlendirilmiş kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Model deneyin temel plak genişliği ( $B/L=$  Şerit temel, 0.33, 0.50, 1.00)

dikdörtgen temelde, kumun birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve donatı tipi sabit tutularak jeogrid donatılı kumun taşıma gücünün bağlı olduğu parametreler incelenmiştir. B/L oranı azaldıkça kritik toplam donatı derinliği artmaktadır. Şerit temellerde bu değer 2B, kare temellerde 1,2B olarak bulunmuştur. Toplam kritik donatı derinliğinden daha büyük derinliklerdeki donatıların taşıma gücüne önemli bir katkı sağlamadıkları vurgulanmıştır.

*Das ve Omar (1994)* model deneyler yaparak jeogrid donatılı kum zeminde şerit temellerin genişliğinin taşıma gücü oranı (BCR) üzerindeki etkilerini ve oturma davranışını araştırmışlardır. Çalışmada, temel genişliği ve kumun sıklığı değiştirilerek, bu değişkenlerin taşıma gücü oranını nasıl değiştirdiği saptanmaya çalışılmıştır. Deneylerde uzunlukları sabit ( $L=304,8$  mm) ve altı farklı genişliğe sahip (50,8 mm; 76,2 mm; 101,6 mm; 127 mm; 152,4 mm ve 177,8 mm) şerit temel modelleri kullanılmıştır. Kum zemin  $D_r=(\%55, \%65, \%75)$  rölatif sıklık oranlarında yerleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre; rölatif sıklık arttıkça taşıma gücü 2,5-4,1'den 3-5,4 değerleri arasına kadar yükselmiştir. Taşıma gücü oranı temel genişliği arttıkça 4,1-5,4'den 2,5-3 değerleri arasına inmiştir. Rölatif sıklık  $D_r=\%55$  için  $BCR=2,5$ ;  $D_r=\%65$  için  $BCR=2,9$  ve  $D_r=\%75$  için  $BCR=3$  bulunmuştur. Özetle; taşıma gücü oranı (jeogrid donatılı zeminde elde edilen taşıma gücünün, donatısız zeminde elde edilen taşıma gücüne oranı) ile temel genişliğinin (B) ters orantılı oldukları görülmüş ve temel genişliğinin artması ile birlikte taşıma gücü oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

*Shin ve diğerleri (2002)* tarafından, jeogrid donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücü araştırılmıştır. Deneylerde çok tabakalı jeogrid donatılı orta sıklıkta sıkıştırılmış kum zemin üzerine oturan şerit temelin farklı derinlikteki ve yüzey temel koşulları göz önünde tutularak taşıma gücü oranı (BCR) değerleri incelenmiştir. Deneyler, temel derinliğine bağlı olarak ( $D_f/B=0, 0,3$  ve  $0,6$ ), üç grupta yapılmış ve model temel boyutları  $172 \times 67$  mm<sup>2</sup> seçilmiştir. Deneylerde, ilk donatı derinliği (u), donatılar arası mesafe (h) ve donatı uzunluğu (b) sabit tutulurken, donatı sayısı (N) 1'den 6'ya kadar değiştirilmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak, farklı donatı sayılarında taşıma gücü ve oturma davranışlarına en büyük katkının  $D_f/B = 0,6$  durumunda erişilebileceği belirlenmiştir.



*Patra ve diğeri (2005)* jeogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücünü model deneyler yaparak incelemişlerdir. Model deney tankı 0,8 m x 0,365 m x 0,7 m boyutlarında yumuşak çelikten yapılmıştır. Deneyde içsel sürtünme açısı  $41^\circ$  ve rölatif sıklığı %71 olan doğal kum ile tekyönlü TENSAR BX1100 jeogrid donatı kullanılmıştır. Donatılı zeminler üzerinde yapılan tüm deneylerde boyutsuz parametreler;  $u/B=0,35$   $h/B=0,25$ ,  $b/B=5$  olarak alınmıştır. Deneyler sonucunda sadece temelin yüzeyden itibaren belirli mesafelere gömülerek diğeri parametreler sabit olacak şekilde BCR değerleri hesaplanmıştır. Gömülme arttıkça ( $D_f/B=0-1$  arasında) taşıma gücü oranının (BCR) da arttığı görülmüştür.

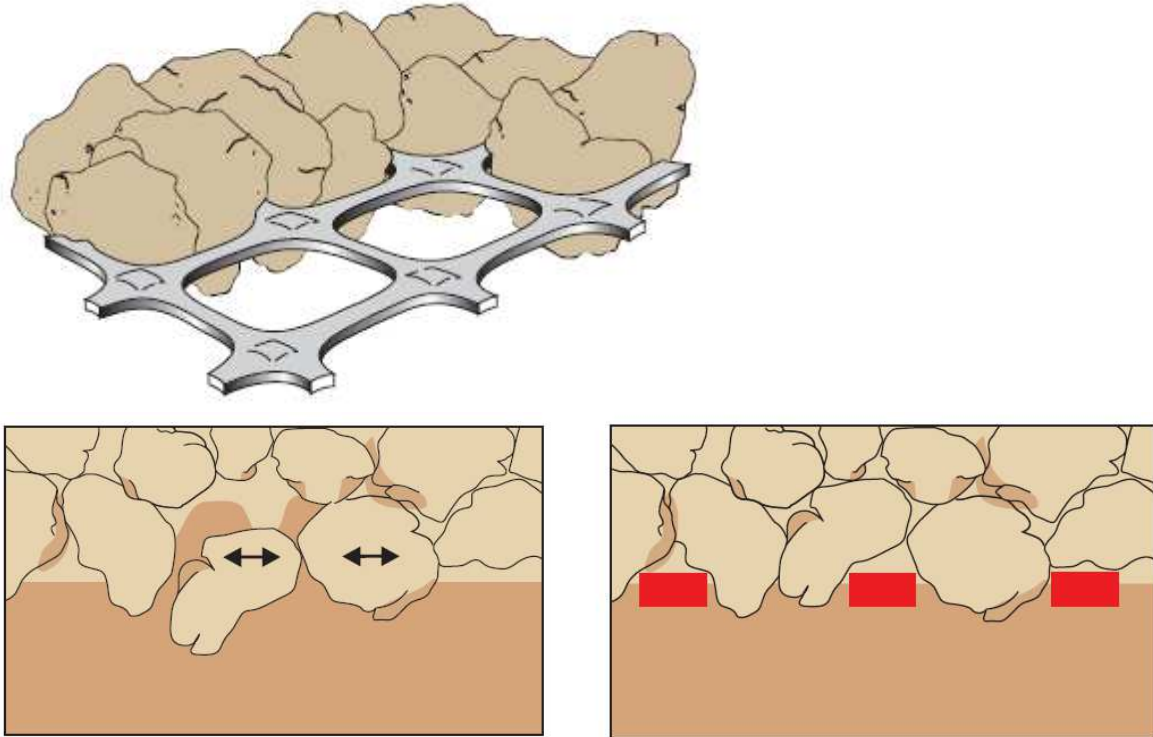
*Al-Mosawe ve diğeri (2010)* tarafından jeogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan kare temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Model deney tankının boyutları 0,6 m x 0,6 m x 0,7 m ve model temel olarak kullanılan çelik kare plakanın genişliği 60 mm olarak seçilmiş ve kum zemin tanka rölatif sıklığı %31 oranında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneylerde ilk donatı derinliği ( $u=0,75B$ ) ve donatılar arası uzaklık ( $h=0,50B$ ), sabit parametreler ve donatı sayısı (N) ve yük eksantrisitesi (e) değişken parametreler olarak planlanmış olup, deneyler 1 ve 2 tabaka donatı serilmesi durumunda yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, taşıma gücü iyileştirme derecesi N=1 durumunda yapılan deneylerde %20 ve N=2 durumunda yapılan deneylerde ise %47,50 olarak elde edilmiştir.



## 5. YOL YAPILARINDA JEGRID KULLANIMI

Yol yapılarında kullanılan jeogridlerin temel olarak donatı ve ayırma gibi iki işlevi vardır. Geniş gözenekli olması nedeniyle jeogridler, benzer özellikteki malzemelerin ayrılmasında kullanılmazlar. Bu nedenle ayırma özelliği jeogridlerin ikincil işlevidir. Jeogridlerin esas işlevi zeminin mühendislik özelliklerini arttırdığı güçlendirme ve donatı özellikleridir.

Tabakaların güçlendirilmesinde jeogrid malzemelerin etkili olmasının kritik noktası başarılı bir mekanik kilitleme mekanizması oluşturmasıdır (Şekil 5.1). Jeogridler mevcut açıklıklarından sızarak telleri arasında kilitlenen zemin parçacıklarının kenetlenmelerinden yararlanarak taşıma performanslarını artırır. Parçacıkların bu kenetlenmesi güçlü bir yatay makaslama direnci oluşturur ve böylelikle zeminin taşıma gücü de arttırılmış olur (Demir, 2011).



Şekil 5.1. Jeogrid ve zemin arasındaki kilitleme mekanizması (Tensar, 2003)

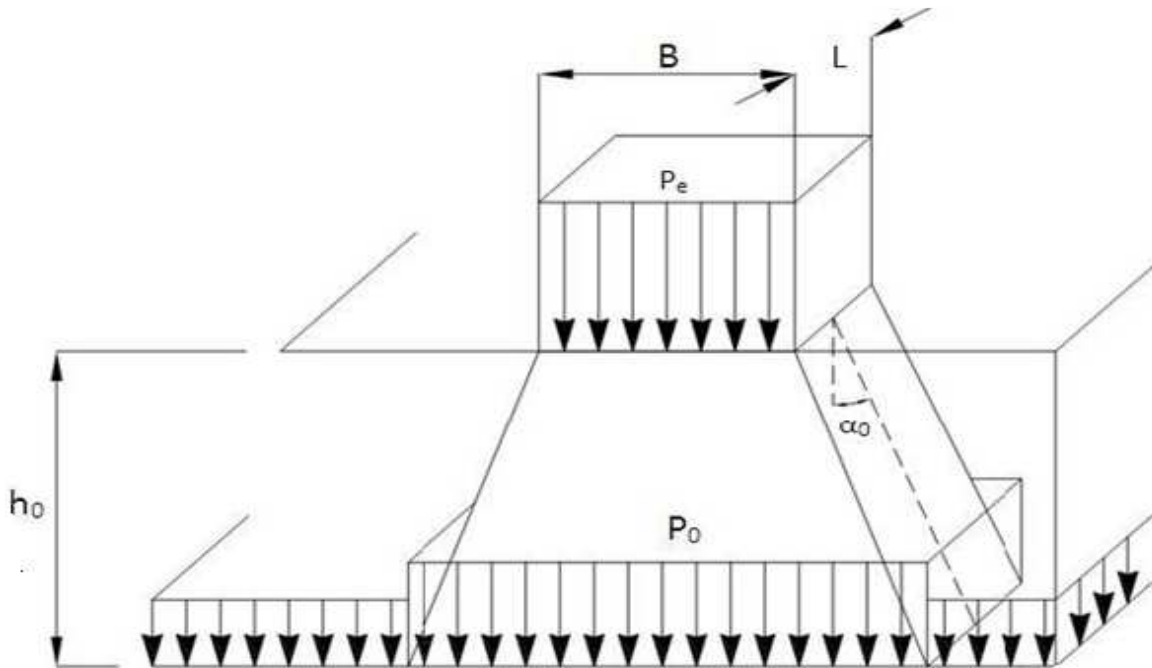
Demiryollarında ve havaalanlarında, karayollarından farklı olarak oluşan dinamik yükler zeminde önemli oturmalara ve çatlaklara yol açar. Zemine gelen dinamik yüklerin neden olabileceği gerilmeler ve farklı oturmaları dolayısıyla çatlakları önlemek için ya da

kullanılan dolgu zeminin kalınlığını azaltmak için jeogridler kullanılarak tasarım yapılabilir (Tunç, 2002).

### 5.1. Güçlendirilme Amaçlı Tasarım

Zemin seviyelerinin jeogrid yerleştirilerek yapıya gelen yüklemelerin daha geniş bir alana yayılmasının ve böylelikle zemin iyileştirmesinin sağlandığı bilinmektedir.

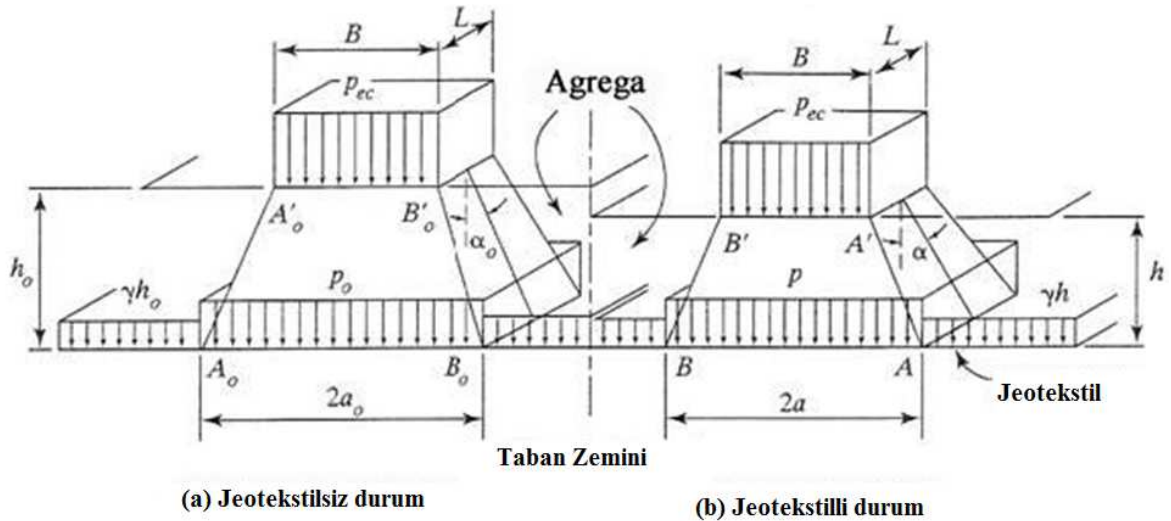
*Analitik yöntem kullanılarak güçlendirme analizinin yapılması;* Koerner (2005) jeosentetiklerle tasarım adlı kitabında jeogrid malzemelerle ile zemin güçlendirilmesinde kullanılacak esaslara yer vermektedir. Lichterberg (2011)'in bahsettiği gibi, Koerner de platforma etkiyen yüklerin alt tabakalara ve zemine piramit-konik şekilde etkidiğini belirtmektedir (Şekil 5.2). Altyapının yükleri yayma kapasitesi piramit yükleme yapısının yayılma açısını belirlemekte, böylelikle platforma etkiyen yüklerin zemine yaptığı baskı miktarı değişmektedir. Zeminin taşıma gücü belli olduğundan, altyapı kendisine etkiyen yükü zemin üzerine ne kadar geniş bir açı ile yayabilirse zemine etkiyen baskı azaltılmış olacaktır, bununla orantılı olarak tabaka kalınlığının da azaltılması mümkün olacaktır (Ay, 2014).



Şekil 5.2. Piramit yük dağılımı (Koerner, 2005; Ay 2014'den)

Jeogrid malzeme kullanılarak zeminin güçlendirilmesi ile ilgili en yaygın olarak kullanılan analitik yöntem Giroud ve Noiray (1981) arkadaşları tarafından ortaya konmuş, bu yöntemde kullanılmak üzere şekil 5.3'de gösterilen tasarım şeması oluşturulmuştur. Koerner (2005) bu hesaplama yöntemini karayollarında asfaltsız yolların dolgusunda jeogrid malzeme kullanılarak tabaka kalınlığının saptanmasında kullanmıştır.

*Giroud ve Noiray (1981) Yöntemi*; geometrik model kullanarak,  $B \times L$  alanına denk gelen tekerlek basıncını  $p_{ec}$ , taş temel dolgunun kalınlığını jeotekstilsiz  $h_o$  ve jeotekstilli  $h$  olarak kabul etmişlerdir (Şekil 5.3). Geometriye bağlı olarak zemin alt tabakasındaki gerilmeler  $p_o$  (jeotekstilsiz) ve  $p$  (jeotekstilli) olarak bulunmuştur (Koerner, 2005).



Şekil 5.3. Agregaya göre yük dağılımı (Koerner, 2005)

$$P_o = \frac{P}{2(B+2h_o \tan \alpha_o)(L+2h_o \tan \alpha_o)} + \gamma h_o \quad (5.1)$$

$$p = \frac{P}{2(B+2h \tan \alpha)(L+2h \tan \alpha)} + \gamma h \quad (5.2)$$

Burada,  $P$  aks yükü ve  $\gamma$  agreganın birim hacim ağırlığıdır (Koerner, 2005)

Bilindiği gibi basınç, eksen yüküyle agregaya ve zemin alt seviyesine iletilmektedir, Jeoteknik (yer tekniği) mühendisliğinin sığ temel kuramı bu durum için kullanılabilir. Bu analizde zeminin drenajsız durumda olduğu ve oluşan makaslama dayanımının tamamen kohezyondan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu varsayımda zemin alt seviyesinin doygun

ince taneli silt ve killi zeminler oluşturmaktadır. Bu tasarım yönteminde kritik olan jeotekstilsiz olarak yapılan kabullerde en yüksek basıncın zeminin elastik limitine uygun olmasıdır,

$$P_o = \pi c + h_o \quad (5.3)$$

ve jeotekstilli durumda sınırlandırılmış basınç zeminin nihai tasıma gücüne kadar yükselebilir,

$$p = (\pi + 2)c + \gamma h \quad (5.4)$$

eşitlikleriyle ifade edilir (Koerner, 2005).

Böylece jeotekstil donatısız durum için eşitlik (5.1) ve (5.3)' ün çözümü eşitlik (5.5)'i vermekte, bu eşitlik yardımıyla tasarımılanan agrega kalınlığı hesaplanmaktadır (Koerner, 2005).

$$c = \frac{P}{2\pi(\sqrt{P/P_c + 2h_o \tan \alpha_o})(\sqrt{P/P_c + 2h_o \tan \alpha_o})} \quad (5.5)$$

Burada  $c$  zeminin kohezyonu,  $P$  lastik yükü,  $p_c$  lastik basıncı ve  $\alpha_o$  yük dağıtma açısı ( $\approx 26^\circ$ )'dır (Koerner, 2005) .

Jeotekstil donatı olarak kullanıldığı zaman,  $p^*$  Eşitlik (5.4) ( $p - p_g$ ) ile yer değiştirir ve  $p_g$  jeotekstilde oluşan çekmenin bir fonksiyonudur. Bu nedenle uzama önemlidir. Bu durumda olası deformasyona uğramış jeotekstil – zemin sistemine bağlı olarak aşağıdaki eşitlik verilmiştir.

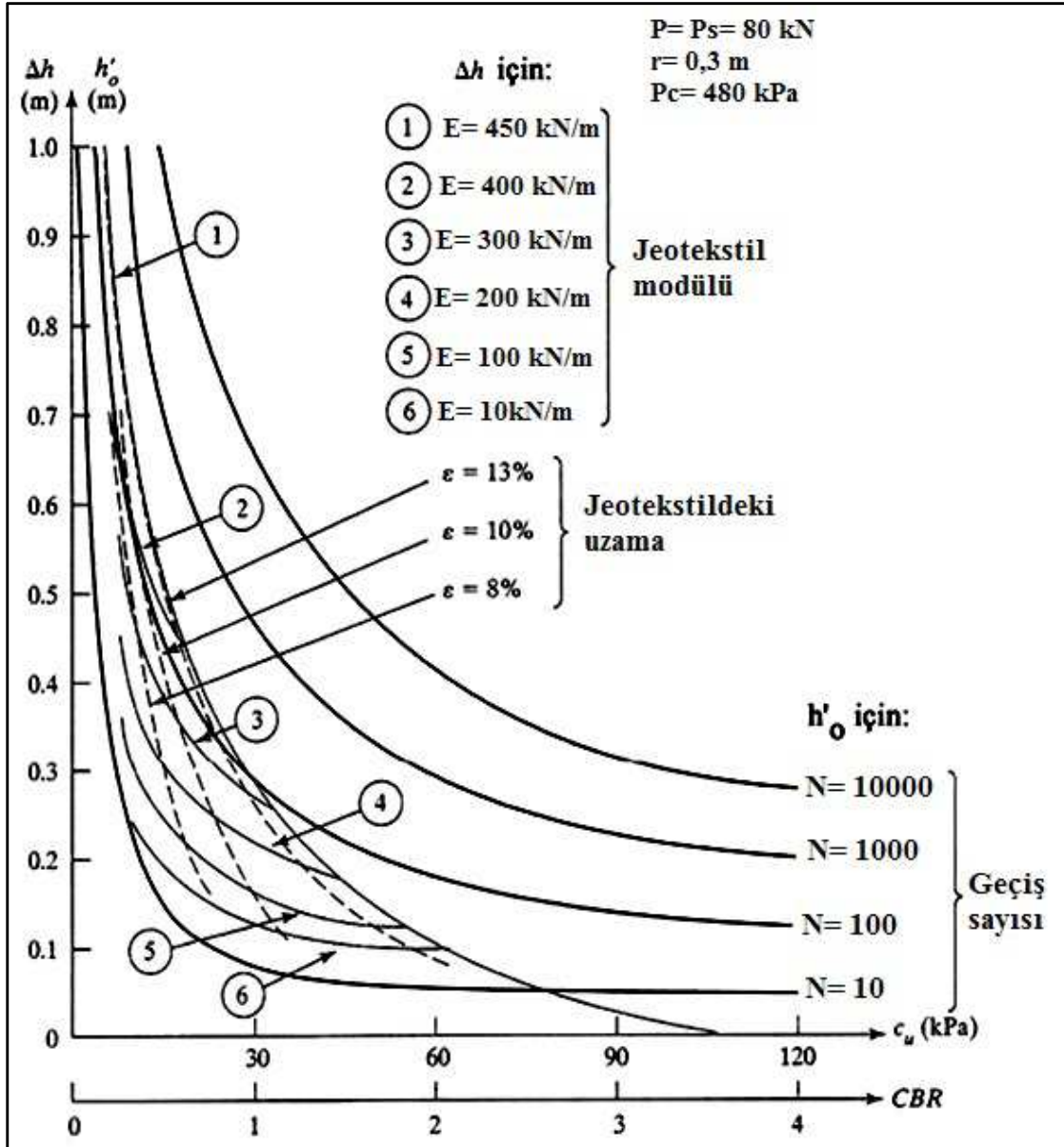
$$P_g = \frac{E\epsilon}{a\sqrt{1+(a/2S)^2}} \quad (5.6)$$

Burada;  $E$  jeotekstilin deformasyon modülü,  $\epsilon$  birim deformasyon,  $a$  geometrik özellik (Şekil 4.3), ve tekerleğin altındaki oturma (tekerlek izi derinliği)'dir (Koerner, 2005).

Eşitlik (5.2), (5.4) ve (5.6)'nin kombinasyonları ve  $p^* = P - P_g$ 'yi kullanılırsa eşitlik (5.7) elde edilir ve burada  $h$  bilinmeyen agrega kalınlığıdır. Çeşitli lastik tekerlek derinliği ve değişik modüllere sahip dokumalarla grafikler oluşturulabilir (Koerner, 2005).

$$(\pi + 2)c = \frac{P}{2(B+2htan\alpha)(L+2htan\alpha)} - \frac{E\epsilon}{a\sqrt{1+(a/2S)^2}} \quad (5.7)$$

Bu iki eşitlik grubuyla,  $h_o$  (jeotekstilsiz kalınlık) ve  $h$  (jeotekstilli kalınlık) hesaplanıp tasarım tamamlanabilir. Bu iki değerden  $\Delta h = h_o - h$ 'ne kadar agrega tasarrufu olduğu belirtilir ve bunun jeotekstile olan oranı bulunabilir (Şekil 5.4). Bu şekil ayrıca, trafik yükünün etkisini de vermektedir. Bu durumda gerekli olan  $h$  kalınlığı  $h = h_o - \Delta h$ 'a değişmekte ve bu değerler  $h_o$  ve  $\Delta h$  bulunduğu iki ordinata bağlı olarak eğrilere çıkartılabilmektedir. Hizmet ömrü araçların geçiş sayılarına bağlıdır (Koerner, 2005).

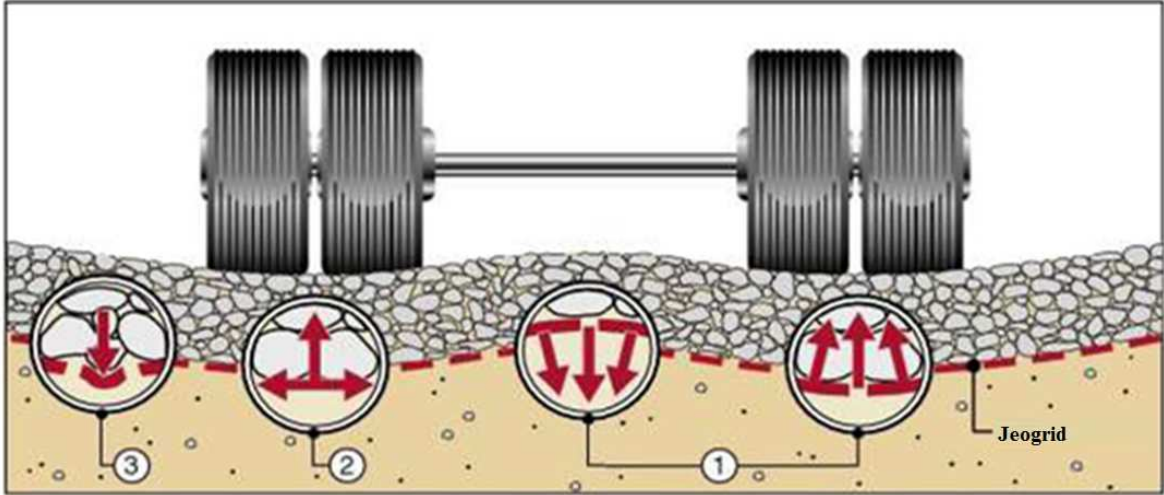


Şekil 5.4. Jeotekstille azalan agrega kalınlığı (Giroud ve Noiray, 1981)

## 5.2. Güçlendirme Amaçlı Jeogrid Kullanımı

Birçok uygulamada jeogridler iyileştirme ve güçlendirme görevini yerine getirirler. Güçlendirme özelliği ile jeogrid, zemine çekme dayanımı sağlar ve böylece zeminin (düşey yüklere maruz kaldığında) çekme dayanımından yoksun kalmasını engeller. Böylece çekme kuvveti alamayan zemine bu özellik kazandırılmış olur (Şekil5.5).





Şekil 5.5. Kaplamasız yollarda jeogrid uygulandığında oluşan gerilmeler

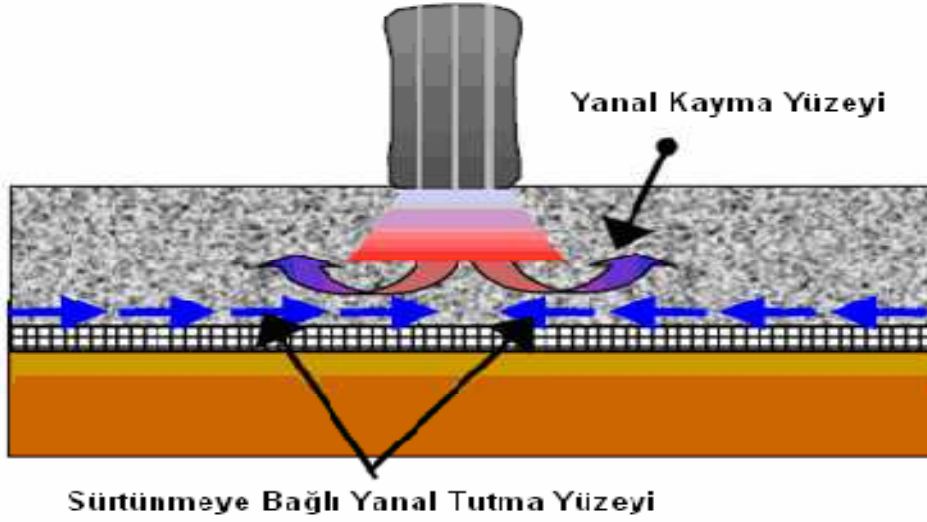
Jeogridlerin çalışma sistemi temel olarak üç ayrı güçlendirme mekanizmasına dayanmaktadır.

1. Yanal tutma ve sınırlandırma
2. Membran etkisi
3. Taşıma gücü

Bir jeotekstilin elastisite modülü ne kadar yüksek olursa, yukarıda sıralanan üç etki de o denli etkili olur.

### 5.2.1. Yanal tutma ve sınırlandırma

İki çeşit tutma vardır (Şekil 5.6). Biri aşağı doğru basınç oluşturan tekerlek izinin dışında jeogridin ters eğri hareketi ile bağlantılıdır. Diğeri ise, tekerlek altında oluşan yükün agregayı hareket ettirmesine engel olarak tutmayı sağlar. Jeogrid kenetlenme prensibi ve sürtünme, zemin ile temel malzemesini bir arada tutar. Jeogrid yüzeyindeki taneli malzeme ile oluşan kenetlenme sürtünme kuvveti ile yanıl deformasyonlar önlenmiş olur.

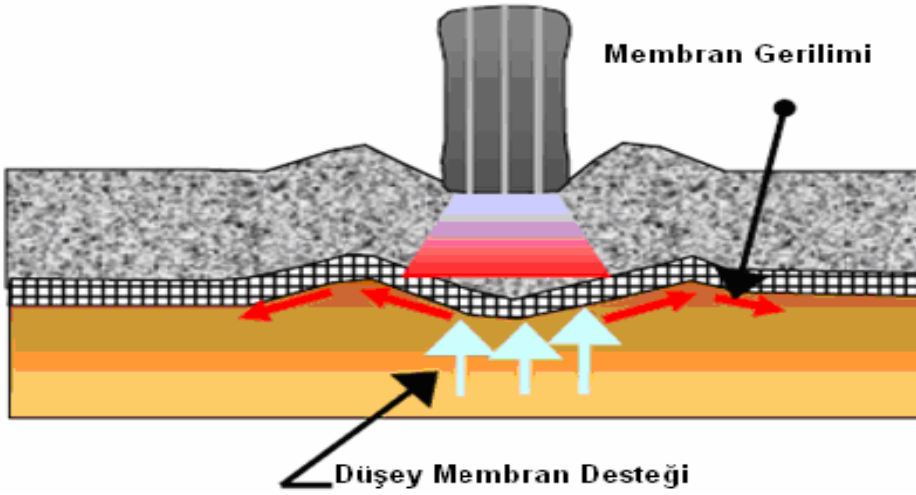


Şekil 5.6. Jeogridin zemine yanal tutma ve sınırlandırma etkisi (Bayram,2006)

### 5.2.2. Membran etkisi

Membran etkisi, jeogridin deformasyona uygun zayıf zeminler üzerine inşa edilen yollarda trafik yükleri ve düşey yükler neticesinde özellikle tekerlek bölgelerinde yerel oturmalar üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 5.5'deki gibi, bu oturmalar taşıma gücünün artırılması ve dolgu zemininin hareketinin sınırlandırılmasıyla önlenabilir. Jeogridlerin yüksek makaslama dayanımlarıyla zemine katkıda bulunarak bu tür oturmalar önlenmiş olur.

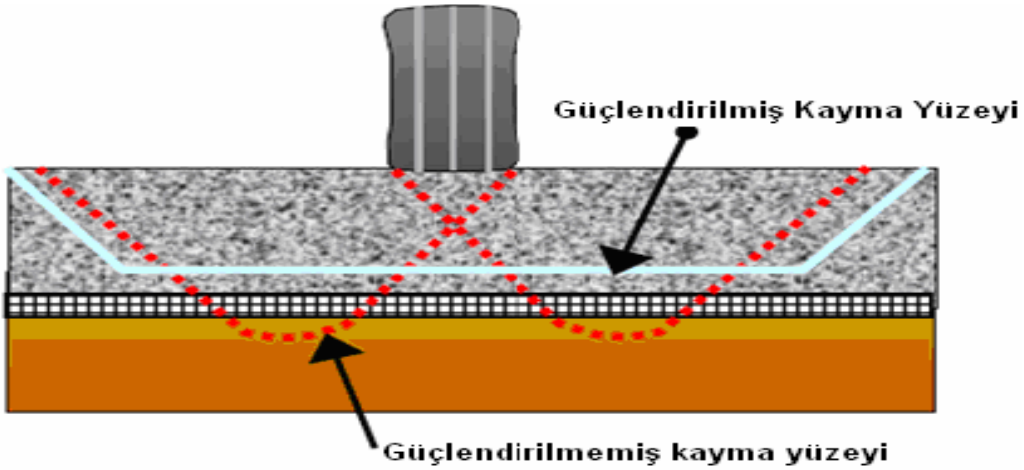
Jeogridin gözeneklerinden geçemeyen taneli malzemeler, sıkışmaları sonucu düşey yöndeki gerilmeleri jeogrid boyunca yatay doğrultuda aktarırlar. Bu durum, gerilmeleri bir membran gibi engellemektedir. Jeogrid ile taneli malzemelerin kenetlenerek bir membran gibi geçirimsiz seviye oluşturmaları ve gerilmeleri yatay düzlemde taşınmaları şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Jeogridin zemine düşey membran etkisi(Bayram,2006)

### 5.2.3. Taşıma gücü

Yüksek çekme direnç katsayısına sahip bir jeogrid, yükü dağıtarak gerilmeleri azaltır ve çekme dayanımı olmayan zeminlere dayanım kazandırılır. Bu sayede taşıma gücü zayıf ya da yetersiz olan zemine gelen yatay yöndeki yüzey gerilmeleri jeogrid tarafından karşılanmış olur. Ayrıca jeogrid ile gelen yük uniform olarak yayılarak gerilme soğanı da genişletilerek zeminde meydana gelecek oturmalar da kısıtlanmış olur. Jeogridin zemine çekme dayanımı kazandırmasının şematik olarak göstermiştir (Şekil 5.8).



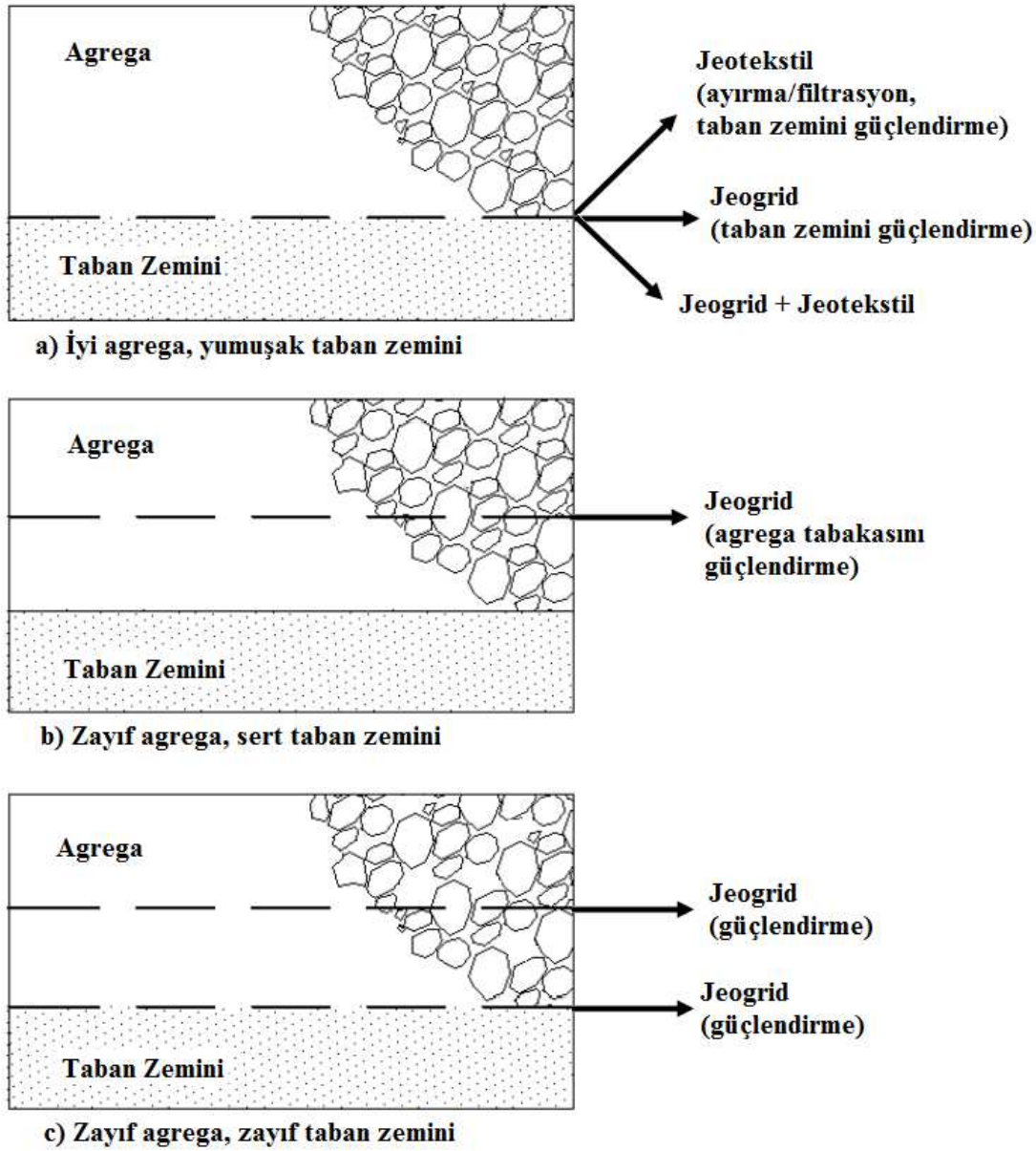
Şekil 5.8. Jeogridin zeminin taşıma gücüne etkisi (Bayram,2006)

### 5.3. Jeogrid Yerleşim Yerleri

Jeogrid yol imalatında kullanımı mekanik alt temel ve temel iyileştirmesi gibi iki uygulamaya destek olma amacıyla kullanılır. Bu uygulama, alt temel zeminin taşıma gücüne ve çok yumuşak zeminden oluşan temel altı dolguları üzerine inşa edilmesi gereken jeogrid tipine ve özelliklerine bağlıdır.

Çeşitli deney yöntemleri ve standartlar çerçevesinde jeogridlerin malzeme özellikleri belirlenmektedir. ASTM D 6637, GRI GG5, GRI GG2, ASTM D5321, ASTM D 4355, ASTM D 4632, 4833, 3786, 4533, 4751, 4491 ve 5261 standartları jeogridlerin ve jeotekstiller için uyulması gerekli test standartlarıdır.

Taban zemini ve agregası arasında jeogrid konulduğu takdirde jeogridin agregası tanelerini kilitlemesi yumuşak zemin bulamacının yukarı yükselmesini kısmen önlese de, ideal olan jeogrid ve jeotekstilin birlikte kullanılmasıdır. Jeotekstil, jeogridin altına konulmalıdır veya jeotekstil altta olacak şekilde jeotekstil-jeogrid kompozit kullanılabilir (Şekil 5.9a). Zayıf taban zeminin değil de, nispeten düşük kaliteli taneli tabakanın iyileştirilmesiyle tekerlek izi derinliklerinin kontrolü amaçlandırıldığı takdirde güçlendirici jeosentetik için en iyi konum Şekil 5.9b'de gösterildiği gibi taneli seviyenin ortasıdır. Yumuşak taban zemini ve düşük kaliteli agregası durumunda, hem zemin ve agregası arasında, hem de agregası tabakası içine jeogrid konulabilir (Şekil 5.9c) (Wasti, 2007).



Şekil 5.9. Kaplamasız yollarda jeogrid kullanımında konumlar ve işlevler (Wasti, 2007)

#### 5.4. CBR Verilerine Göre Jeogrid Kullanımı

İyileştirilmiş bir yol yapısı oluşturulurken zeminin özelliklerinin tam ve doğru belirlenmiş olması gerekir. Yol tasarımlarında taneli seviye kalınlığı, taşıt yüklerinin taban zemininde oluşturduğu gerilmeler zeminin taşıma gücü değerinin altında kalacak şekilde belirlenir. Zemin taşıma gücü veya CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) değeri azaldıkça tekerlek yüklerini yaymak üzere daha kalın ve dayanımlı bir taneli seviye gerekir. CBR; standart pistonun örneğe 0.25 cm batması gereken yükün, pistonun standart kırma taş temele 0.25 cm batması için gereken yüke oranıdır.

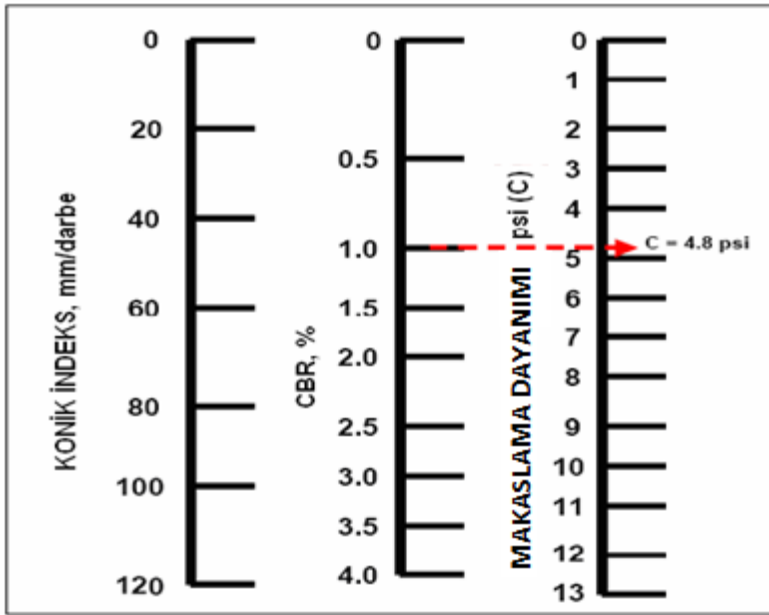
*Taban Zemin CBR < 0,5;* taban zemin CBR değeri 0,5'ten düşük olursa, ilk olarak mekanik taban zemin iyileştirilmesi yapılmalıdır. Bu gibi taşıma gücüne sahip zeminlerde örgüsüz jeotekstiller ayırma amacıyla ve çift yönlü jeogridler güçlendirme amaçlı dolgu içinde kullanılmalıdır. Bu tip, zeminlerde dolgu kalınlığı jeogrid uygulamasıyla düşürülmemelidir. Örgüsüz jeotekstil taneli dolgunun altına serilmeli ve üstüne jeogrid uygulanmalıdır. Daha sonra taneli dolgu yapılmalıdır.

*Taban Zemin 0,5 < CBR < 2;* bu durumda da mekanik iyileştirme ve güçlendirme yapılmalıdır. Jeogrid uygulaması ile yapılacak taneli dolgunun kalınlığı azaltılabilir. Jeogrid temel tabakasının altına konuyorsa, jeotekstil taban zemini ile temasta olacak şekilde jeogridin altına yerleştirilir. Jeogridin kalın temel tabakası ortasına konduğu durumlarda da, ayırıcı jeotekstil taban zemini ve agrega arasına yerleştirilir.

*Taban Zemin 2,0 < CBR < 4,0;* bu durumda da örgüsüz jeotekstil ayırma amaçlı kullanılmalıdır. Bu durumda kullanılan jeotekstiller az da olsa güçlendirme faydası sağlayabilmektedir. Jeogrid kullanımı, yapılan maliyet analizine bağlı olarak uygulanabilir. Bu gibi zeminlerde jeogridlerin kullanımı üst yapının ömrünü uzatmakta ve farklı oturmaları önlemektedir. Ayrıca tasarım kalınlığı da jeogrid kullanımı ile düşürülebilir.

*Taban Zemin CBR > 4,0;* bu durumda jeogrid kullanımı, yapılacak maliyet kullanım ömrü analizlerine bağlı olarak uygulanabilir. Genellikle bu taşıma gücüne sahip zeminlerin olduğu imalatlarda jeogridler mobilizasyon veya çok özel problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Konik indeks değerleri ve CBR değerlerinden makaslama dayanımı değerlerine dönüştürme değerleri görülmektedir (Şekil 5.10), (Bayram, 2006).



Şekil 5.10. CBR ve drenajsız makaslama dayanımı değerleri arasındaki korelasyon (Bayram, 2006)

Taban zemin dolgularında jeogrid kullanımı taban zemini tabakasını güçlendirerek daha hızlı, ekonomik ve ilk durumuna göre daha yüksek mühendislik özelliklerine sahip tabakaların oluşmasını sağlamaktadır. Yumuşak taban zemin tabakası üzerine inşa edilecek seviyede jeogrid kullanımı tekerlek yükü ile oluşacak gerilmelerin daha geniş bir alana yayılmasını sağlar. Jeogridin ağ etkisi, kayma yüzeyini değiştirir ve yerel taşıma ve genel taşıma ölçütlerini değiştirir. Yerel taşıma gücü;

$$q_u = 3,1 c_u \quad (5.8)$$

$c_u$  = temel zemin tabakalarının drenajsız makaslama dayanımı ve genel taşıma gücü;

$$q_r = 6,2 c_u \quad (5.9)$$

Şekil 5.11'de Bussinesq eşitliğinde kullanılan parametreler ve modelleme yöntemi sunulmuştur. Bu modele göre Bussinesq eşitliği, temel zemin tabakalarının drenajsız makaslama dayanımı ve genel taşıma gücü minimum temel tabakası hesaplamasında; lastik ağırlığı, lastik basıncı ve güçlendirilmiş genel taşıma gücüne bağlı olarak tekrar yazılır:

Donatısız haldeki dolgu kalınlığı;

$$z_u = r / [1 / (1 - q_u / p)^{2/3} - 1]^{1/2} \quad (5.10)$$

Donatılı haldeki dolgu kalınlığı;

$$z_r = r / [1 / (1 - q_r / p)^{2/3} - 1]^{1/2} \quad (5.11)$$

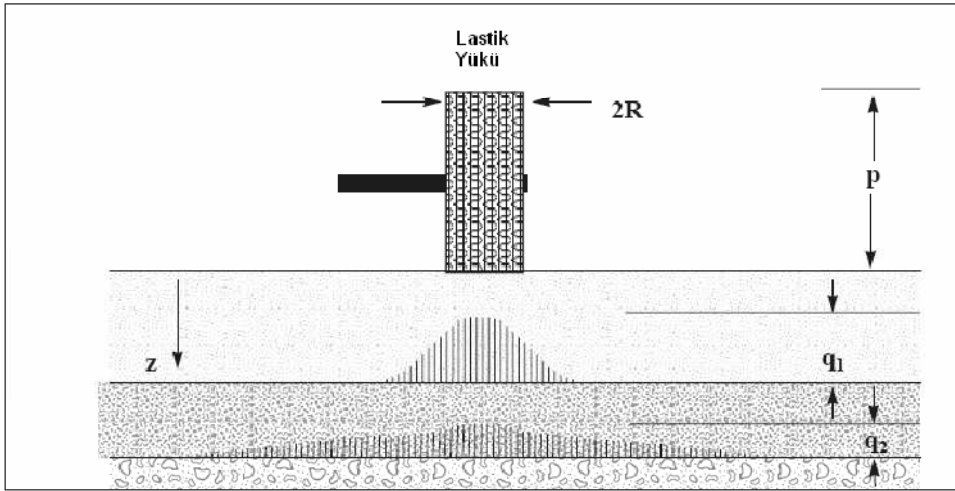
$$r = (P / \pi p)^{0,5} \quad (5.12)$$

$r$ : teker temas alanı yarıçapı

$p$ : tek veya çift teker için teker şişme basıncı

$P$ : lastik ağırlığı

$Z$ : yüzeyden itibaren derinlik



Şekil 5.11. Temel seviyesinin belirlenmesi (Bayram, 2006)

Jeogrid kullanılarak aynı dingil yükleri ve aynı lastik basınçları altında  $z_r$  ve  $z_u$  'nun karşılaştırılması halinde ki temel tabakası kalınlığının % 30'dan % 50'ye kadar azalabileceği anlaşılmaktadır.

Temel zemini üzerine temel güçlendirmesi amacıyla konulan jeogrid, ayırma ve filtrasyon ölçütlerini sağlıyorsa, taban zeminini iyileştirme işlevini de yerine getirebilir. Bazı



projelerde; özellikle temel tabakası altında alt temel varsa, bağımsız olarak tasarlanan iki tabaka jeogrid kullanılarak hem taban zemini hem de temel güçlendirmesi yapılabilir.

Jeogridin işlevinin çok yumuşak zeminlerde “taban zemini iyileştirmesi” olduğu, zeminin dayanımı arttıkça “temel güçlendirme” işlevinin öne çıktığı anlaşılmaktadır. Temel güçlendirme işlevinde; üst yapıda taneli temel veya temel zemini altına veya içine konan çekmeye dayanımlı olan bir eleman olarak (i) üst yapı tabaka kalınlıklarını değiştirmeden yol kullanım süresini uzatması, (ii) eşdeğer yol performansını azaltmış temel/alt temel tabaka kalınlıkları ile sağlaması ve (iii) her ikisini yerine getirmesi amacıyla kullanılmasıdır. CBR değeri küçüldükçe jeogridin etkisi artmaktadır. Ancak jeogrid kullanımı yalnızca yumuşak ve kötü zeminlerde kullanılarak bir yarar sağlamamaktadır, CBR %8 ve üstündeki sert zeminlerde de yarar görülmektedir.



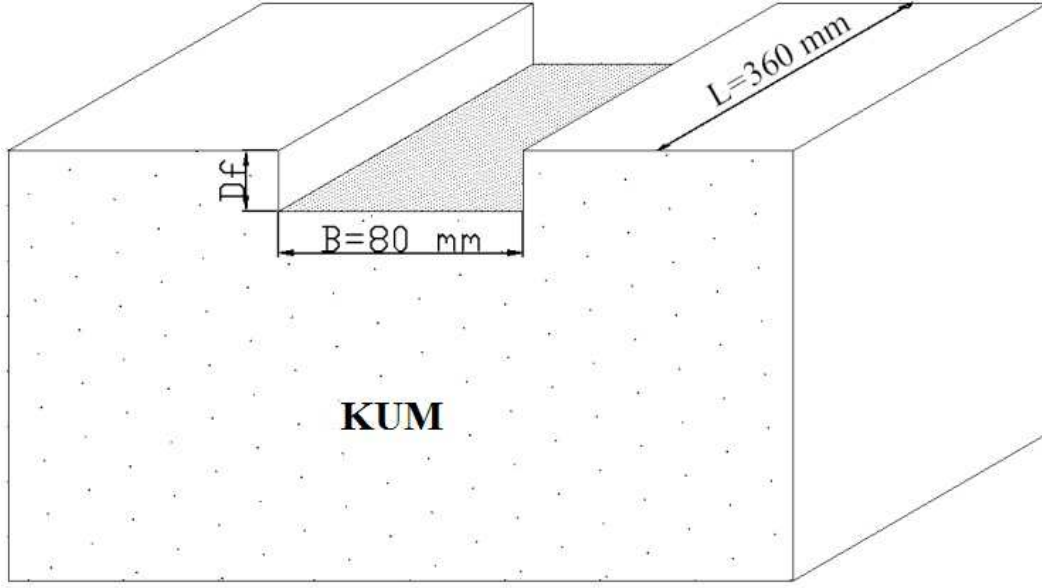
## 6. TAŞIMA GÜCÜ TEORİLERİ VE SAYISAL ANALİZLERLE HESAPLANAN DONATILI ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜÇLERİNİN LİTERATÜRDE BULUNAN DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

### 6.1. Giriş

Bu bölümde, Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deneylerde gömülme derinliği  $D_f \geq 0$  olan jeogrid donatılı kum zemine oturan şerit temellerin taşıma gücünün araştırıldığı deney sonuçlarını, model deneyin geometrik parametreleri kullanılarak Huang ve Menq (1997) ve Michalowski (2004) taşıma gücü kuramları ile hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, deneysel çalışmaya benzer olarak, donatısız ve donatılı kum zemine oturan şerit temellerin taşıma gücü ve gerilme davranışı Sonlu Elemanlar (SE) yöntemi ile de hesaplanmıştır. Analizlerde zemin cinsi, temel boyutları, sınır koşulları ve yükleme durumu gibi özellikler deneydekilere uygun alınmıştır. Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deneyden elde edilen sonuçlar taşıma gücü kuramları ve analizlerden elde edilenlerle karşılaştırılmış, donatı yerleşim parametrelerinin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.

### 6.2. Patra ve diğerleri (2005) Tarafından Yapılan Model Deney

Patra ve diğerleri (2005)'nin yapmış oldukları laboratuvar modelinde temel genişliği 80 mm ve uzunluğu 360 mm olarak tercih edilmiş ve kalınlığı 25 mm olan hafif çelik levhadan üretilmiştir (Şekil 6.1). Model temelinin altı sürtünmeli temel elde etmek için yapıştırıcı ve kum ile kaplanmıştır. Taşıma gücü testleri, 0,8 m, genişlik 0,365 m, derinlik 0,7 m olan model deney tankı içinde yapılmıştır. Kutunun iç duvarları ve model köşeleri, sürtünmeyi mümkün olduğunda azaltmak için parlatılmış ve kutu yüzeyleri yanal deformasyonları önlemek için güçlendirilmiştir.



Şekil 6.1. Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deneyin şematik gösterimi

Mevcut model deneylerinde kullanılacak kum, öncelikle bir fırın içinde kurutulmuştur. Deney için kullanılan kum 1,18mm elekten %100 geçmiş, 0,075 elekten %0 geçmiştir. Tüm deneyler için, ortalama birim ağırlık ve relatif sıkılık sırasıyla  $14,81 \text{ kN/m}^3$  ve %71 olarak alınmıştır. Deney koşullarında kumun ortalama doruk sürtünme açısı  $\emptyset$  doğrudan makaslama deneylerinden  $41^\circ$  olarak belirlenmiştir. Deneylerde tek yönlü jeogrid kullanılmıştır. Kullanılan jeogridin fiziksel özellikleri verilmiştir (Çizelge 6.1)

Çizelge 6.1. Jeogridin fiziksel özellikleri (Patra ve diğerleri 2005)

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| Doruk gerilme direnci            | 60 kN/m       |
| %2.0 gerginlikte gerilme direnci | 14 kN/m       |
| %5.0 gerginlikte gerilme direnci | 30 kN/m       |
| Kopma uzaması                    | %8            |
| Aralık boyutu                    | 94 mm x 42 mm |

Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deneyler yapılırken, kum 25 mm'lik katmanlar halinde deney tankına yerleştirmiştir. Gereken kum miktarını sağlamak için, her bir katman, istenilen birim yüksekliği sağlamak için düz yüzeyli ahşap blok kullanılarak sıkıştırılmış ve tartılmıştır. Jeogrid katmanları, zeminde istenilen  $u/B$  ve  $h/b$  değerine göre ve model temeli de zemin yatağının yüzeyi altında istenilen derinlikte olacak şekilde

yerleştirilmiştir. Model tankının temeline yük, elektrikle çalışan hidrolik kriko ile uygulanmıştır. Temelin oturması, modelin her iki tarafından 0,01mm hassasiyette iki kadranlı ölçer ile kayıt edilmiştir. Yük küçük artışlar ile uygulanmış ve deformasyon sonuçları kayıt edilmiştir. Böylelikle tüm yük-oturma eğrisi elde edilmiştir. Model temelinin uzunluğu yaklaşık olarak deney tankının genişliği ile aynıdır.

Bu model deney için, aşağıdaki parametreler jeogrid donatılı tabakalar için kabul edilmiştir. Bunlar;

$$u/B = 0.35, \quad h/B = 0.25, \quad b/B = 5,$$

$$N = 2, 3, \text{ ve } 4 \text{ (} d/B \text{ 0.6 ve 1.1 arasında değişebilir)}$$

Model deney serisine ait bilgiler verilmiştir (Çizelge 6.2). Deney sonuçlarının verileri verilmiştir (Çizelge 6.3).

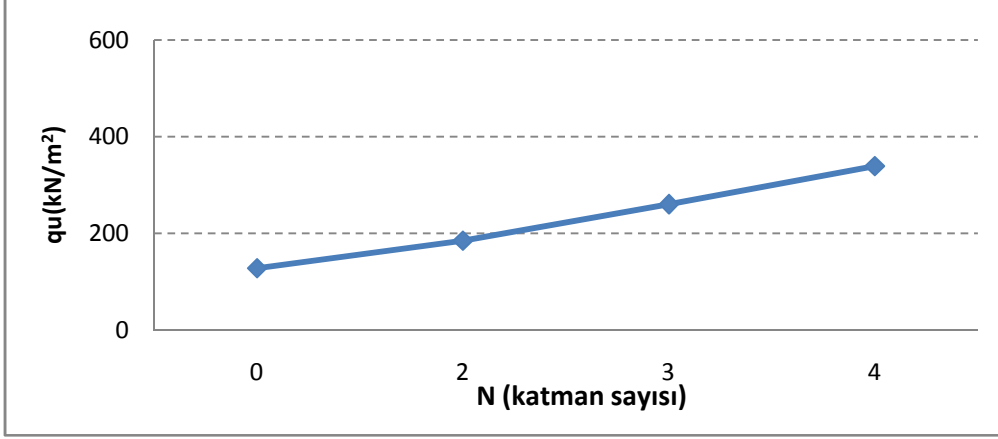
Çizelge 6.2. Model deney serisi (Patra ve diğerleri, 2005)

| Deney serisi | N       | $b/B$ | $D_f/B$                 |
|--------------|---------|-------|-------------------------|
| I            | 0       | -     | 0 – 0.1 (donatısız kum) |
| II           | 2, 3, 4 | 5     | 0                       |
| III          | 4       | 5     | 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 |

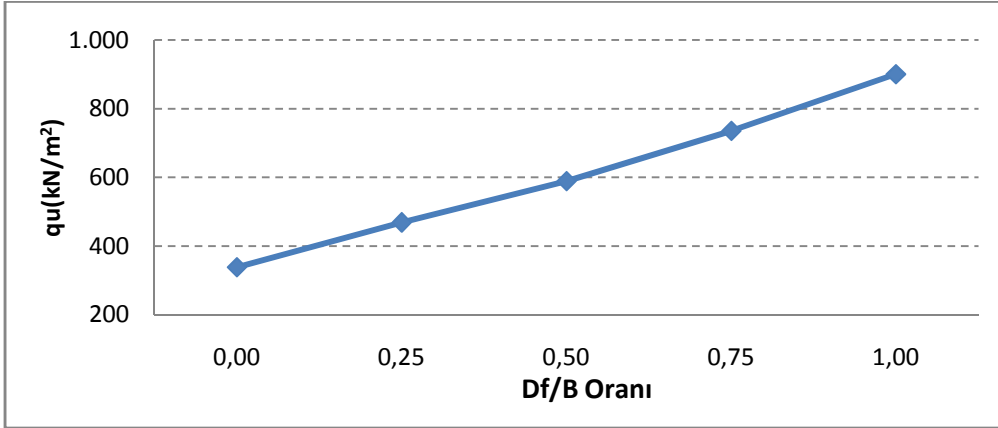
Çizelge 6.3. Model deney sonuçları (Patra ve diğerleri 2005)

| Deney Serisi | N | Df/B            | Deney Sonuçları $q_u$ ,(kPa) |
|--------------|---|-----------------|------------------------------|
| I            | 0 | Temel yüzeyinde | 128kPa                       |
| II           | 2 | Temel yüzeyinde | 185 kPa                      |
|              | 3 | Temel yüzeyinde | 260 kPa                      |
|              | 4 | Temel yüzeyinde | 339 kPa                      |
| III          | 4 | Temel yüzeyinde | 339 kPa                      |
|              |   | 0.25            | 469 kPa                      |
|              |   | 0.50            | 590 kPa                      |
|              |   | 0.75            | 736 kPa                      |
|              |   | 1               | 901 kPa                      |

Model deneyin katman sayısı (Şekil 6.2), derinlik faktöründeki değişimin taşıma gücüne etkisi (Şekil 6.3)'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Model deneyin sonuçlarına göre katman sayısı için taşıma gücü grafiği



Şekil 6.3. Model deneyin sonuçlarına göre Df/B oranı için taşıma gücü grafiği

### 6.3. Model Deneylerinin Taşıma Gücü Kuramları ve Sonlu Elamanlar Analizleriyle Hesaplanması

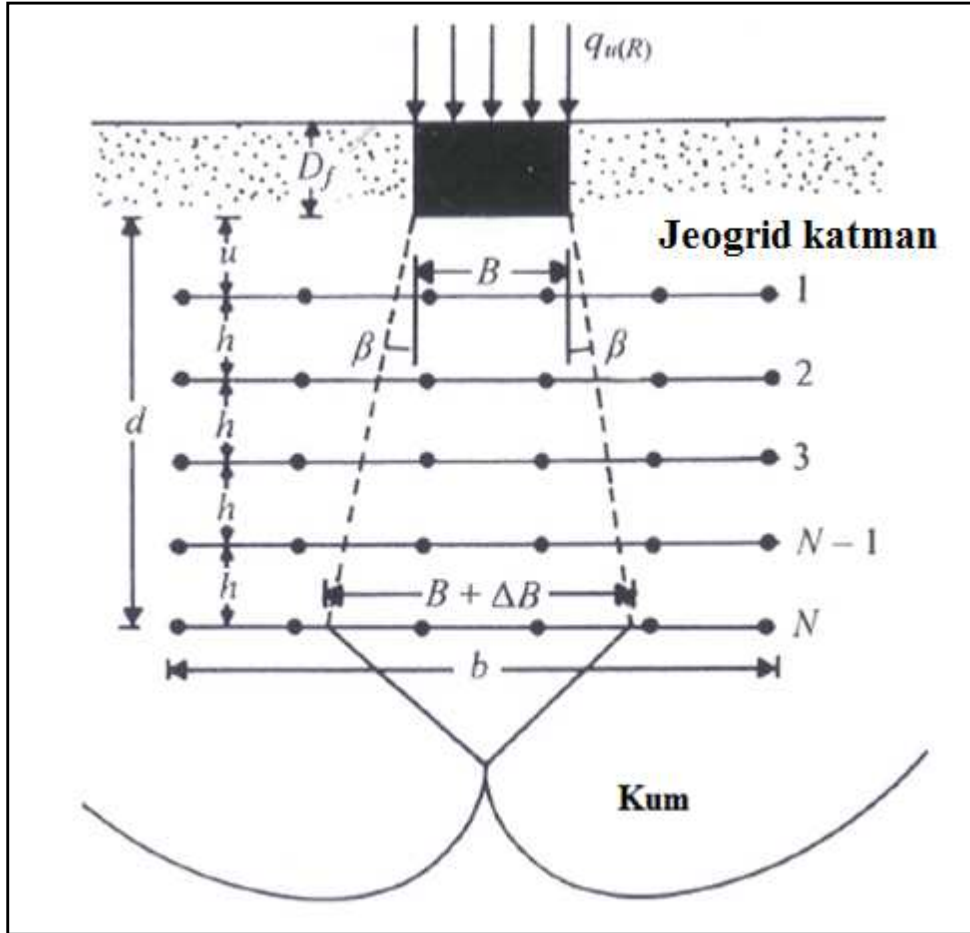
Yukarıda ayrıntıları verilen jeogrid donatılı zeminde şerit temelin genişliği (B) gösterilmiştir (Şekil 6.4). Temelin derinliği  $D_f$  olarak verilmiştir. Jeogridin ilk katmanı, temelin altında  $u$  derinliğinde bulunur. Jeogridin ardışık katmanları arasındaki uzaklık hve her bir jeogridin genişliği  $b$  ile gösterilmiştir. Donatı derinliği  $d$  ile ifade edilir.

$$d = u + (N - 1)h$$

$N$ , jeogrid katman sayısını ifade eder.

Huang ve Menq (1997)'in kuramına dayalı donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü belirlerken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$q_{ult} = 0.5(B + \Delta B)\gamma N_{\gamma} + \gamma d N_q$$



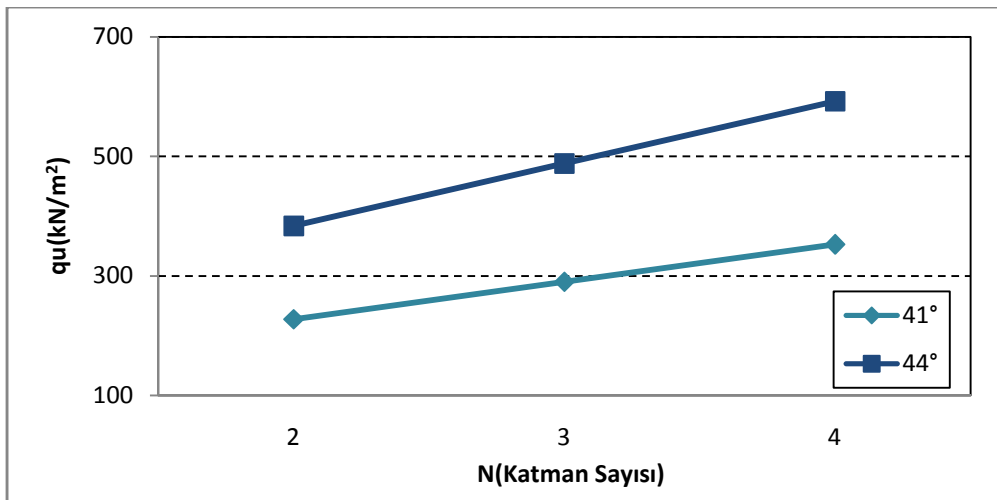
Şekil 6.4. Donatılı zemin sisteminde yenilme mekanizması (Patra ve diğerleri, 2005)

Patra ve diğerleri (2005)'nin deney koşullarında kumun ortalama doruk sürtünme açısı  $\emptyset$  doğrudan makaslama deneylerinden  $41^\circ$  olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada deney serisine ilave olarak hesaplamalarda  $44^\circ$  sürtünme açısındaki taşıma gücü değerleri de belirlenmiştir. Düzlemsel deformasyon koşullarında sürtünme açısı daha yüksek olabileceği için deneyde  $41^\circ$  olan içsel sürtünme açısı  $3^\circ$  yükseltilerek  $44^\circ$  sürtünme açısı ile de hesaplamalar yapılmıştır.

Huanq ve Meng (1997)'in yöntemine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ışığında veri çizelgesi oluşturulmuş gösterilmiştir (Çizelge 6.4). Tüm grafik çizimleri Vesic taşıma gücü teorileri sonuçlarına göre oluşturulmuştur.(Şekil 6.5, Şekil 6.6).

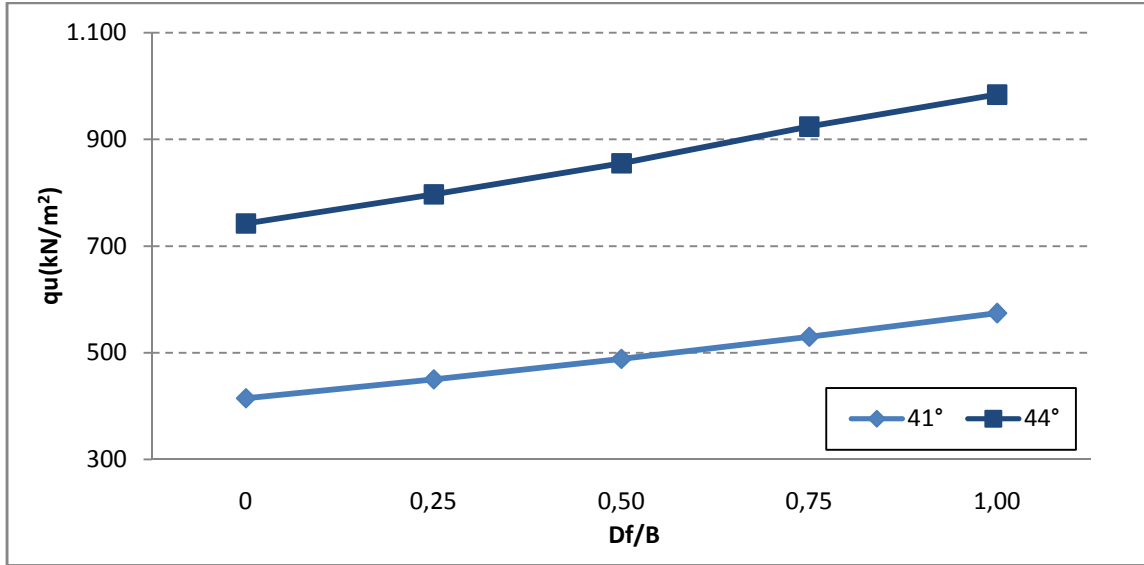
Çizelge 6.4. Huang ve Menq (1997) yöntemi (*derinlik faktörü dahil.*)

| Deney Serisi | N | Df/B | $q_u$                        |                           | $q_u$                  |                        |
|--------------|---|------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
|              |   |      | Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi | Vesic Taşıma Gücü Teorisi | $\varnothing=41^\circ$ | $\varnothing=44^\circ$ |
| I            | 0 | 0    | 210kPa                       | 358kPa                    | 190kPa                 | 306kPa                 |
| II           | 2 | 0    | 266kPa                       | 480kPa                    | 227kPa                 | 383kPa                 |
|              | 3 | 0    | 340kPa                       | 641kPa                    | 289kPa                 | 487kPa                 |
|              | 4 | 0    | 414kPa                       | 742kPa                    | 352kPa                 | 592kPa                 |
| III          | 4 | 0.25 | 450kPa                       | 796kPa                    | 380kPa                 | 634kPa                 |
|              |   | 0.50 | 488kPa                       | 855kPa                    | 410kPa                 | 680kPa                 |
|              |   | 0.75 | 529kPa                       | 923kPa                    | 442kPa                 | 733kPa                 |
|              |   | 1    | 573kPa                       | 983kPa                    | 477kPa                 | 780 kPa                |



Şekil 6.5. Deney serisi II; katman sayısına göre taşıma gücü grafiği





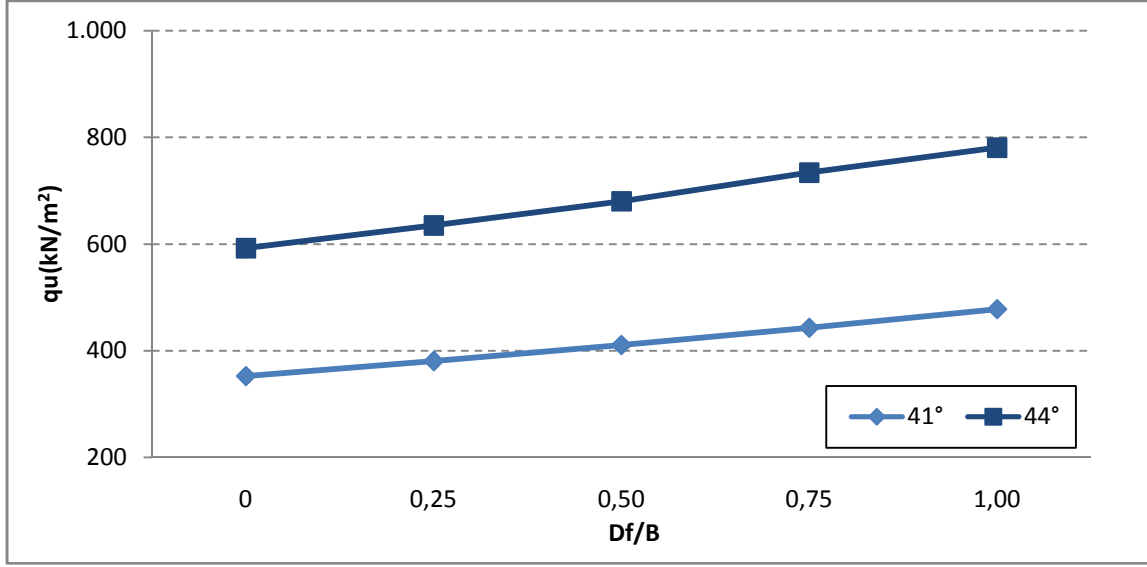
Şekil 6.6. Deney Serisi II, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği

Huang ve Meng (1997)'in önerdiği yöntemdeki derinlik faktörü kullanılmadan yapılan hesaplamalar verilmiştir (Çizelge 6.5). Verilerin grafik çizimi oluşturulmuştur (Şekil 6.7).

Çizelge 6.5. Huang ve Meng (1997) yöntemi (*derinlik faktörü kullanılmadan*)

| Deney Serisi | N | Df/B | $q_u$<br>Vesic Taşıma Gücü Teorisi |                      |
|--------------|---|------|------------------------------------|----------------------|
|              |   |      | $\emptyset=41^\circ$               | $\emptyset=44^\circ$ |
| III          | 4 | 0.25 | 374kPa                             | 626kPa               |
|              |   | 0.50 | 396kPa                             | 660kPa               |
|              |   | 0.75 | 418kPa                             | 694kPa               |
|              |   | 1    | 440kPa                             | 728kPa               |

\* Fqd değeri dikkate alınmadan hesaplanmıştır.



Şekil 6.7. Deney Serisi III; Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği

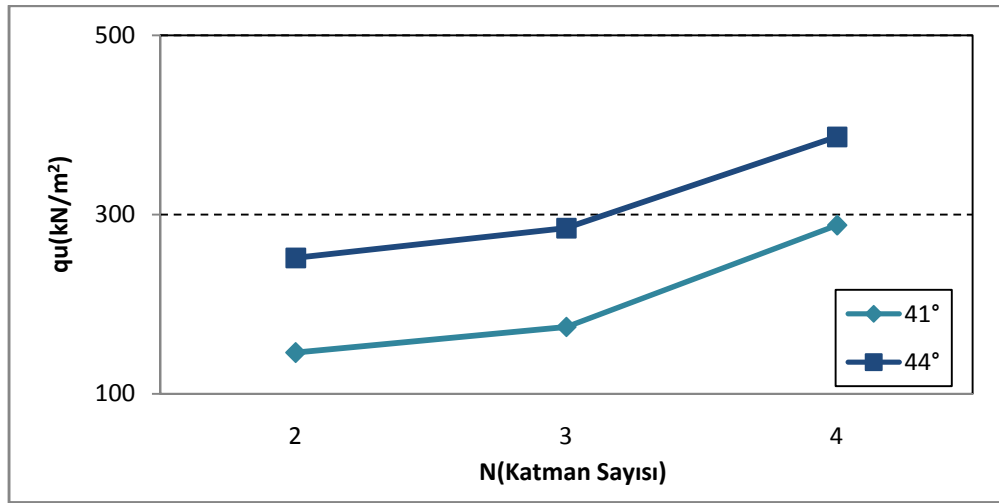
Michalowski (2004)'nin kuramına dayalı donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü belirlerken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$p = \frac{1}{1 - \mu M_p \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B}} \left[ c(N_c + n f_c M_c) + q(N_q + n \mu M_q) + \gamma B \left( \frac{1}{2} N_\gamma + \mu M_\gamma \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B} \right) \right]$$

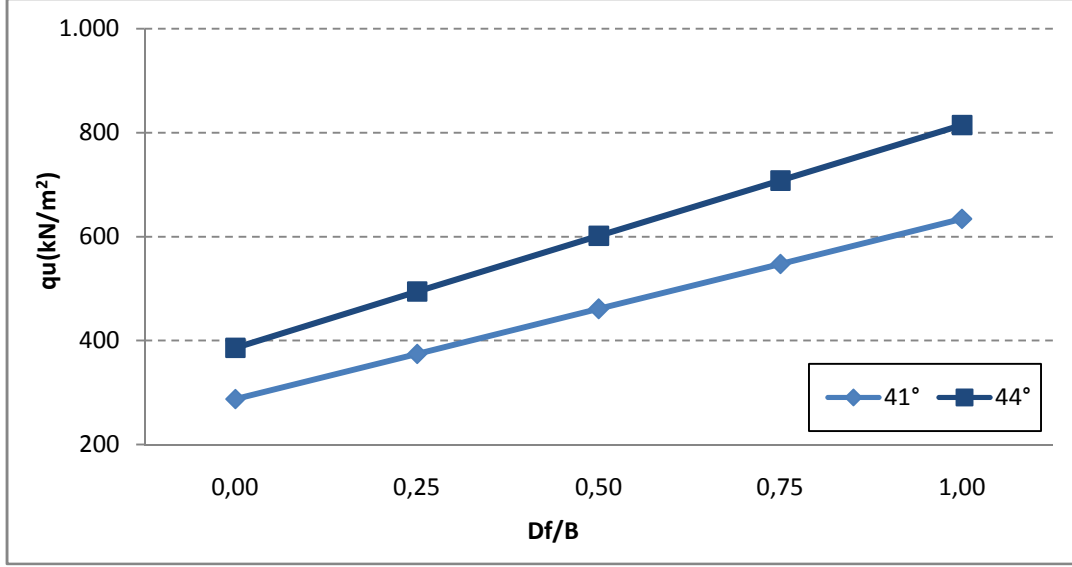
Michalowski (2004)'nin yöntemine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ışığında veri çizelgesi oluşturulmuş ve gösterilmiştir (Çizelge 6.6). Ayrıca grafik çizimi olarak verilmiştir (Şekil 6.8, Şekil 6.9)

Çizelge 6.6. Michalowski (2004) yöntemi

| Deney Serisi | N | Df/B | $q_u$                        |                   | $q_u$                     |                   |
|--------------|---|------|------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
|              |   |      | Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi |                   | Vesic Taşıma Gücü Teorisi |                   |
|              |   |      | $\phi = 41^\circ$            | $\phi = 44^\circ$ | $\phi = 41^\circ$         | $\phi = 44^\circ$ |
| I            | 0 | 0    | 210kPa                       | 358kPa            | 190kPa                    | 306kPa            |
| II           | 2 | 0    | 163kPa                       | 307kPa            | 145kPa                    | 251kPa            |
|              | 3 | 0    | 194kPa                       | 343kPa            | 174kPa                    | 284kPa            |
|              | 4 | 0    | 317kPa                       | 460kPa            | 287kPa                    | 386kPa            |
| III          | 4 | 0.25 | 419kPa                       | 588kPa            | 374kPa                    | 494kPa            |
|              |   | 0.50 | 522kPa                       | 717kPa            | 461kPa                    | 601kPa            |
|              |   | 0.75 | 624kPa                       | 845kPa            | 547kPa                    | 707kPa            |
|              |   | 1    | 727kPa                       | 973kPa            | 634kPa                    | 814kPa            |

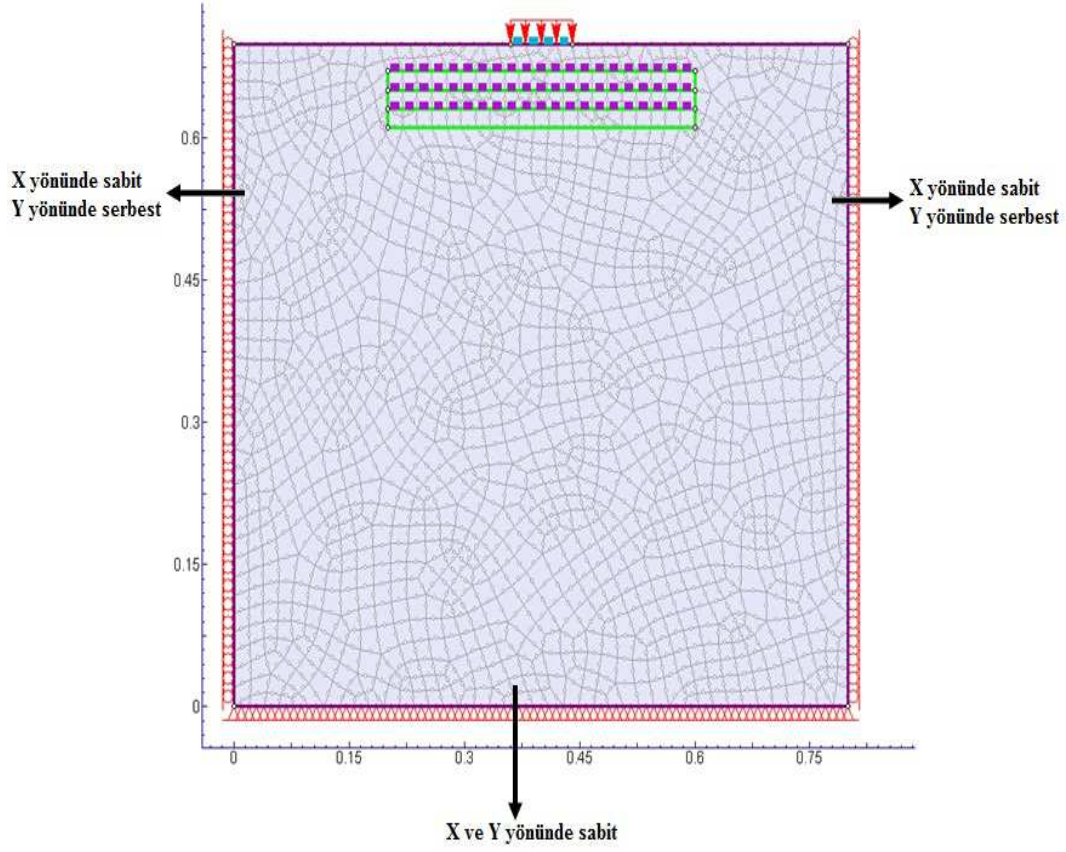


Şekil 6.8. Deney Serisi II, katman sayısına göre taşıma gücü grafiği



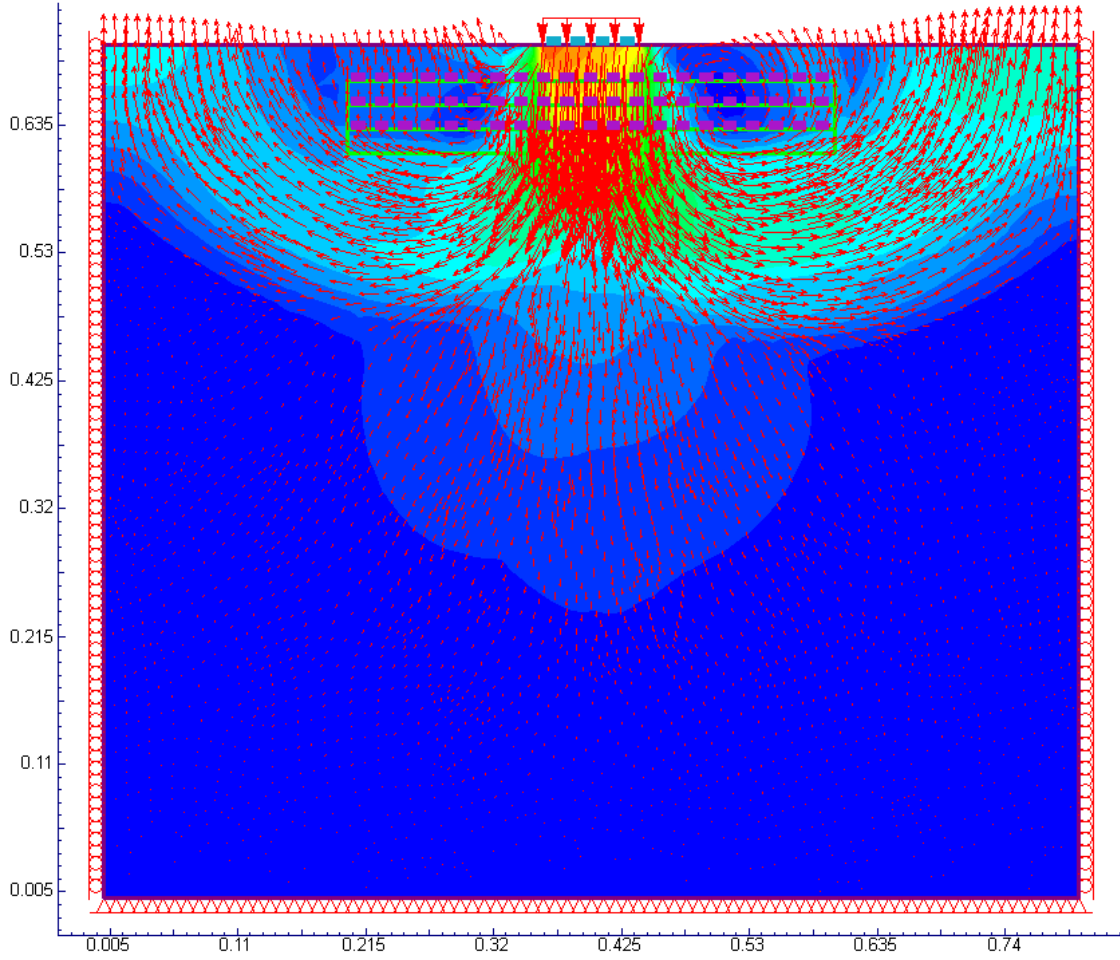
Şekil 6.9. Deney Serisi III, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği

Sonlu Elemanlar Analizi'yle model deneylerin modellenmesi için Rocscience firmasının zemin ve kaya mekaniği problemlerinin çözümü için geliştirdiği iki boyutlu sonlu elemanlar yazılımı olan Phase2 (2011) v. 8.0 kullanılmıştır. Analizlerde zemin, doğrusal elastik – plastik malzeme modeli ile modellenmiştir. Yenilme modeli olarak ise Mohr – Coulomb kullanılmıştır. Jeogridler ise Phase2 yazılımında mevcut olan ve sadece çekme rijitliğine sahip “jeotextile” elemanlar, temel ise doğrusal elastik “shell” eleman kullanılarak modellenmiştir. Model deneylerin simülasyonu için 8 düğüm noktalı yaklaşık 1500 adet dörtgen eleman kullanılmıştır. Üç grid tabakalı deneylerin simülasyonunda kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Model deneylerin simülasyonunda kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları.

Analizlerde ilk aşama olarak yerindeki yenilme dağılımı modellenmiş ve temel üzerindeki yayılı gerilme, zemin yenilme noktasına ulaşana kadar aşama aşama artırılmıştır. Aşağıda sürtünme açısı  $41^\circ$  ve 3 tabakalı grid modeli için elde edilen yenilme anındaki deformasyonların dağılımı gösterilmiştir (Şekil 6.11).

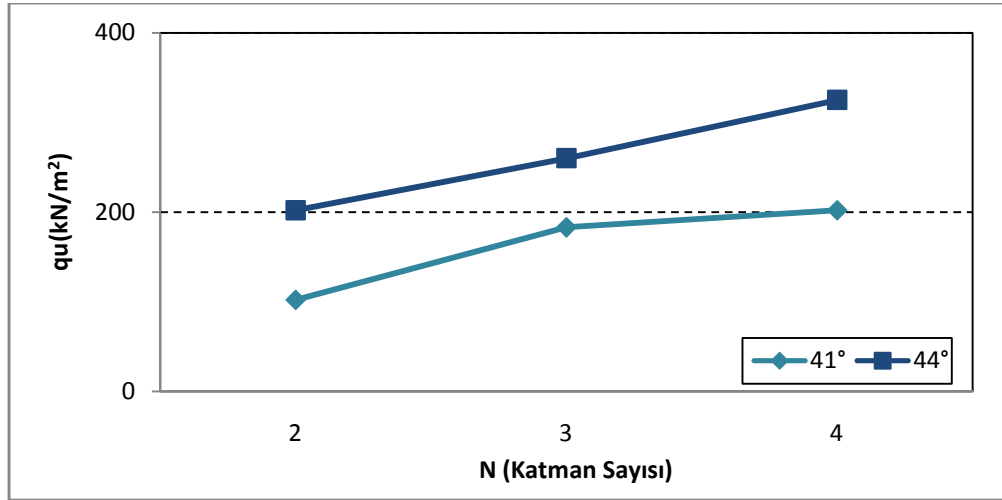


Şekil 6.11. Sürtünme açısı  $41^\circ$  ve 3 tabakalı grid modeli için yenilme anındaki deformasyonların dağılımı

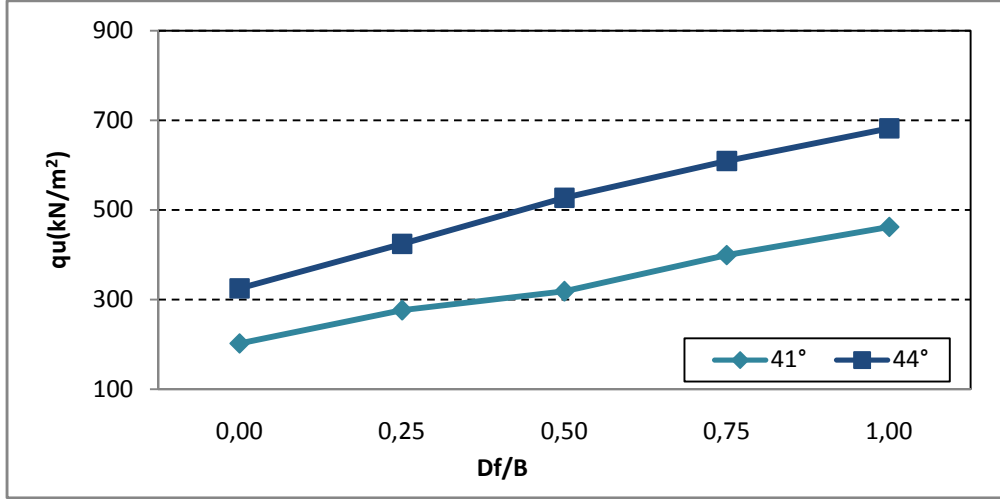
Sonlu elemanlar analizleriyle elde edilen taşıma güçleri sonuçları çizelge halinde özetlenmiştir (Çizelge 6.7). Sonuçlar grafik olarak da verilmiştir (Şekil 6.12, Şekil 6.13).

Çizelge 6.7. Sonlu elemanlar analizi

| Deney serisi | N | Df/B | $q_u$                  |                        |
|--------------|---|------|------------------------|------------------------|
|              |   |      | $\varnothing=41^\circ$ | $\varnothing=44^\circ$ |
| II           | 2 | 0    | 102kPa                 | 202kPa                 |
|              | 3 | 0    | 183kPa                 | 260kPa                 |
|              | 4 | 0    | 202kPa                 | 325kPa                 |
| III          | 4 | 0    | 202kPa                 | 325kPa                 |
|              |   | 0,25 | 276kPa                 | 424kPa                 |
|              |   | 0,50 | 318kPa                 | 527kPa                 |
|              |   | 0,75 | 399 kPa                | 609kPa                 |
|              |   | 1    | 462kPa                 | 682kPa                 |



Şekil 6.12. Deney Serisi II, katman sayısına göre taşıma gücü grafiği



Şekil 6.13. Deney Serisi III, Df/B oranına göre taşıma gücü grafiği

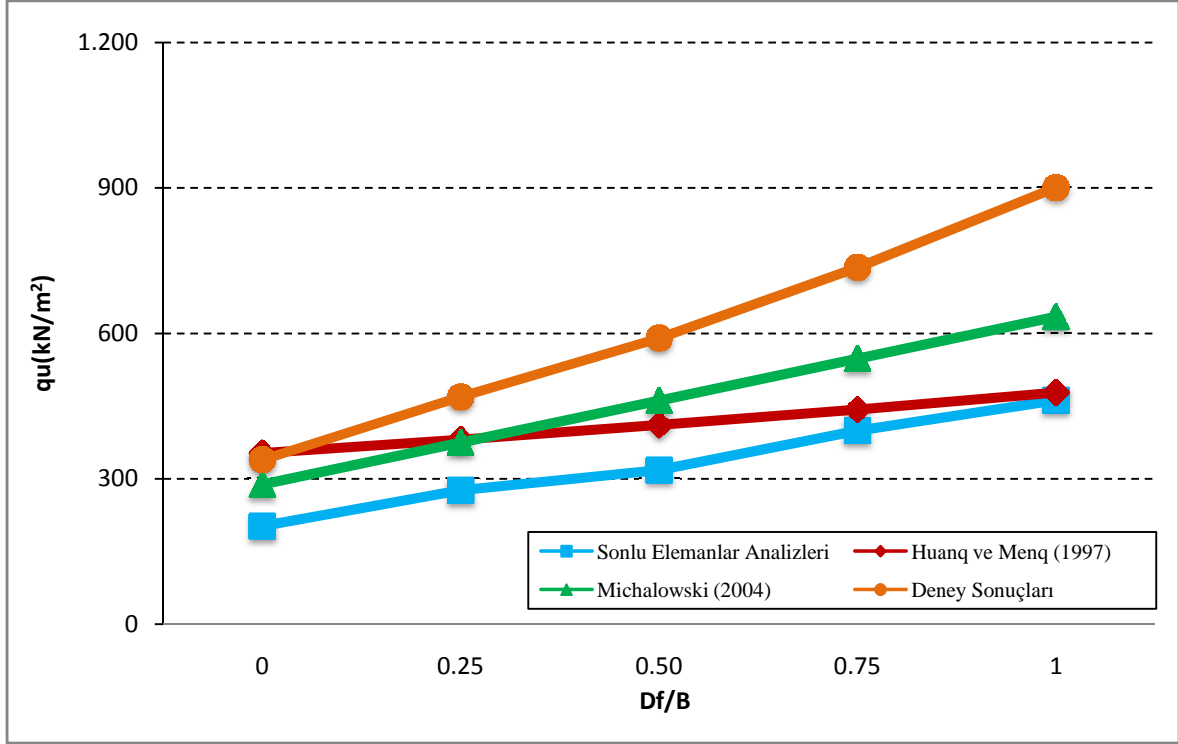
#### 6.4. Kuramsal ve Sayısal Yaklaşımlarla Hesaplanan Taşıma Güçlerinin Model Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Patra ve diğerleri (2005)'nin yaptıkları model deneyler sonucunda belirlenen taşıma güçleri analitik taşıma gücü yöntemleri ve sayısal analizlerle içsel sürtünme açısı 41° ve 44° olarak yapılmıştır. Çizelge 6.8'de sonuçlar özetlenmiştir. Ayrıca sonuçların grafiksel olarak sunumu şekil 6.14 ve şekil 6.15 verilmiştir.

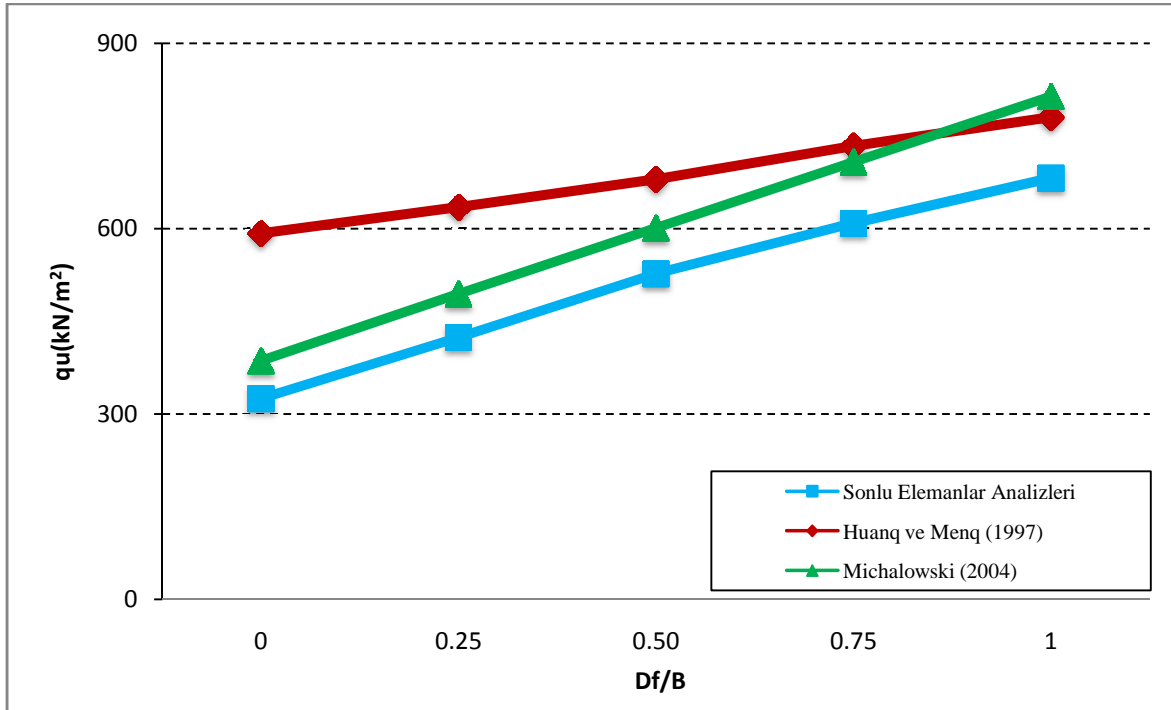


Çizelge 6.8. Deney serisi III; yöntemlere taşıma gücü değerleri karşılaştırması

| Hesaplama Yöntemi          | Deney Serisi | Katman Sayısı | Df/B | $q_u$<br>Ø=41° için | $q_u$<br>Ø=41° için |
|----------------------------|--------------|---------------|------|---------------------|---------------------|
| Huanq ve Menq (1997)       | III          | 4             | 0    | 353kPa              | 592kPa              |
|                            |              |               | 0.25 | 380kPa              | 635kPa              |
|                            |              |               | 0.50 | 411kPa              | 680kPa              |
|                            |              |               | 0.75 | 443kPa              | 734kPa              |
|                            |              |               | 1    | 478kPa              | 781kPa              |
| Michalowski (2004)         | III          | 4             | 0    | 288kPa              | 386kPa              |
|                            |              |               | 0.25 | 375 kPa             | 495 kPa             |
|                            |              |               | 0.50 | 461kPa              | 602kPa              |
|                            |              |               | 0.75 | 548kPa              | 708kPa              |
|                            |              |               | 1    | 634 kPa             | 814kPa              |
| Sonlu Elemanlar Analizleri | III          | 4             | 0    | 202kPa              | 325kPa              |
|                            |              |               | 0.25 | 276kPa              | 424 kPa             |
|                            |              |               | 0.50 | 318kPa              | 527kPa              |
|                            |              |               | 0.75 | 399 kPa             | 609kPa              |
|                            |              |               | 1    | 462kPa              | 682 kPa             |
| Deney Sonuçları            | III          | 4             | 0    | 339kPa              |                     |
|                            |              |               | 0.25 | 469kPa              |                     |
|                            |              |               | 0.50 | 590kPa              |                     |
|                            |              |               | 0.75 | 736kPa              |                     |
|                            |              |               | 1    | 901kPa              |                     |



Şekil 6.14. Deney Serisi III, içsel sürtünme açısı  $\phi=41^\circ$ 'ki  $D_f/B$  oranına göre taşıma gücü karşılaştırma grafiği



Şekil 6.15. Deney Serisi III, içsel sürtünme açısı  $\phi=41^\circ$ 'ki  $D_f/B$  oranına göre taşıma gücü karşılaştırma grafiği

Huanq ve Meng (1997) ile Michalowski (2004)'nin kuramlarına ve sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ışığında veri çizelgesi oluşturulmuş ve çizelge değerleri grafik çizime aktarılmıştır. Ayrıca deney sonuçları da aynı çizelgeye yansıtılarak değerlendirme imkânı sağlamıştır. Kum zeminin sürtünme açısı  $41^{\circ}$  alınarak yapılan kuramsal ve sayısal taşıma gücü analizleri deneysel sonuçların altında kalmaktadır. Bununla birlikte, zemin sürtünme açısı  $44^{\circ}$  alındığında deneysel sonuçlar ile analiz sonuçları arasında uyum olduğu anlaşılmaktadır.

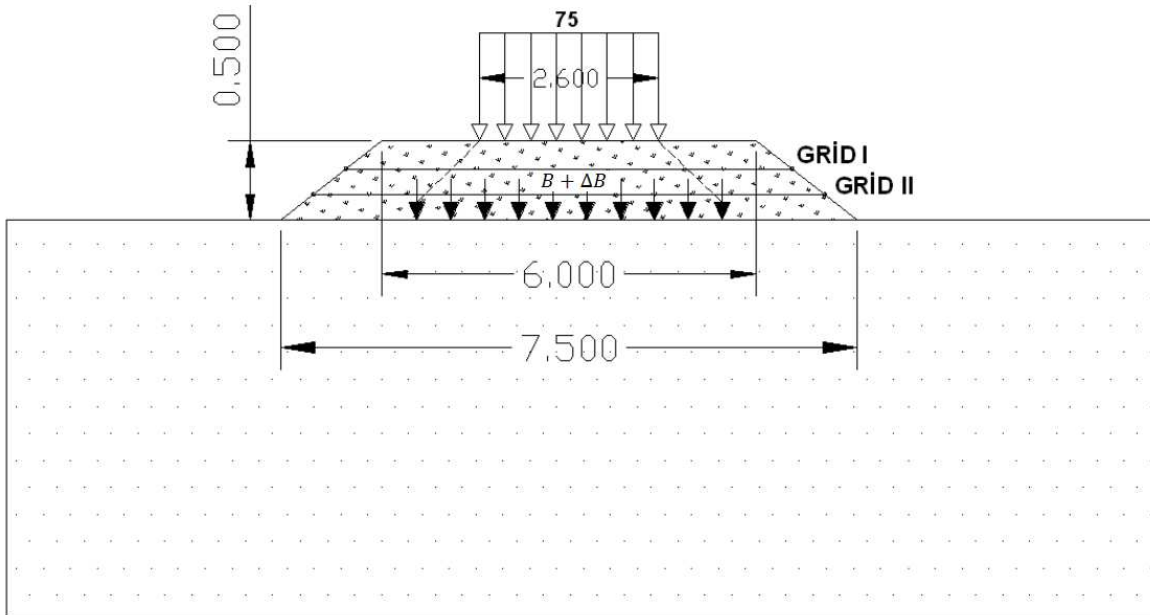


## 7. KURGUSAL BİR DEMİRYOLU KESİDİNDE JEGRID UYGULAMASI

### 7.1. Örnek Bir Demiryolu Projesinde Jeogrid Kullanımı

Bir demiryolu dolgusunda jeogrid kullanımının güvenlik katsayısına etkisini araştırmak amacıyla hipotetik(düşünsel) vakada suya doymun zayıf bir kil zemin üzerine edilecek 0.5 metre kalınlığında bir demiryolu altyapısı modellenmiştir. Bu vaka için, suya doymun, drenajsız kayma dayanımı 25 kPa olan bir kil zemin durumu varsayılmıştır. Bu türden zemin koşullarına alüvyon zeminler içeren ovalarda sıklıkla rastlanabilir. Modellenen zeminin birim hacim ağırlığı  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ , kohezyonu  $c = 25 \text{ kPa}$ , içsel sürtünme açısı  $\phi = 0^\circ$  dir. Uygulanacak dolgu zemininin, birim hacim ağırlığı  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ , kohezyonu  $c = 5 \text{ kPa}$ , içsel sürtünme açısı  $\phi = 38^\circ$  dir. Dolgu zeminine uygulanacak jeogridin donatı çekme kuvveti  $T = 60 \text{ kN/m}$  'dir. Şekil 7.1'de kurgusal model görülmektedir.

Kurgulanan vaka için, taşıma gücü hesapları Huanq ve Meng (1997) ve Wayne ve diğerleri (1998) yöntemleri ve sonlu elemanlar analizleriyle yapılmıştır.



Şekil 7.1. Analizi yapılan vakanın modeli

## 7.2. Huanq ve Menq (1997)'in Yöntemine Göre Yapılan Hesaplamalar

Şekil 7.1'de gösterilen donatı ilavesinden dolayı temel genişliğindeki artış  $\Delta B$ , hesaplamalar sonucunda  $\Delta B + B = 3,96$  m olarak bulunmuş ve Vesic taşıma gücü kuramına göre taşıma gücü parametreleri;  $N_\gamma = 0$ ,  $N_q = 1$ ,  $N_c = 5,14$  olarak bulunmuştur.

$$q_u = \frac{1}{2} * (B + \Delta B) * \gamma * N_\gamma * + \gamma (D_f + d) N_q + c * N_c$$

$$q_u = 137 \text{ kPa}$$

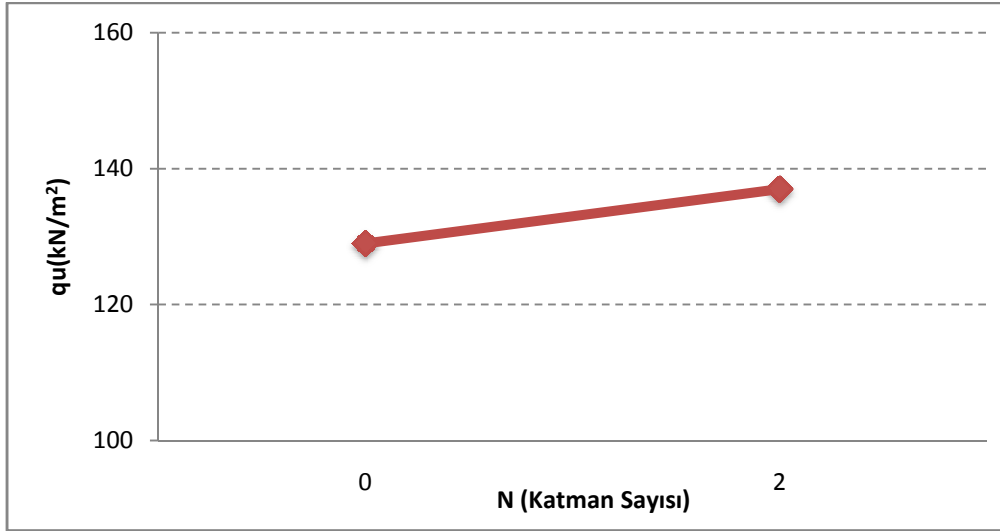
$$\Delta q = 49 \text{ kPa}$$

Dolgu altındaki gerilme aktarımı  $49 \text{ kPa}$  olarak hesaplanmıştır.

Huanq ve Meng (1997)'in yöntemiyle hesaplanan taşıma güçleri çizelge 7.1'de özetlenmiş ayrıca grafiksel olarak şekil 7.2'de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Huanq ve Menq (1997)'in yöntemine göre hesaplanan taşıma güçleri

| Katman Sayısı | Df/B | $q_u$<br>Terzaghi Taşıma Gücü<br>Teorisi | $q_u$<br>Vesic Taşıma Gücü<br>Teorisi | Güvenlik<br>Katsayısı<br>( $q_u/\Delta q$ ) |
|---------------|------|--|---------------------------------------|---|
| 0             | 0    | 143 kPa                                  | 129 kPa                               | 1,72  |
| 2             | 0    | 151 kPa                                  | 137 kPa                               | 2,79  |

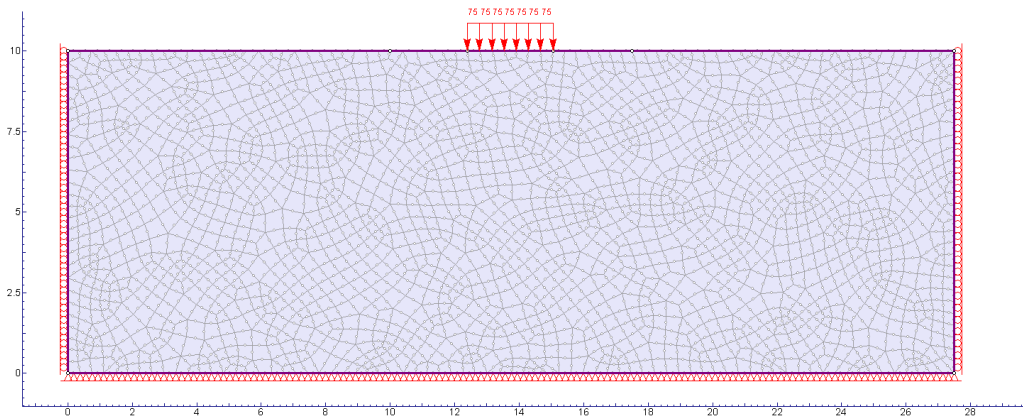


Şekil 7.2. Huanq ve Menq (1997)'in yöntemine göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği

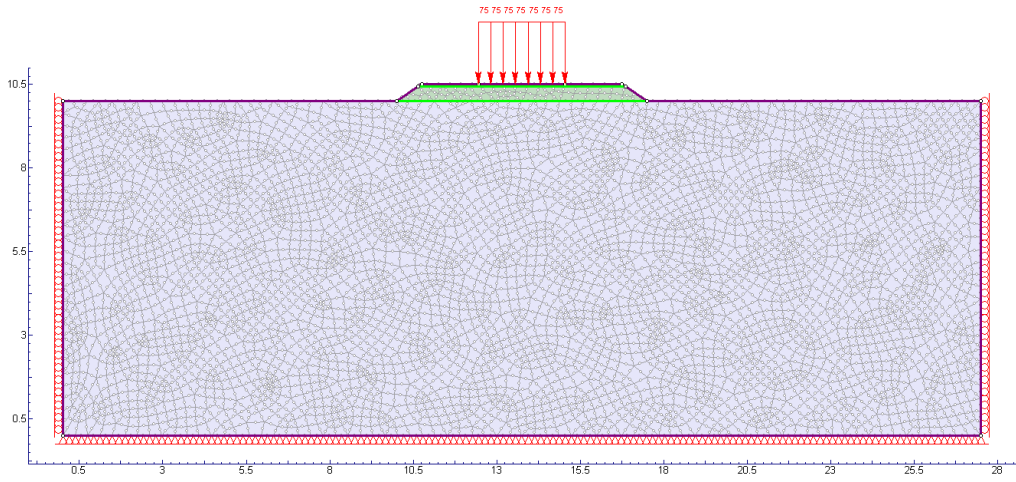
Huanq ve Menq (1997)'in yöntemine göre % 6,2 oranında taşıma gücü artmıştır.

### 7.3. Sonlu Elemanlar Analizleri

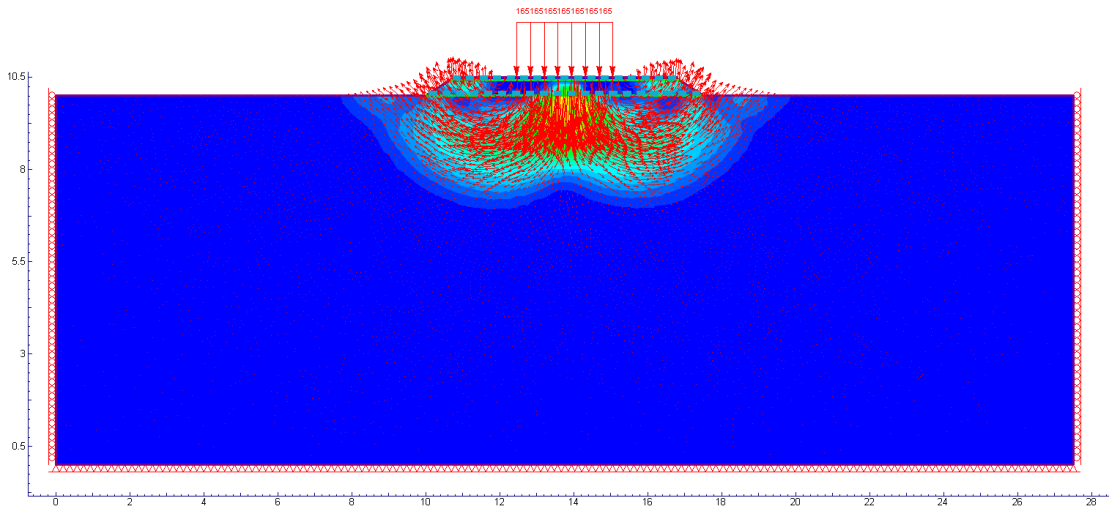
Analizlerde ilk aşama olarak yerindeki yenilme dağılımı modellenmiş ve temel üzerindeki yayılı gerilme, zemin yenilme noktasına ulaşana kadar aşama aşama artırılmıştır. Hipotetik vaka model simülasyonunda kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları verilmiştir (Şekil 7.3, Şekil 7.4). Sonlu elemanlar modeli için elde edilen yenilme anındaki deformasyonların dağılımı gösterilmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.3. Doğal zemin analizi için kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları



Şekil 7.4. Güçlendirilmiş dolgu için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları



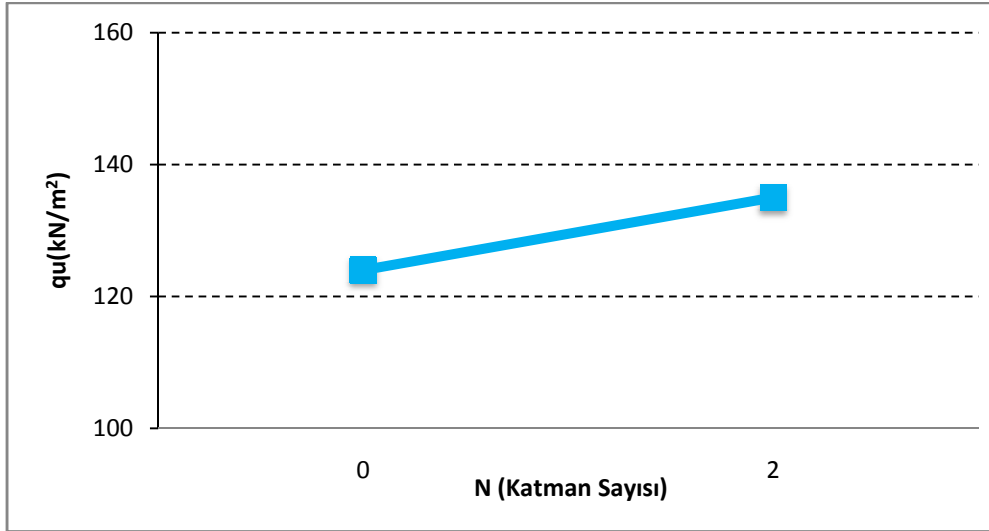
Şekil 7.5. Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen yenilme anındaki deformasyonların dağılımı

Çizelge 7.2'de Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen taşıma güçleri özetlenmiş ve ayrıca sonuçlar grafiksel olarak da sunulmuştur (Şekil 7.6).

Çizelge 7.2. Sonlu elemanlar analizi

| N | Df/B | $q_u$   |
|---|------|---------|
| 0 | 0    | 124 kPa |
| 2 | 0    | 165 kPa |





Şekil 7.6. Sonlu elemanlar analizi'ne göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği

Sonlu elemanlar analizine göre jeogrid ile güçlendirilmiş zeminin taşıma gücü% 33 oranında artmıştır.

#### 7.4. Wayne ve diğerleri (1998)'nin Yöntemine Göre Hesaplama

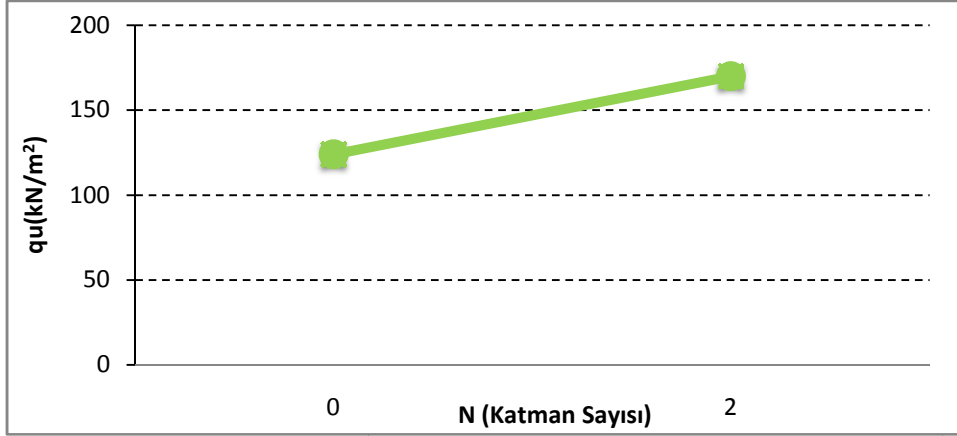
$$q_{ult} = q_b + 2c_i \frac{d}{B} + \gamma_1 d^2 x K_s x \frac{\tan 38}{B} + 2 \frac{T}{B} - \gamma_t d$$

$$q_{ult} = 170,205 \text{ kPa}$$

Wayne ve diğerleri (1998)'nin yöntemine göre elde edilen sonuçlar ışığında veri çizelgesi oluşturulmuş gösterilmiştir (Çizelge 7.3). Ayrıca grafik çizimi olarak verilmiştir (Şekil 7.6).

Çizelge 7.3. Wayne ve diğerleri (1998)'nin yöntemi

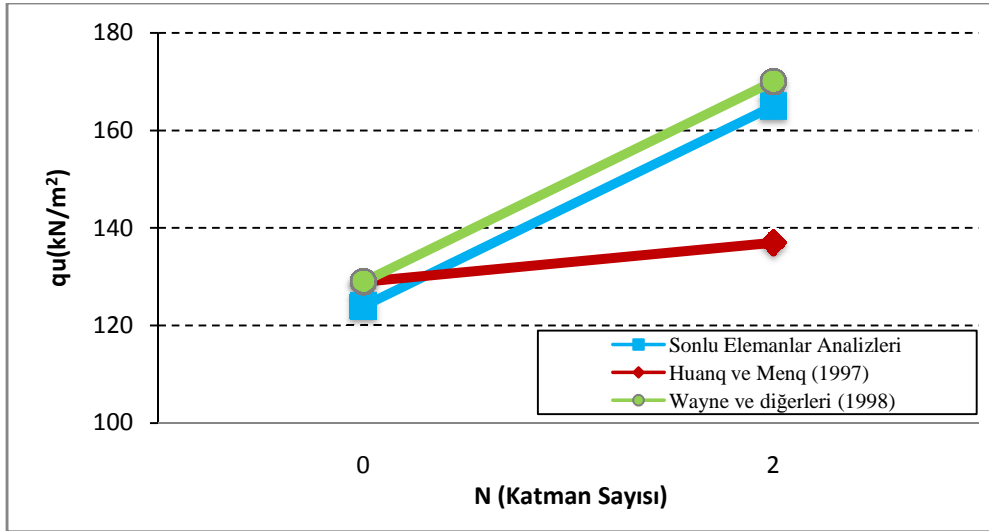
| N | Df/B | $q_u$   |
|---|------|---------|
| 0 | 0    | 124 kPa |
| 2 | 0    | 170 kPa |



Şekil 7.7. Wayne ve diğerleri(1998)'nin yöntemi göre katman sayısına bağlı taşıma gücü grafiği

Wayne ve diğerleri (1998)'nin yöntemine göre % 37 oranında taşıma gücü artmıştır.

Huanq ve Meng (1997) ile Wayne ve diğerleri(1998)'nin kuramlarına ve sonlu elemanlar analizine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Huang ve Meng (1997) ile Wayne ve diğerleri (1998)'nin kuramı ve Sonlu elemanlar analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Michalowski (2004)'nin yöntemi homojen zemin koşulları için geçerlidir Bununla birlikte modellenmeye çalışılan demiryolu alt yapısında, üst kısmında granüle dolgu alt kısmında ise yumuşak kil birim bulunmaktadır. Bu nedenle Michalowski (2004)'nin yöntemi kullanılamamıştır.

Modellenen demiryolu dolgusunda jeogrid kullanımının güvenlik katsayısına etkisi; Huanq ve Meng (1997) ile Wayne ve diğeri (1998)'nin kuramlarına ve sonlu elemanlar analizine göre yapılan hesaplamalar referans alınarak grid kullanımının taşıma gücünü ve güvenlik katsayısını arttırdığını destekleyen uyumlu sonuçlar görülmektedir.



## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, jeogrid donatılı zeminler üzerindeki temel sistemleri ile ilgili yapılan kuramsal ve deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Donatılı zemin için önerilmiş analitik modeller ve sayısal analizler incelenmiştir. Ayrıca Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan model deney sonuçları Huang ve Menq (1997) ve Michalowski (2004)'nin önerdiği yöntemlerle ve sonlu elemanlar analizi ile kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücü hesaplanmış, Patra ve diğerleri (2005) tarafından yapılan ve literatürde yayınlanmış olan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel ve analizlerden aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- a) Temelin yüzeyden itibaren belirli derinliklere gömülme derinliği arttıkça diğer parametreler sabit olacak şekilde hesaplandığında taşıma gücünün de arttığı görülmüştür.
- b) Farklı sayıda donatı kullanılmasının kumun taşıma gücü üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.
- c) Patra ve diğerleri (2005)'nin yapmış olduğu model deneylerinde kullandıkları kumun içse sürtünme açısını  $41^\circ$  olarak belirlemiştir. Bu deneylerin analizleri analitik yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Analizlerde kumun sürtünme açısı  $41^\circ$  olarak alındığında hesaplanan taşıma güçleri deney verilerinden düşük elde edilmekte ancak kumun sürtünme açısı  $44^\circ$  olarak analizler yinelenildiğinde hesap sonuçları deney sonuçlarıyla uyumlu çıkmaktadır.
- d) Donatılı zeminler üzerindeki temel sistemleri ile ilgili yapılan kuramsal çalışmaların kolay uygulandığı görülmüştür.
- e) Michalowski (2004)'nin önerdiği yöntem de, model deneyin taşıma gücü değeri ile uyumlu vermektedir, ancak zemin özellikler heterojen ise örneğin yumuşak zemin üzerine oturuyorsa bu yöntem kullanılamamaktadır.
- f) Sharma ve diğerleri (2009)'nin önerdiği yöntem en son geliştirilen yöntem olmasına rağmen her bir jeogrid tabakada oluşacak çekme kuvvetinin tahmin edilmesi gerektiği için bu çalışmada kullanılamamıştır.
- g) Kurgusal vakada iki tabaka jeogrid kullanıldığında donatılı zeminin taşıma gücünün güçlendirilmemiş zemine oranla % 33 mertebesinde arttığı belirlenmiştir.

- h) Son bölümde modellenen örnek demiryolu hipotetik vaka uygulamasından; 2 tabakalı grid kullanımı sonucunda taşıma gücü ve güvenlik katsayısının arttığı belirlenmiştir.

Güçlendirilmiş zeminlere oturan temellerin taşıma gücü ile ilgili yapılan kuramsal çalışmaların sayısı, deneysel çalışmalara göre oldukça sınırlıdır. Bunun yanı sıra, yapılan incelemeler ve hesaplamalar kuramsal yöntemlerin, grid ile dolgu malzemesi arasında kenetlenme varsa hesaba katmadığını göstermektedir. Kenetleme mekanizmasını hesaba katan yöntem olmadığı için kuramsal çalışmaların geliştirilmeleri gerekliliğini de ayrıca göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Akinmusuru, J.O., and Akinbolade, J.A.(1981). *Stability of Loading Footinson Reinforced Soil*. Journal of Geotechnical Engineering, (107), 819-827.
- Aksoy, İ.M.(1993).*Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Jeogrid Uygulaması Konularında Araştırma*.Yayımlanmış Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Al-Mosawe, M. J., and Al-Dobaissi, H. H.(2010).*Reinforced Earth Response ToImpact Loading*. Proc. Of The International Symposium On EarthReinforcement Practice, Fukuoka-Japan, Pp. 653-658
- ASTM D4439-14 Standart Terminology for Geosynthetics
- Ay, İ.(2014). *Geosentetik Malzemelerin Demiryollarında Kullanımı ve Balast – Alt Balast Tabaka Kalınlıklarının Azaltılması*. Yayımlanmış Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bağcı, F. (2007). *Jeosentetiklerle projelendirme ve zemin–jeosentetik arayüzey sürtünme açılarının değişik jeosentetik ve zemin türleri için araştırılması*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bayram, A. (2006). Havaalanları Pist DolgularınınJeosentetikMalzemeler Kullanılarak Güçlendirilmesi, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beckham, W. K., and Mills, W. H. (1935). *Cotton-fabric-reinforced roads*. Engineering NewsRecord, Vol. 114, No. 14.
- Binquet, J., and Lee, K. L. (1975a). *Bearing Capacity Tests On Reinforced Earth Slabs*.Journal Of Geotechnical Engineering Division, Asce, 101 (Gt12), 1241-1255.
- Binquet, J., and Lee K. L.(1975b). *Bearing Capacity Tests On Reinforced Earth Slabs*. Journal Of Geotechnical Engineering Division, Asce, 101(12), 1257-1276.
- Birand, A.(2001).*Kazıklı Temeller*. Teknik Yayınevi, Ankara.
- Birand, A. (2006).*Sığ (Yüzeysel) Temeller*. Teknik Yayınevi, Ankara.
- Chen, Q. (2007).*An experimental study on characteristics and behavior of reinforced soil foundation*. Published PhD Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge.
- Cindemir, Y.O. (1997).*Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller*.Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coduto, D. P. (2005).*Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar*(çev. M. Mollamahmutoğlu ve K. Kayabalı). Gazi Kitapevi, Ankara.

- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics*. Spon Press Taylor and Francis Group, London and New York.
- Çelik, S.(1997). *Jeogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Jeogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi* .Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çetin Karagül, B. (2007). *Yol dolgularının jeogrid kullanılarak iyileştirilmesi*.Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çoruh, T. (1991). *Jeosentetikler*. DSİ Gen. Md. Teknik Araş. ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Yayını, No: 798, Ankara.
- Das, B. M., Shin, E. C., and Omar, M. T.(1994). *The Bearing Capacity of Surface Strip Foundations on Jeogrid Reinforced Sand and Clay-A Comparative Study*. Geotechnical and Geological Engineering, 12(1), 1-14.
- Das, M. B., 1999, "Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement", CRC Press, USA, 365p
- Deb, K., Sivakugan, N., Chandra, S., and Basudhar, P.K. (2007). *Numerical analysis of multi layer geosynthetic-reinforced granular bed over soft fill*. Geotechnical and Geological Engineering, 25 (6), 639-646.
- Demir, A. (2011). *Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Demiröz, A. (2008). *Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması*.Yayımlanmış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Department of the army US ARMY Corps of Engineers. (2003). WashingtonDC.
- EN ISO 1038 (2004) Floss, R., and Bräu.,G. (2004). *Design Fundamentals for Geosynthetic Soil Technique*. Proceedings of 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics. Seoul, Korea, 85-103.
- Ghosh, A., Ghosh, A., and Bera, A.K. (2005). *Bearing Capacity Of Square Footing On Pond Ash Reinforced With Jute-Geotextile*. Geotextiles and Geomembranes, 23(2), 144-173.
- Giroud, J.P., and Noiry, L. (1981). *Geotekstil-reinforcement Unpaved Road Design*.ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division Vol.107, No.GT9, 1233-1254.
- Güler, E. (2014). *Geoteknik mühendisliğinde yeni bir devir başlatan malzeme: Geosentetikler*.Zemin mekaniği ve temel mühendisliği 15. Ulusal kongresi 2014, Ankara. 1-35.



Huang, C.C. ve Menq, F.Y, 1997. Deep-Footing and Wide-Slab Effects in Reinforced Sandy Ground. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123(1), 30-36.

Huang, C.C., and Tatsuoka, K.(1990). *Bearing Capacity Of Reinforced Horizontal Sandy Ground*. *Geotextile and Geomembranes*, (9), 51-82.

IGS, (International Geosynthetic Society). (2009). *Recommen descriptions of geosynthetics functions, geosynthetics terminology, mathematical and graphical symbols.*, South Carolina, USA.

İnternet: İki Düzlemlı Jeonet. GSE World. URL:  
<http://www.gseworld.com/Products/Geonets-and-Geocomposites/BiPlanar/>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Jeohücre. Tenax. URL:  
<http://www.tenax.net/geosynthetics/products/geocell-tenweb> Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Jeomat. Maccaferri. URL:  
<http://www.officinemaccaferri.com/products/geosynthetics/geomats/13295-2.html>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Jeosentetik Kil Kaplamalar. EPA. URL:  
<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/geosyn.pdf>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Jeomembran. XR. URL:  
<http://xr-technology.com/why-xr-technology.php>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Jeokompozitler. Wiki. URL:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Geocomposite>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Filtrasyon İşlevi. Tikp. URL:  
<http://www.tikp.co.uk/knowledge/market-sectors/geotextiles/overview/>, Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İnternet: Drenaj İşlevi. Dupont. URL:  
[http://www2.dupont.com/Typar/en\\_US/assets/downloads/other\\_languages/uk/TH\\_Typar\\_uk\\_2010\\_LR.pdf](http://www2.dupont.com/Typar/en_US/assets/downloads/other_languages/uk/TH_Typar_uk_2010_LR.pdf), Son Erişim Tarihi: 03.03.2015.

İsmail, I., and Raymond, G.P. (1995). *Geosynthetic Reinforcement Of Granular Layered Soil*. *Proceeding, Geosynthetics'95 Conference*, (1), 317-330.

John, N.W.M.,(1987) *Geotextiles*, Blackie and Son Ltd., Glasgow, UK

Karagül, B, Ç., (2007). *Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Khing, K.H., Das, B. M., Puri, V.K., Cook, E.E., and Yen, S. C. (1993). *The Bearing Capacity Of A Strip Foundation On Jeogrid Reinforced Sand*. Geotextiles and Geomembranes, (12), 351-361.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*. Prentice Hall Five Edition, New Jersey.
- Kumar, A., and Saran, S.(2003). *Closely Spaced Footings On Jeogrid- Reinforced Sand*. Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Asce, 129(7):660-664.
- Kurian, N., Beena, K.S., and Kumar, R. K.(1997). *Settlement Of Reinforced Sand In Foundations*. Journal Of Geotechnical Engineering, 123(9), 818-827.
- Laman, M. and Yıldız, A.(2003). *Model Studies Of Ring Foundations On Jeogrid Reinforced Sand*. Geosynthetics International, 10(5), 142-152.
- Lichtberger, B. (2011). *Track Compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics*. Eurailpress.
- Maharaj, D. K.(2002). *Nonlinear Finite Element Analysis Of Strip Footing On Reinforced Clay*. The Electronic Journal Of Geotechnical Engineering, 8(C).
- Mandal, J. N., and Sah, H.S. (1992). *Bearing Capacity Tests On Jeogrid- Reinforced Clay*. Geotextiles and Geomembranes, 11(3), 327-333.
- Meyerhof, G. G., 1951, "The Ultimate Bearing Capacity of Foundation", Geotechnique, pp. 301-302.
- Meyerhof, G.G., and Hanna, A.M. (1978). *Ultimate Bearing Capacity Of Foundations On Layered Soils Under Inclined Load*. Canadian Geotechnical Journal, (15), 565-572.
- Michalowski, R. L.(2004). *Limit Loads On Reinforced Foundation Soils*. Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Asce, 130(4), 381-390.
- Ochiai, H., Hayashi, S., Yang, J. and Otani, J., 1992. Reinforcing Effects of Foundation Ground with Geogrids. Proceedings of International Symposium on Soil Improvement and Pile Foundation, Nanjing, China, 310-315.
- Omar, M. T., Das, B. M., Yen, S. C., Puri, V. K., and Cook, E. E.(1993b). *Ultimate Bearing Capacity of Rectangular Foundations on Jeogrid-Reinforced Sand*. Geotechnical Testing Journal, Vol: 16, No: 2, 246-252.
- Omar, M., Das, B. M. , Puri, V., and Yen, S. (1993). *Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with jeogrid reinforcement*. Can. Geotech. J. 30: 545-549.
- Omar, M. T., Das, B. M., Puri, V. K., and Yen, S. C. (1993a). *Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations on Sand with Jeogrid Reinforcement*. Journal Canadian Geotechnical, Vol: 11, No: 7, pp. 545-549.

- Otani, J. and Yamamoto, K., 1996. Experimental Study on Localized Deformation Behaviour of Reinforced Foundation Ground. Proceedings of International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Balkema, 653-658.
- Otani, J., Ochiai, H., and Yamamoto, K. (1998). *Bearing Capacity Analysis Of Reinforced Foundations On Cohesive Soil*. Geotextile and Geomembranes, (16), 195–206.
- Örnek, M. (2009). Yumuşak kil zeminlerin jeogrid donatı ile güçlendirilmesi. Yayımlanmış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öztekin, A. (1992). Geotekstil Üzerine Bir İnceleme. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Patra, C. R., Mandal, J. N., and Das, B. M. (2005). *Ultimate Bearing Capacity Of Shallow Foundation On Jeogrid-Reinforced Sand*. International Conference; 16th, Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1397-1400.
- Patra, C. R., Das, B. M., Bhoi, M., and Shin, E. C. (2005). *Eccentrically Loaded Strip Foundations On Jeogrid-Reinforced Sand*. Technical Note, Geotextiles and Geomembranes, 1-6.
- Prandtl, L. (1921). *Über Die Eindringungsfestigkeit Plastischer Baustoffe Und Die Festigkeit Von Schnitten*. Zeitschrift Fur Wandte Mathematik Und Mechanik, 15-20.
- Rajagopal, K. (2013). *Geosynthetics and Reinforced Soil Structures*. Department of Civil Engineering IIT Madras, Chennai.
- Rankine, W.J. M. (1885). *A Manual Of Applied Mechanics*. London, Charles Griffin and Co, 219-220.
- Schlosser, F., Jacobsen H.M., and Juran I. (1983). *Soil Reinforcement*. General Report, VIII. European Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Balkema, Helsinki, 83–103.
- Schmertmann, J.H., Hartman, J.P., and Brown, P.R. (1978). *Improved Strain Influence Factor Diagrams*. Journal Of The Geotechnical Engineering Division, Asce 104(Gt8), 1131–1135.
- Sharma, R., Chen, Q., Abu-Farsakh, M. and Yoon, S., 2009. Analytical Modeling of geogrid reinforced soil foundation. Geotextiles and Geomembranes, 27 (1), 63- 72.
- Shin, E.C., Das, B.M., Lee, E.S. and Atalar, C. (2002). Bearing capacity of strip foundation on jeogrid-reinforced sand. Geotech. Geologic. Eng., 20: 169-180.
- Shukla, S. K., and Yin, J-H. (2006). *Fundamental of Geosynthetic Engineering*. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Tensar. (1998). *Technical Notes, Chemical and Mechanical Stabilization of Subgrades and Flexible Pavements*. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA

- Tensar. (2003). *Tensar ground stabilisation brochure*. Tensar International Limited, Blackburn BB2 4PJ, UK.
- Terzaghi, K.(1943).*Theoretical Soils Mechanics*. Wiley, New York.
- TS EN 10318. (2006). *Jeotekstiller – Terimler ve Tarifler*. Türk StandartlarıEnstitüsü Bakanlıklar/ANKARA.
- Tunç, A. (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Wasti, Y., 1992, İnşaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri, 98 s
- Wasti, Y., (2007) Geosentetikler Teori ve Uygulama, Ankara
- Wayne, M. H., Han, J., Akins, K. (1998). The design of geosynthetic reinforced foundations. *Proceedings of Geosynthetics in Foundation and Erosion Control Systems*. ASCE Geotechnical Special Publication, vol. 76, 1-18.
- Vesic, A. S.(1973). *Analysis Of Ultimate Loads Of Shallow Foundations*. Journal OfThe Soil Mechanics and Foundations Division, Asce, 99 (Sm1), 45-73.
- Vidal, H. (1968). *La Terre Arme*. Annales de L’Intitut Technique du Batiment et des Travaux Publics, 888-938.
- Yamamoto, K., and Otani, J.(2002). *Bearing Capacity and Failure MechanismOf Reinforced Foundations Based On Rigid-Plastic Finite ElementFormulation*. Geotextiles and Geomembranes, 20(6), 367–393.
- Yetimoğlu, T.(1994). *Jeogrid Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin TaşımaKapasitesi*.Yayımlanmış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen BilimleriEnstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, A.(2002). *Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi*.Yayımlanmış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yıldız, L. (2005). *Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Ne Oturan Yüzeysel Temel Analizi*.Yayımlanmış Yüksek Lisans, Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SUNGUR, Nilüfer

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 05.02.1984, Sakarya

Medeni hali : Evli

Telefon : 0(535)239 12 71

e-mail : nilufer-golcuk@hotmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi             | Mezuniyet tarihi |
|---------------|---------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi/F.B.E.  | Devam Ediyor     |
| Lisans        | Gazi Üniversitesi/T.E.F.  | 2010             |
| Lise          | Adapazarı ATSO Tic. M. L. | 2002             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                             | Görev                 |
|-----------|---------------------------------|-----------------------|
| 2012-2013 | OSKA Yazılım / Ankara           | OSEM Sorumlusu        |
| 2012-2012 | TMMOB Mimarlar Odası / Ankara   | AutoCAD Kurs Eğitmeni |
| 2011-2012 | Türküzü Oğuzhan E.M.L. / Ankara | Yapı Öğretmeni        |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Yeni yerler görmek, Kitap okumak, Sinema, Tenis Oynamak,



*GAZİ GELECEKTİR..*