



**KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN GRANÜLER YOL DOLGUSU
ŞEVLERİNİN GEOGRİD DONATIYLA İYİLEŞTİRİLMESİ**

Cahit ÇİÇEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2014

Cahit ÇİÇEK tarafından hazırlanan “Kil Zemin Üzerine İnşa Edilen Granüler Yol Dolgusu Şevlerinin Geogrid Donatıyla İyileştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÖZER

İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

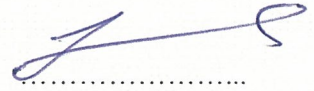
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Başkan: Prof. Dr. Reşat ULUSAY

Uygulamalı Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

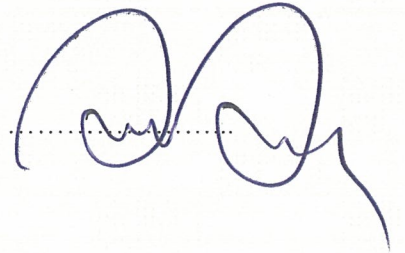
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye: Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 04/07/2014

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.



Cahit ÇİÇEK

04.07.2014

KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN GRANÜLER YOL DOLGUSU ŞEVLERİNİN GEOGRİD DONATIYLA İYİLEŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Cahit ÇİÇEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2014

ÖZET

Bu çalışmada, 34°, 45° ve 60° eğimli şevlerden oluşan granüler yol dolgusu şevlerinin geogrid donatı kullanılarak iyileştirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan tip yol kesitleri kullanılarak 6 m yüksekliğinde ve 23 m genişliğinde bir yol dolgusu tasarlanmıştır. Bu dolgunun 6 m kalınlığındaki killi bir zemin formasyonuna oturduğu kabul edilmiştir. Geogridin farklı dayanımlara sahip yol dolgusu şevlerinin duraylılığına katkısını belirlemek amacıyla çözümlenelerde hem yol dolgusunu oluşturan malzemenin, hem de dolgunun üzerine oturduğu killi zeminin dayanımları için farklı değerler kabul edilmiştir. Böylece “zayıf dolgu-zayıf zemin” durumundan “güçlü dolgu-güçlü zemin” durumuna kadar değişen farklı durumlar için çözümleneler gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlenelerde şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla çekme dayanımı 100 kN/m ile 300 kN/m arasında değişen geogridler kullanılmıştır. Yapılan çözümlenelerin sonucunda; dolgu ve zeminin yeterince güçlü olduğu durumlarda geogrid veya başka bir yöntemle güçlendirmeye gerek olmadığı, hem dolgu malzemesi hem de zeminin zayıf olduğu durumlarda ise geogridin duraylılığı sağlamada yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.050

Anahtar Kelimeler : Geogrid, granüler yol dolgusu, şev duraylılığı, kil zemin

Sayfa Adedi : 168

Danışman : Doç. Dr. Mustafa ÖZER

IMPROVEMENT OF GRANULAR ROAD EMBANKMENTS CONSTRUCTED ON CLAY SOILS USING GEOGRID REINFORCEMENT

(M.Sc. Thesis)

Cahit ÇİÇEK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2014

ABSTRACT

In this study, improvement of granular road filling embankments with slopes of 34°, 45° and 60° using geogrid reinforcement was investigated. For this purpose, a road embankment with a height of 6m and with a width 23 m was designed by using typical road section from the General Directorate of Highways of Turkey. It was assumed that this embankment was constructed on a clayey soil with a thickness 6 m of. In order to determine contribution of the geogrid to stability of the road embankments with different strength, values for both the embankment material and claysoil were assumed. Thus, the analyses were conducted for conditions ranging from “soft embankment-soft ground” to “strong embankment-strong ground”. In these analyses, to achieve stable conditions, different geogrids having tensile strength between 100 kN/m to 300 kN/m were used. Based on the analyses results, it was concluded that there is no need to use either geogrid or any other materials for strengthen the slope when both embankment and base materials are strong enough. Besides, the results also indicated that the geogrid becomes insufficient to provide stability when both embankment and base materials are very soft.

Science Code : 714.1.050

Key Words : Geogrid, granular road embankment, slope stability, clay soil

Page Number : 168

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Doç. Dr. Mustafa ÖZER'e, kıymetli önerilerini esirgemediği için Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnş.Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnş.Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Doç. Dr. N. Sinan IŞIK'a, Hendese Jeoteknik Mühendislik İmar İnş. Elektronik Turizm San. Tic. LTD. ŞTİ.'ne ait Slide bilgisayar programını kullanmama izin verdiği için Şirket Müdürü Sn. Fatih ADİL'e, Karayolu enkesit bilgisini bizimle paylaştığı için T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü yetkililerine, ayrıca her zaman yanımda olan, manevi desteğini hep hissettiğim eşim Ayşe ÇİÇEK'e ve hayatıma her zaman gülümseme katan oğlum Enes İhsan ÇİÇEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xviii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xxiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. GEOSENTETİKLER.....	3
2.1. Geosentetik Türleri.....	3
2.1.1. Geotekstilller.....	4
2.1.2. Geogridler.....	6
2.1.3. Geomembranlar.....	7
2.1.4. Geohücreler.....	7
2.1.5. Geonetler.....	8
2.1.6. Geomatlar.....	9
2.1.7. Geofoamlar.....	10
2.1.8. Geosentetik kil örtü.....	10
2.1.9. Geokompozitler.....	11
2.2. Geosentetiklerin İşlevleri.....	12
2.2.1. Ayırma.....	13
2.2.2. Güçlendirme.....	13

	Sayfa
2.2.3. Koruma.....	14
2.2.4. Filtrasyon (Süzme).....	14
2.2.5. Drenaj.....	15
2.2.6. Erozyon kontrol (yüzey erozyon kontrolü).....	16
2.2.7 Sıvı / gaz geçişini önleme.....	17
3. GEOGRİDLER.....	18
3.1. Üretim Yöntemine Göre Geogridler.....	19
3.1.1. Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler.....	19
3.1.2. Kaynaklı ve/veya yapıştırımalı geogridler.....	20
3.1.3. Örgülü geogridler.....	21
3.2. Göz Açıklığı Şekline Göre Geogridler.....	22
3.2.1. Tek yönlü geogridler.....	23
3.2.2. Çift yönlü geogridler.....	24
3.2.3. Üç yönlü geogridler.....	26
3.3. Geogridlerin Çalışma İlkesi (Kenetleme Mekanizması).....	27
3.4. Geogridlerin Tasarım Dayanımının (Dayanım azaltma katsayılarının) Belirlenmesi.....	30
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	33
5. YOL DOLGUSUNUN TASARLANMASI VE BİLGİSAYAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	37
5.1. Yol Dolgusunun Geometrisi ve Boyutları.....	38
5.2. Malzeme Parametreleri.....	41
5.2.1. Yol temeli.....	41
5.2.2. Yol dolgusu.....	41
5.2.3. Yol zemini.....	42

	Sayfa
5.3. Slide Programında Modelin Oluşturulması.....	43
6. DOLGU İÇİN ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ.....	44
6.1. Şev Açısı, $\alpha = 34^\circ$ İçin Yapılan Çözümler.....	45
6.1.1. Yumuşak kil zemin - zayıf granüler dolgu (senaryo 1).....	45
6.1.2. Yumuşak kil zemin - orta sağlam granüler dolgu (senaryo 2).....	55
6.1.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 3).....	63
6.1.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 4).....	68
6.1.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 5).....	73
6.1.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 6).....	78
6.1.7. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 7).....	83
6.1.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 8).....	88
6.1.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 9).....	93
6.2. Şev Açısı, $\alpha = 45^\circ$ İçin Yapılan Çözümler.....	95
6.2.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 10).....	95
6.2.2. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 11).....	96
6.2.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 12).....	97
6.2.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 13).....	100
6.2.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 14).....	102
6.2.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 15).....	103
6.2.7. Katı zemin - zayıf dolgu (senaryo 16).....	105
6.2.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 17).....	106
6.2.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 18).....	107
6.3. Şev Açısı, $\alpha = 60^\circ$ İçin Yapılan Çözümler.....	109

	Sayfa
6.3.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 19).....	109
6.3.2. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 20).....	110
6.3.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 21).....	111
6.3.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 22).....	112
6.3.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 23).....	112
6.3.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 24).....	113
6.3.7. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 25).....	114
6.3.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 26).....	114
6.3.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 27).....	115
7. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	116
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR.....	129
EKLER.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	162

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Dayanım azaltma katsayıları için önerilen değerler.....	32
Çizelge 5.1. Yol dolgusu için seçilen dayanım parametrele.....	42
Çizelge 5.2. Zemin için seçilen dayanım parametreleri ve buna karşılık gelen yaklaşık SPT değerleri.....	42
Çizelge 5.3. Kil dayanımı ile SPT arasındaki ilişki.....	43
Çizelge 6.1. Çözümlemelerde dikkate alınacak senaryolar.....	45
Çizelge 6.2. Yumuşak zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	54
Çizelge 6.3. Yumuşak zemine oturan orta sağlam dolgu için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	62
Çizelge 6.4. Yumuşak zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	67
Çizelge 6.5. Yumuşak zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	67
Çizelge 6.6. Sıkı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	73
Çizelge 6.7. Sıkı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	78
Çizelge 6.8. Sıkı zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	82
Çizelge 6.9. Sıkı zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	83
Çizelge 6.10. Sıkı zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	87
Çizelge 6.11. Katı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	92
Çizelge 6.12. Katı zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	97
Çizelge 6.14. Yumuşak zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	96

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.15. Sıkı zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	97
Çizelge 6.16. Yumuşak zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	99
Çizelge 6.17. Sıkı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	100
Çizelge 6.18. Sıkı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	101
Çizelge 6.19. Sıkı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	103
Çizelge 6.20. Sıkı zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	104
Çizelge 6.21. Katı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	104
Çizelge 6.22. Katı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	105
Çizelge 6.23. Çok katı zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları.....	107
Çizelge 6.24. Yumuşak zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	109
Çizelge 6.25. Yumuşak zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	110
Çizelge 6.26. Yumuşak zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	111
Çizelge 6.27. Sıkı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	111
Çizelge 6.28. Sıkı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	112
Çizelge 6.29. Sıkı zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	113
Çizelge 6.30. Katı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	113

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.31. Katı zemine oturan orta sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	114
Çizelge 6.32. Katı zemine oturan sağlam dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları.....	115
Çizelge 7.1. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)	115
Çizelge 7.2. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)	116
Çizelge 7.3. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)	117
Çizelge 7.4. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)	117
Çizelge 7.5. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)	117
Çizelge 7.6. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)	117
Çizelge 7.7. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)	118
Çizelge 7.8. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)	118
Çizelge 7.9. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)	118
Çizelge 7.10. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)	119
Çizelge 7.11. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)	119
Çizelge 7.12. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)	119
Çizelge 7.13. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)	120
Çizelge 7.14. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)	120

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 7.15. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)	121
---	-----

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ayırma amaçlı geosentetik kullanımı.....	13
Şekil 2.2. Geosentetiklerin güçlendirme işlevi	14
Şekil 2.3. Geosentetik malzemenin korunması işlevi.....	14
Şekil 2.4 Geosentetik malzemenin filtrasyon işlevi.....	15
Şekil 2.5. Geosentetik malzemedede drenaj.....	16
Şekil 2.6 Erozyon kontrolünde geosentetik malzeme.....	16
Şekil 2.7. Geosentetik malzemenin geçirimsizliği.....	17
Şekil 3.1. Üç yönlü geogridin yük dağıtımına şekli.....	25
Şekil 3.2. Üç yönlü geogridin agrega tanelerini kenetlemesi.....	25
Şekil 3.3. Geogrid kuşaklarının enine kesitinde dolgu parçacıklarını taşıyan noktaların gösterilmesi.....	29
Şekil 3.4. Geogridlerin kenetlenme mekanizması	29
Şekil 3.5. Kenetlenme mekanizması örneği	30
Şekil 5.1. Yol dolgusunun oluşturulmasında yararlanılan karayolu tip kesiti....	39
Şekil 5.2. Yol temel kalınlığının belirlenmesinde yararlanılan karayolu tip enkesiti.....	40
Şekil 5.3. Bu çalışmada kullanılmak amacıyla tasarlanan yol dolgusu	41
Şekil 6.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu geometrisi ve zemin parametreleri.....	45
Şekil 6.2. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun desteksiz çözümlenmesi.....	46
Şekil 6.3. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi.....	47
Şekil 6.4. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi.....	47
Şekil 6.5. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 6.6. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun yedi sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümümesi	65
Şekil 6.7. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun yedi sıra geogrid donatı kullanılarak ($T_a=150$ kN/m) çözümümesi	66
Şekil 6.8. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümümesi	66
Şekil 6.9. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümümesi	68
Şekil 6.10. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun farklı yükseklikte üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümümesi	69
Şekil 6.11. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun farklı yükseklikte üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözümümesi	70
Şekil 6.12. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	71
Şekil 6.13. Güvenlik katsayısının, a) Birim hacim ağırlığa (γ) karşı, b) Kayma dayanımı açısına (ϕ) karşı hassasiyeti	72
Şekil 6.14. Güvenlik katsayısının birim hacim ağırlığın (γ) ve içsel sürtünme açısının (ϕ) her ikisine birlikte hassasiyeti.....	72
Şekil 6.15. Yumuşak zemine oturan orta sağlam dolgunun beş sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümümesi	73
Şekil 6.16. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümümesi	74
Şekil 6.17. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüle dolgunun üç sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümümesi	75
Şekil 6.18. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüle dolgunun üç sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) çözümümesi.....	76
Şekil 6.19. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	76
Şekil 6.20. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun dokuz sıra geogridler ($T_a=100$ kN/m) çözümümesi	77

Şekil	Sayfa
Şekil 6.21. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun altı sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümülemesi	78
Şekil 6.38. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümülemesi	79
Şekil 6.39. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=150$ kN/m) çözümülemesi	80
Şekil 6.40. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=200$ kN/m) çözümülemesi	80
Şekil 6.41. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümülemesi	81
Şekil 6.42. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözümülemesi	82
Şekil 6.43. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	83
Şekil 6.44. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümülemesi	84
Şekil 6.45. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=150$ kN/m) çözümülemesi	85
Şekil 6.46. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=200$ kN/m) çözümülemesi	85
Şekil 6.47. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümülemesi	86
Şekil 6.48. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözümülemesi	87
Şekil 6.49. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	88
Şekil 6.50. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=100$ kN/m) çözümülemesi	89
Şekil 6.51. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümülemesi	89
Şekil 6.52. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümülemesi	90

Şekil	Sayfa
Şekil 6.53. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümlemesi	91
Şekil 6.54. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) çözümlemesi	91
Şekil 6.55. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	93
Şekil 6.56. Katı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun destek (güçlendirme) uygulanmadan yapılan çözümlemesi	94
Şekil 6.67. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	95
Şekil 6.68. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	96
Şekil 6.69. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	97
Şekil 6.70. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun on bir sıra geogridle ($T_a=100$ kN/m) analizi	98
Şekil 6.71. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun on bir sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) analizi	89
Şekil 6.72. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi.....	91
Şekil 6.73. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu zemin parametreleri ve dolgu geometrisi	92
Şekil 6.74. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi.....	93
Şekil 6.75. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi.....	95
Şekil 6.76. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi	96
Şekil 6.77. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi.....	97
Şekil 6.78. Katı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlemesi	98

Şekil**Sayfa**

Şekil 7.1. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 100$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler.....	122
Şekil 7.2. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 150$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler	123
Şekil 7.3. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 200$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler.....	124
Şekil 7.4. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 100$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler.....	125
Şekil 7.5. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 150$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler.....	126

RESİMLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Resim 2.1. Örgülü geotekstil	6
Resim 2.2. Örgüsüz geotekstil	7
Resim 2.3. Geogrid	8
Resim 2.4. Geomembran	8
Resim 2.5. Geosel	9
Resim 2.6. Geonet	10
Resim 2.7. Geomat	11
Resim 2.8. Salt Lake City West Valley Trax hafif raylı sistem hattı ABD'de ikinci en büyük geofom projesi	12
Resim 2.9. Geosentetik kil kaplama	13
Resim 2.10. Çeşitli geokompozit örnekleri.....	12
Resim 3.1. Yaygın olarak kullanılan tipik bir ekstrüde geogrid görüntüsü	19
Resim 3.2. Ekstrüde yöntemi ile üretilmiş geogrid	20
Resim 3.3. Kaynak/yapıştırma yöntemiyle imal edilmiş geogridler	21
Resim 3.4. Örgülü geogrid türleri	22
Resim 3.5. Extrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler	24
Resim 3.6. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler	24
Resim 3.7. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş çift yönlü geogrid	26
Resim 3.8. Üç yönlü geogridin eşit kenarlı üçgen elemanları	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
T_a	Geogridin çekme dayanımı
c	Kohezyon
ϕ	İçsel sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlık
q	Sürşarj yükü
T_a	Tasarımda kullanılacak (veya izin verilen) çekme gerilmesi
T_i	İmalatçının belirttiği (fabrika) nihai çekme gerilmesi
K_Y	Yerleştirme hasarı için dayanım azaltma katsayısı
K_S	Sünme için dayanım azaltma katsayısı
$K_{K\&B}$	Kimyasal ve biyolojik parçalanma için dayanım azaltma katsayısı
K_D	Dikiş yeri için dayanım azaltma katsayısı
Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	American Society of Testing Materials
EN	Avrupa Standardı
ISO	International Organization for Standardization
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TS	Türk Standardı
SPT	Standart penetrasyon deneyi

1. GİRİŞ

Geosentetikler, polimerik malzemelerin fabrikalarda işlenmesiyle elde edilen ve inşaat mühendisliği projelerinin bir parçası olarak zemin, kaya veya diğer yer tekniğiyle ilgili malzemelerle birlikte kullanılan düzlemsel ürünlerdir (Holtz ve diğerleri, 1998).

Geosentetik kelimesi, geotekstil, geogrid, geosel, geonet, geomat, geofoam, geomembran ve geokompozit olarak adlandırılan sentetik polimer esaslı malzemeleri kapsayan genel bir terimdir. Her biri diğerinden farklı olan bu malzemelerin kullanım alanları da birbirinden farklıdır (Shukla ve Yin, 2006).

Geosentetikler; karayolu, demiryolu, barajlar, tüneller, atık depolama sahaları, şevlerin güçlendirilmesi ve istinat duvarları gibi inşaat mühendisliğinin değişik uygulama alanlarında güçlendirme, ayırma, koruma, filtrasyon, drenaj ve erozyon kontrolü amacıyla kullanılabilir.

Sentetik polimerlerin endüstriyel bir malzeme olarak üretilmesi, 1933'de polivinil kloridin (PVC) üretilmesiyle başlamış olup, 1939'da düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) ve poliamidin, 1950'de geliştirilmiş polistirenin (EPS), 1953'de polyesterin (PET) ve 1955'de yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) ve polipropilenin (PP) üretilmesiyle devam etmiştir (Hall, 1981).

İlk geosentetik malzeme kullanma denemesi 1926'da yol dolgusunu güçlendirmek amacıyla Güney Karolayna'da (ABD) gerçekleştirilmiştir (Hall, 1981). Geosentetiklerin zemin mekaniği alanındaki ilk kullanımı ise, 1950'lere rastlamaktadır. Amerika Toprak Islah Bürosu 1956'dan beri su kanalı inşaatlarında geomembran kullanmaktadır (Staff, 1984). Yine 1950'lerde Hollanda'da ve ABD'de zayıf zeminle granüler malzeme arasına ayırıcı katman ve filtre malzemesi olarak geotekstil kullanılmaya başlanmıştır. 1960'larda Fransa'da, karayolu ve demiryolu inşaatlarında zemini güçlendirmek amacıyla geotekstil kullanılmaya başlanmıştır (Shukla ve Yin, 2006). 1970'de ilk kez Fransa'da 17 m yüksekliğindeki Valcross barajının mansap tarafında filtre malzemesi olarak geotekstil kullanılmıştır (Giroud,

1992). Yine 1970'li yıllarda geotekstiller, istinat duvarlarının ve sarp şevlerin güçlendirilmesinde kullanılmıştır (Shukla ve Yin, 2006).

Günümüzde geline nokta, bilimsel yayınların artmasıyla, ilgili geosentetik derneklerinin kurulmasıyla, ulusal ve uluslararası standartların yayınlanmasıyla, üretim teknolojilerinin gelişmesiyle ve ürün çeşitliliğinin artmasıyla geosentetik uygulamaları adeta bir mühendislik disiplini haline gelmiştir. Bu disiplin içerisinde her bir geosentetik ürünün kullanımı da ayrı bir uzmanlık ister duruma gelmiştir.

Ülkemizde de kullanımı gittikçe yaygınlaşan geogridler genellikle geosentetik donatılı duvar yapımında, şevlerin güçlendirilmesinde, karayolu ve demiryolu zeminlerinin güçlendirilmesinde, karayolu üst yapısında yansıma çatlaklarının geciktirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak akademik çalışmalara da konu olmaktadır. Ülkemizde geogridler üzerine yapılan akademik çalışmalar ana başlıklar halinde değerlendirilecek olursa, bu çalışmaların genellikle geogridlerin gevşek kumlu zeminler üzerine inşa edilecek tekil temellerin güçlendirilmesi ve şevlerin güçlendirilmesinde kullanımı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmaların bir kısmı bilgisayar programları kullanılarak sayısal ortamlarda yapılırken, bir kısmı ise laboratuvar ortamında model deney düzenekleri kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir.

Bu çalışmada, geosentetik ürünlerden biri olan geogridin tipik bir karayolu dolgununun güçlendirilmesinde kullanımı ele alınmıştır. Dolgunun yumuşak, sıkı, katı ve çok katı taban kiline oturduğu durumlar ayrı ayrı incelenmiş ve her bir durumda dolgunun zayıf, orta sağlam ve sağlam malzemeyle inşa edileceği göz önüne alınmıştır. Dolgunun güçlendirilmesi için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılmıştır. Çözümlemeler bilgisayar ortamında "Slide" programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerinin sonucunda dolgunun oturduğu taban kilinin ve dolgunun inşa edildiği malzemesinin "Makaslama" dayanımı parametrelerine bağlı olarak geogridin etkin bir çözüm sunup sunmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. GEOSENTETİKLER

Son 30 yıl içerisinde geosentetiklerin inşaat işlerinde kullanımı hızla artmış ve en çok kullanılan malzemeler içerisinde yerini almıştır. Genel olarak, geosentetiklerin kullanımı güvenlik faktörünü arttırmakta, performansı iyileştirmekte ve geleneksel tasarım yöntemlerine göre maliyetleri azaltmaktadır (Bağcı, 2007).

Geosentetiklerden beklenen performansın alınabilmesi, doğru geosentetiğin uygun yerlerde kullanılmasına bağlıdır. Bunun için geosentetik türlerinin ve işlevlerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Aşağıdaki bölümlerde geosentetik türleri ve işlevleri kısaca tanıtılmıştır.

2.1. Geosentetik Türleri

Günümüzde farklı özelliklere ve işlevlere sahip geosentetik türleri bulunmaktadır. Ayrıca bir geosentetik türü kendi içinde de üretim şekline, kullanıldığı yere ve kullanım amacına göre çeşitlere ayrılabilir. Günümüzde en yaygın kullanılan geosentetik türleri şöyledir;

- Geotekstilller
- Geogridler
- Geomembranlar
- Geohücreler
- Geonetler
- Geomatlar
- Geofoamlar
- Geosentetik kil örtüler
- Geokompozitler

Bunların dışında, geoağ, geoboru, geospacer, geotüp, geohücre ve geoşerit gibi daha özel kullanım amaçları olan geosentetik türleri de vardır. Yaygın olarak kullanılan geosentetik türleri ilerleyen bölümlerde kısaca tanıtılmıştır.

2.1.1. Geotekstiller

Amerikan standartlarında (Amerikan Society of Testing and Materials; ASTM D 4439-11, 2011) geotekstil; bir mühendislik projesi, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürün olarak tanımlanmıştır.

Geotekstillerin üretiminde fiber, filament veya iplikler kullanılır. Fiber, kesilmiş film şeritlerini de içeren, bükülebilirliğe, inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranı ile karakterize edilen malzemelerdir. Filament ise, belirli uzunluğa sahip fiberlerdir. İplik (yarn) terimi ise, yine belli bir uzunluğa sahip, nispeten küçük kesit alanlı, bükülmüş veya bükülmemiş fiber veya filamentlerin montajlanmış ve geotekstil üretimine hazır hale getirilmiş hali için kullanılır (Giroud, 1986). Geotekstiller örgülü (woven) ve örgüsüz (nonwoven) olmak üzere iki türlü üretilebilmektedir. Geotekstilin üretim şekli fiziksel ve mekanik özelliği üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle ürün seçimi yapılırken kullanılacağı yere ve beklenen performansa göre uygun yöntemle üretilmiş geotekstil türünün seçilmesi çok önemlidir.

Örgülü geotekstiller

Örgülü geotekstiller; iplikçiklerin biri üretim yönünde, diğeri ise buna dik doğrultuda uzanması ve geleneksel örgü teknikleriyle örülmesi ile imal edilir (Resim 2.1). Örgülü geotekstiller suyun içinden geçişine az direnç gösteren tül veya elek tipi geotekstillerdir (Özkol, 2006).



Resim 2.1. Örgülü geotekstil (Özkol, 2006)

Örgüsüz geotekstilller

Örgüsüz geotekstilller üç farklı yöntemle üretilebilmektedir. Bunlar, üretim yöntemine göre iğnelenmiş, ısı yoluyla bağlanmış ve kimyasal yöntemle bağlanmış geotekstil ismini almaktadır. Bunların içinde en yaygın kullanılanı iğnelenmiş geotekstildir.

İğnelenmiş geotekstilller (Resim 2.2) sentetik kısa elyafların iğneleme yöntemiyle mekanik olarak keçe haline getirilmesiyle üretilirler. Bu amaçla, gevşek bir ağ durumundaki lifler konveyörün üzerine serilir ve bu ağ karşılıklı kancalı iğnelerle donatılmış bir panonun altından geçirilir. Bu kancalı iğneler, ağın tüm kalınlığı boyunca iner ve çıkar. Yukarı çıkma sırasında ağdaki bir kısım lif iğnelere takılır ve aşağı indiğinde tekrar bu liflerin yeri değişir ve böylece birbirlerine iyice karışması sağlanır. Her bir iğne tablasında binlerce iğne bulunur. Bu iğnelerin dağılım yoğunluğunu ayarlayarak, geotekstilin sıklığını ve yoğunluğunu ayarlamak mümkündür (Töremiş, 2003).



Resim 2.2. Örgüsüz geotekstil (GMA, 2002)

Termik (ısı yoluyla) bağlama yönteminde ağın üstü eritilerek yapışkanlık verilir ve liflerin birbirine bağlanması sağlanır. Termik bağlama liflerden oluşan ağı ya sıcak rulolar arasında ya da bir fırından geçirilerek gerçekleştirilir (Töremiş, 2003).

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

2.1.2. Geogridler

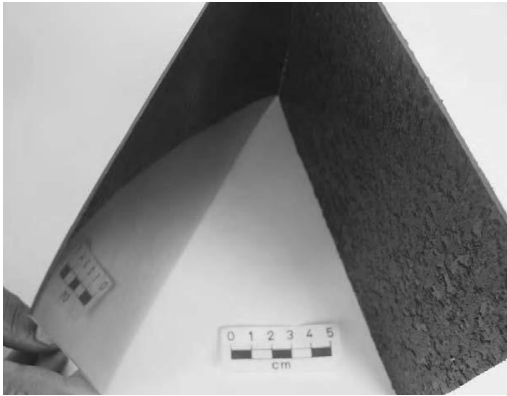
Açıklık boyutları, elemanlarının boyutlarından daha fazla olan, ekstrüzyon, yapıştırma veya geçmeyle birbirine tutturulmuş ve entegre olarak birleştirilmiş çekme elemanlarında oluşan, düzenli açık ağ biçimindeki düzlemsel, polimerik mamullerdir (Resim 2.3) (TS EN ISO 10318, 2006).



Resim 2.3. Geogrid (Karagül, 2007)

2.1.3. Geomembranlar

Geomembranlar, su yalıtım sağlamak için sentetik hammaddelerden yapılmış malzemelerdir (Resim 2.4). Kimyasal maddelere karşı yüksek dirence, yüksek çekme dayanımına, düşük geçirimsiliğe, delinme ve çatlamalara karşı yüksek dayanıma sahip olacak şekilde imal edilirler. Geomembranlar suya karşı geçirimsizlik sağlamak amacı ile kullanılırlar (Özaydın, 2010).

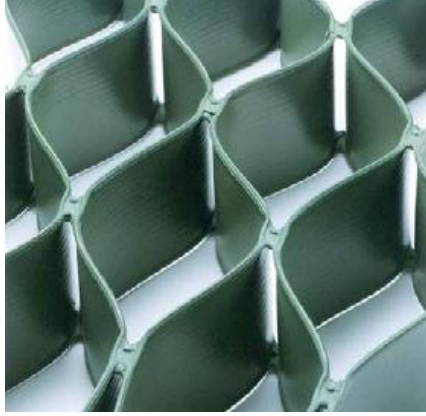


Resim 2.4. Geomembran (Shukla ve Yin, 2006)

2.1.4. Geohücreler

Geosel, yüksek yoğunluklu termoplastik şeritlerin kaynatılmasıyla oluşan hücre şekilli bir malzemedir (Resim 2.5). Geoseller esnektir, ulaşım esnasında katlanır, esnetilebilir ve servis esnasında gözenekleri beton veya taş ile doldurulabilir. Geosel güçlü yatay çevreleme etkisi sayesinde yerleştirildiği yerde sağlam bir yapı

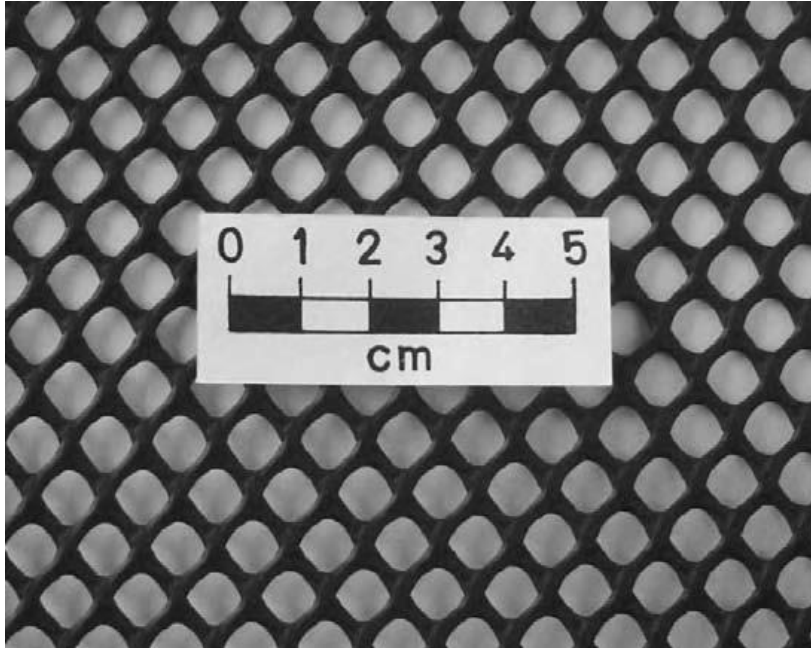
oluşturur. Ayrıca zayıf zeminin veya eğimli koruyucu yapının yüklemeye kapasitesini güçlendirmek için tampon yastık olarak da kullanılabilir (Karagöl, 2007).



Resim 2.5. Geosel (Karagöl, 2007)

2.1.5. Geonetler

Drenaj amacıyla kullanılan geonetler genellikle polietilenden üretilir. Geonet üretiminde yardımcı malzeme olarak % 1,2 karbon siyahı ve % 0,5 – 1 diğer katkıları kullanılır ve üretiminde öncelikle kullanılacak hammaddeler eritilip karıştırılır. Karışım bir tezgâha gönderilir. Tezgâhın üzerinde bulunan dönen aparat sayesinde iki doğrultuda nervürler oluşturur. Bu yarı katı madde şişme şeklindeki artan çapa sahip bir boruya geçirilir. Açılı 70-110 derece olan elmas şeklinde açıklıklar oluşur. Borudan çıkan geonet soğutucu tank yardımı ile soğutulur. Boyuna doğrultuda kesilerek geonetin son şekli verilmiş olur (Resim 2.6) (Koerner, 1999).



Resim 2.6. Geonet (Shukla ve Yin, 2006)

2.1.6. Geomatlar

Tekil poliyolefin liflerin üç boyutlu boşluklu bir yapı oluşturacak şekilde üretilmesi ile elde edilen geomatlar (Resim 2.7) bitkilendirme ve erozyon kontrolü uygulamalarında kullanılır. Üç boyutlu ve boşluklu yapısı sayesinde bitkilerin toprağa tutunmasını sağlayarak yüzeysel erozyonun engellenmesine yardımcı olurlar (İnternet 7).



Resim 2.7. Geomat (İnternet 7)

2.1.7. Geofoamlar

Geofom terimi ilk kez 1992'de kullanılmış olduğundan, tanımı üzerinde hâlâ bazı tartışmalar mevcuttur. Çok basit olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında dolgu malzemesi olarak kullanılan ve her türlü köpük malzemenin genel adıdır (Resim 2.8) (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Hücre duvarları katı ancak gazlara karşı geçirgendir. Geofom artık dünya genelinde geotekstil, geomembran vb. gibi bir geosentetik ürün olarak kabul edilmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2005).



Resim 2.8. Geofom projesi (Bağcı, 2007)

2.1.8. Geosentetik kil örtü

Geosentetik kil örtüler, suya ve diğer akışkan malzemelere karşı hidrolik bariyer olarak kullanılmaktadırlar (Koerner, 1999).

Hidrolik bariyer olarak, sıkıştırılmış kil tabakaları yerine, geosentetik kil kaplamalar kullanılabilir (GMA, 2002).

Geosentetik kil örtüler ilk kez 1988 yılında ABD'de inşa edilen bir katı atık depolama sahasında kullanılmış olup bu ürün iki geotekstil tabakası arasındaki bentonit kili karışımından oluşmaktadır (Resim 2.9). Geosentetik kil kaplamalar;

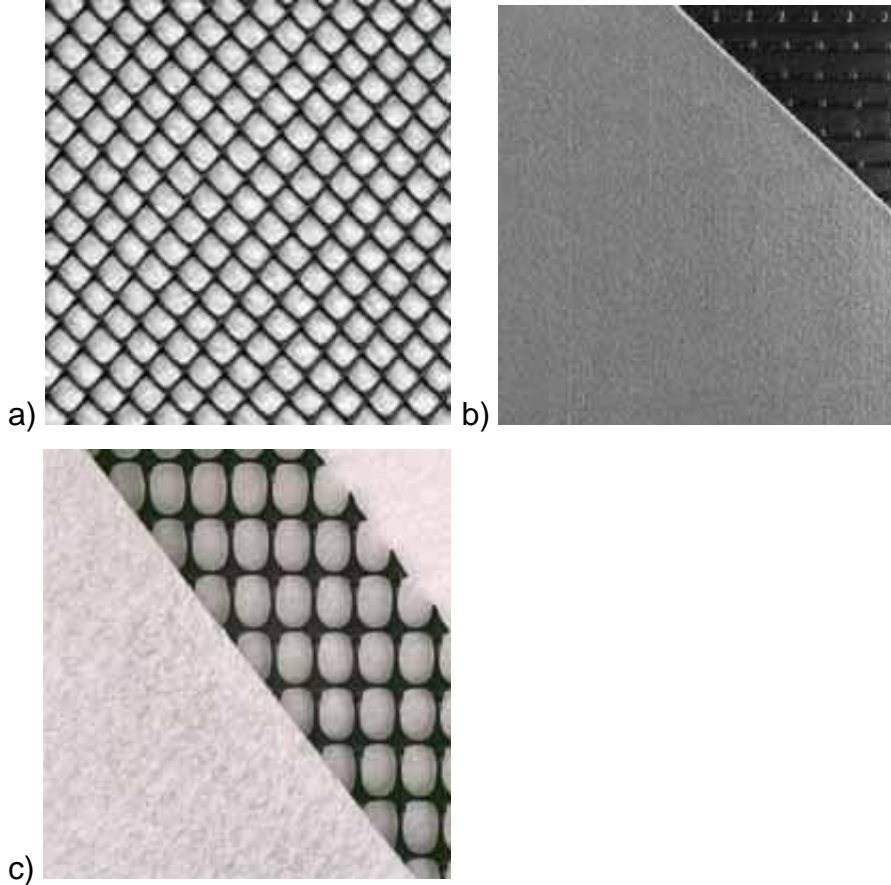
“kil şilteler”, “bentonit şilteler”, “bentonit hasırlar” ve “prefabrik bentonit kil şilteler” olarak da adlandırılmaktadırlar.



Resim 2.9. Geosentetik Kil Kaplama (İnternet 6)

2.1.9. Geokompozitler

Geokompozitler, birden fazla geosentetik ürünün birlikte kullanılmasıyla elde edilen malzemelerdir. İki malzemenin özellikleri birleştirilerek amaca daha uygun malzeme elde etmek için yapılırlar. Örneğin, geotekstil-geonet birlikteliğiyle drenaj için mükemmel bir sistem oluşturulmuş olur (Resim 2.10a). Geonet drenajı sağlarken, örgüsüz geotekstil sayesinde zemin parçacıklarının geonetin içine girmesi engellenir. Geotekstil-geomembran birlikteliğinde ise, geçirimsizliği sağlayan geomembranı koruma amaçlı örgüsüz geotekstil kullanılır (Resim 2.10b). Bu sayede olası membran delinmeleri önlenmiş olur. Geomembran-geogrid bileşiminde ise, geogridin yüksek dayanımından yararlanır. Bu sistem katı atık depolama alanlarında ve şevlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Tenax, 2005). Ayrıca çift sıra geotekstil ve tek sıra geogrid kullanımı da oldukça yaygındır (Resim 2.10c).



Resim 2.10. Çeşitli geokompozit örnekleri a) Tek tabaka geotekstil, tek tabaka geonet, b) Geotekstil – Geomembran geokompozit, c) Çift tabaka geotekstil, tek tabaka geogrid (Tenax, 2005)

2.2. Geosentetiklerin İşlevleri

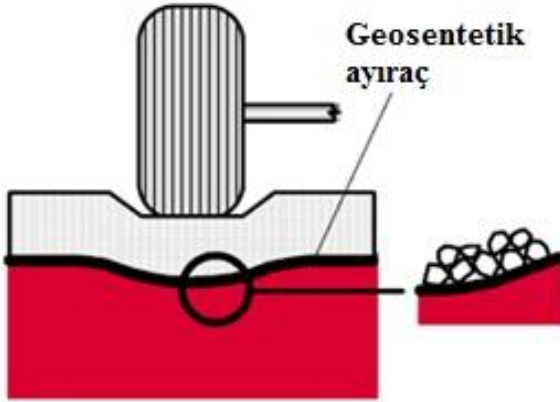
Geosentetikler inşaat mühendisliği uygulamalarında çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Hatta bir geosentetik ürünün birden fazla işlevi bulunabilir. Bir projede geosentetikten beklenen işlevin iyi saptanması, o projede kullanılacak olan geosentetiğin türüne ve özelliklerine isabetli karar verilmesi bakımından oldukça önemlidir. Geosentetiklerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki işlevleri aşağıdaki gibi sırlanabilir.

- Ayırma
- Filtrasyon (süzme)
- Drenaj
- Güçlendirme (takviye)
- Sıvı / gaz geçişini önleme

- Erozyon kontrolü (yüzey erozyon kontrolü)
- Koruma

2.2.1. Ayırma

Ayırma, geosentetik malzemenin, farklı tane büyüklüğü dağılımına sahip iki zemin tabakasını birbirinden ayırma (birbirine karışmasını önleme) amacıyla kullanılmasıdır (Şekil 2.1). Bu amaçla en yaygın kullanılan geosentetik ürün geotekstildir. Örneğin geotekstiller, bir karayolunda taneli temel malzemesinin yumuşak zeminin içine gömülmesini önlemek, ya da yumuşak zeminin geçirimli taneli malzemenin içine pompalanmasını önlemek amacıyla yaygın olarak kullanılır (IGS, 2009).

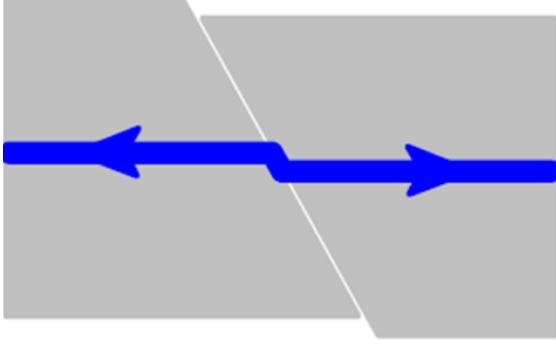


Şekil 2.1. Ayırma amaçlı geosentetik kullanımı (IGS, 2009)

2.2.2. Güçlendirme

Bu işlem; geosentetik malzemenin, zemin kütlelerinin içinde bir güçlendirme elemanı gibi rol oynaması veya zeminle bütünleşik kompozit bir malzeme gibi davranarak zeminin dayanım ve deformasyon özelliklerini iyileştirmesidir. Bu amaçla geotekstiller ve geogridler normalde çekme dayanımı olmayan zemine çekme dayanımı kazandırmak amacıyla kullanılabilirler. Geosentetiklerin güçlendirme özelliği, toprak bentlerin oldukça zayıf temeller üzerine inşa edilebilmesine ve toprak dolgu şevlerinin daha dik bir açıyla inşa edilebilmesine olanak sağlar. Geosentetikler (genellikle geogridler), karayolu ve demiryolu gibi yük taşıyan taneli seviyelerde veya atık depolama sahalarında kaplama

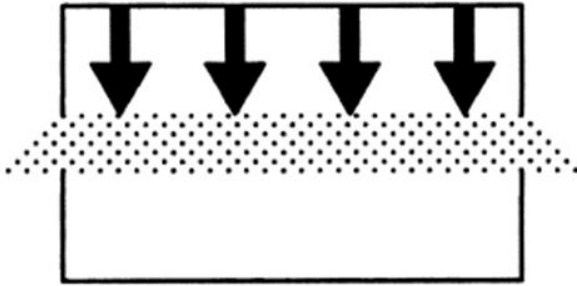
seviyesinin altında zamanla meydana gelebilecek boşlukları köprülemek amacıyla da kullanılabilirler (IGS, 2009).



Şekil 2.2. Geosentetiklerin güçlendirme işlevi (IGS, 2009)

2.2.3. Koruma

Koruma, geosentetik malzemenin bir başka geosentetik malzemeyi koruması amacıyla kullanılması durumudur (Şekil 2.3). Bu amaçla geotekstillere en yaygın kullanılan ürünlerdendir. Örneğin; geomembranın noktasal temas gerilmelerini azaltarak delinmesini ve/veya yırtılmasını önlemek amacıyla taneli malzeme ile geomembran arasına geotekstil serilmesi yaygın bir uygulamadır (IGS, 2009).

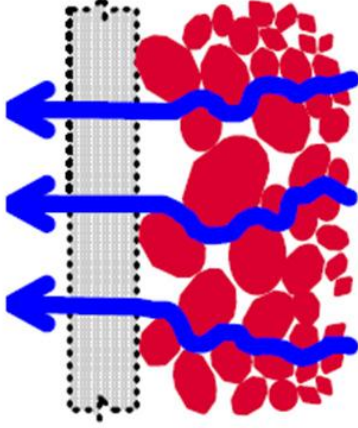


Şekil 2.3. Geosentetik malzemenin korunması işlevi (IGS, 2009)

2.2.4. Filtrasyon (Süzme)

Süzme, geosentetik malzemenin, tıpkı kum filitresi gibi, suyun geçişine izin verip belirli büyüklükteki zemin tanelerinin geçişine izin vermemesi durumudur (Şekil 2.4). Bu amaçla en yaygın kullanılan ürün yine geotekstildir. Geotekstillere, akış

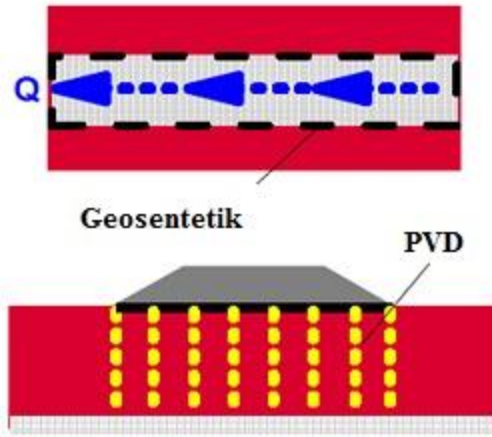
esnasında ince zemin tanelerinin, drenaj agregalarının, ya da borularının içine girmesini önlemek amacıyla kullanılabilir (IGS, 2009).



Şekil 2.4 Geosentetik malzemenin filtrasyon işlevi (IGS, 2009)

2.2.5. Drenaj

Drenaj, geosentetik malzemenin, tıpkı bir drenaj kanalı gibi hidrolik iletkenliği düşük bir malzeme içerisinde suyu taşıması durumudur (Şekil 2.5). bu amaçla yaygın olarak kullanılan geosentetik mamuller geonetler ve geotekstillerdir. Daha yüksek akışlar için bu iki malzemenin birlikte kullanılmasıyla elde edilen geokompozit drenler geliştirilmiştir. Bu tip malzemeler yol güzergâhlarında hendek drenajı, şevlerde akış önleme drenajı ve köprü yaklaşım dolgularının ve istinat duvarlarının drenajında kullanılmaktadır. Ayrıca, ön üretimli düşey drenler (PVD) kohezyonlu yumuşak zeminlerin konsolidasyonunu hızlandırmak amacıyla uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (IGS, 2009). Bir karayolu tabanında drenajın sağlanması amacıyla kullanılan bir geotekstil aynı zamanda yol tabanındaki boşluk suyu basıncının sönmülmesine de katkı yapmaktadır.

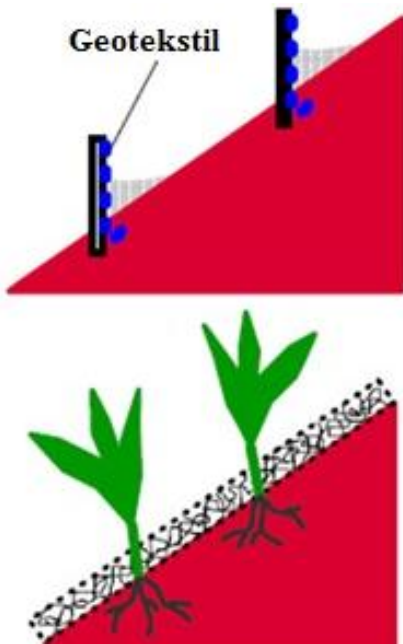


Şekil 2.5. Geosentetik malzemede drenaj (IGS, 2009)

2.2.6. Erozyon kontrol (yüzey erozyon kontrolü)

Geosentetik malzeme, yağmurdan ve yüzey sularının hareketinden kaynaklanan toprak erozyonunu azaltmak için kullanılmaktadır (Şekil 2.6). Bazı erozyon kontrol hasırları doğada çözülebilen ağaç (organik) ipliklerden yapılmaktadır (IGS, 2009).

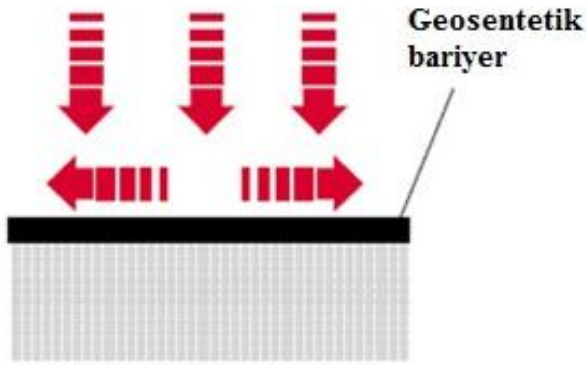
Ayrıca, su tutma yapılarında zemin erozyonunu önlemek amacıyla rip-rapın ve diğer koruyucu malzemelerin altına geotekstil yerleştirilmesi de diğer uygulamalardan birisidir.



Şekil 2.6 Erozyon kontrolünde geosentetik malzeme (IGS, 2009)

2.2.7 Sıvı / gaz geçişini önleme

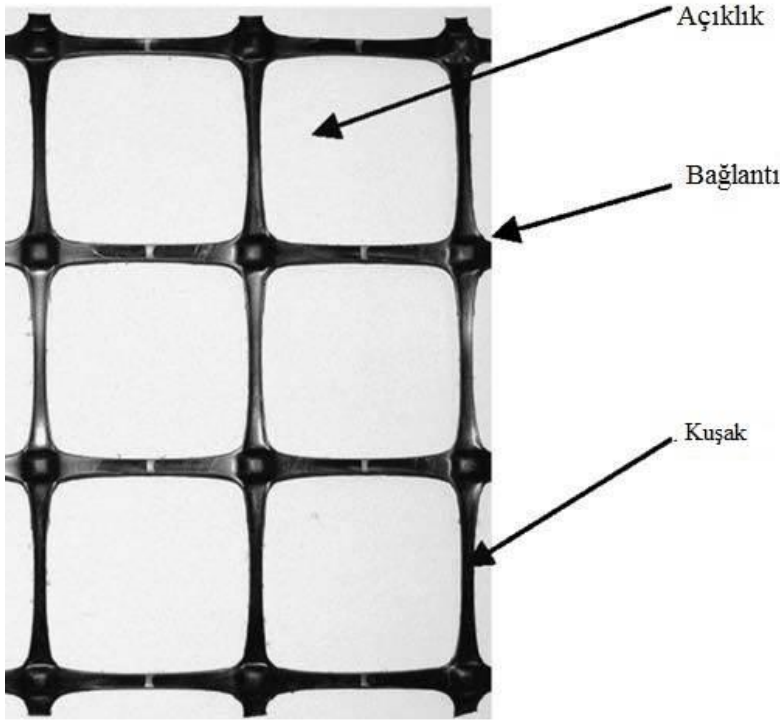
Geosentetik malzeme, sıvı ve gazlara karşı nispeten geçirimsiz bir engel işlevi görmektedir (Şekil 2.7). Örneğin geomembranlar, ince film şeklindeki geotekstil kompozitleri, geosentetik kil örtüler ve arazide kaplanan geotekstiller sıvı veya gazların akışını engelleyici bir malzeme olarak kullanılmaktadır (IGS, 2009).



Şekil 2.7. Geosentetik malzemenin geçirimsizliği (IGS, 2009)

3. GEOGRİDLER

Geogridler, dikdörtgen açıklıklar meydana getirecek şekilde birbirine bağlı çekme elemanlarından oluşan, çekme elemanları birbirine ekstrüzyonla, yapıştırma veya geçmeyle tutturulmuş, göz açıklığının boyutları, çekme elemanlarının boyutlarından daha büyük olan ağ şeklinde düzlemsel ve polimerik malzemelerdir (Resim 3.1). Izgara şeklindeki açıklıklara sahip geogridlerin inşaat mühendisliğindeki başlıca uygulama alanı zeminlerin güçlendirilmesidir (IGS, 2009).



Resim 3.1 Yaygın olarak kullanılan tipik bir ekstrüde geogrid görüntüsü (Brown ve diğerleri, 2007)

İnşaat mühendisliği uygulamalarında geogridler, zayıf temel zeminleri üzerine yapılacak olan seddelerin duraylılığını sağlamak, kaplamasız yollarda dayanımı arttırarak tekerlek izi derinliğini azaltmak, şev duraysızlıklarını önlemek, betonarme olarak inşa edilemeyecek yükseklikteki istinat duvarlarında istenilen ölçütleri sağlamak ve zayıf zeminler üzerine inşa edilmesi zorunlu olan makine temellerinin güçlendirilmesinde zeminin taşıma gücünü arttırmak için donatı amacıyla kullanılmaktadır. Geosentetikler ailesinden olan geogridler en çok kullanılan

polimerik malzemelerdir (Koerner, 1999). Geogridle güçlendirmenin temel ilkesi, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyon ve yüksek çekme dayanımı oluşturmaktır (Çelik, 1997).

Geogridlerinin başlıca özellikleri, esnek, yüksek dayanımlı, düşük sünmeli, kimyasal, biyolojik ve ultraviyole (U.V.) etkilerine karşı korumalı ve yapım aşamasındaki olumsuz koşullardan en az etkilenen bir yapı malzemesi olmasıdır. Geogridler, değişik gereksinimleri karşılamak üzere farklı çekme dayanımlarında ve göz açıklıklarında üretilmektedirler (Karagül, 2007).

Geogridler, üretim yöntemine ve göz açıklıklığı şekline göre farklı sınıflara ayrılabilir. Ayrıca, hem üretim yöntemi hem de göz açıklığının şekli geogridin çekme dayanımı üzerinde oldukça etkilidir. Bu bakımdan, bir proje için geogrid seçimi yapılacağına üretim yöntemine ve göz açıklığı şekline mutlaka dikkat edilmelidir. Aşağıda üretim yöntemleri ve göz açıklığı şekline göre geogrid türleri kısaca anlatılmıştır.

3.1. Üretim Yöntemine Göre Geogridler

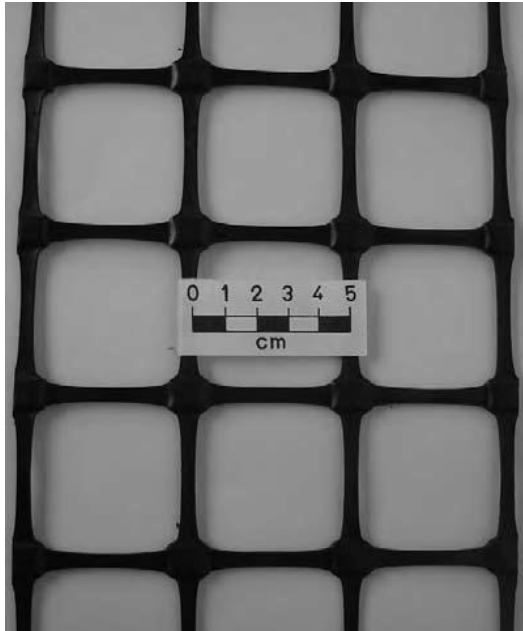
Geogridler üretim yöntemlerine göre üçe ayrılır. Bunlar, ekstrüde, kaynaklı ve örgülü geogridlerdir. Geogridlerin en önemli özelliği olan çekme dayanımı üretim şekline göre önemli ölçüde değişmektedir. Ayrıca, bileşim yerlerinin çekme (kopma) dayanımları da yine üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir (Tenax, 2005). Bazı durumlarda geogridin nihai çekme dayanımı, ancak geogridin kuşaklarının birleşim noktalarının kopma dayanımı kadar olmaktadır.

3.1.1. Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler

Ekstrüde geogridlerin üretiminde, büyük ölçekli polietilen ya da polipropilen plakalar (levhalar) kullanılır. Bu levhaların üzerine düzenli bir şekilde kalıplar yardımıyla delikler açılır ve yüksek sıcaklıktaki fırın ya da suyun içinde tek yönde veya çift yönde çekilerek dayanım kazandırılır. Bu üretim yöntemi sayesinde bağlantı noktaları kendiliğinden oluşur ve herhangi bir ek yeri bulunmaz (Resim 3.2). Çekme işlemi sırasında sıcaklık ve çekme oranı kontrol altında tutulur.

Dayanımı etkileyen asıl değişken çekme oranı olsa da, molekül ağırlığı, ağırlık dağılımı ve molekülün ayrılma veya bağlanma derecesi de önemlidir (Tenax, 2005; Karagül, 2007).

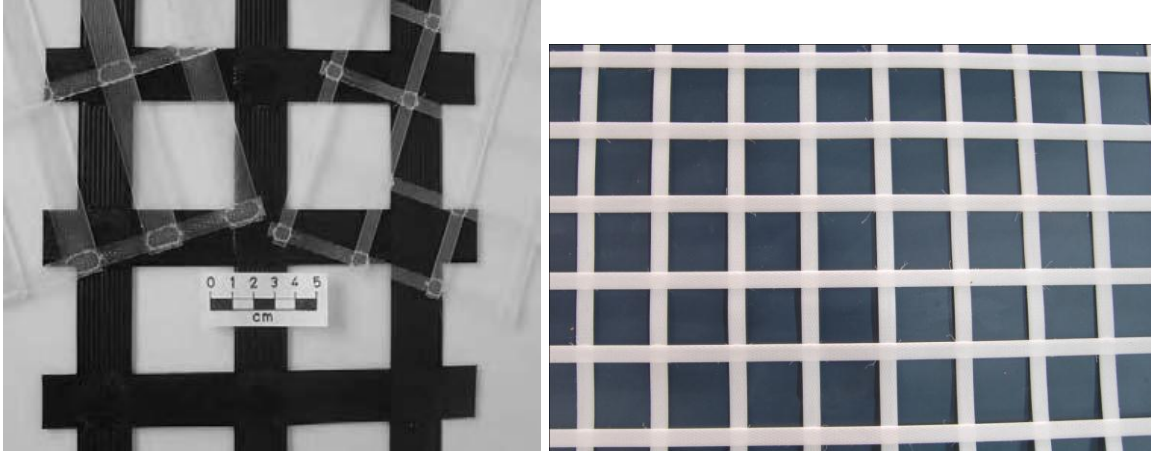
Ekstrüde geogridler üretim yöntemi bakımından dayanımı en yüksek geogrid tipidir. Kuşakların bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için üretim yöntemine göre bağlantı noktaları bakımından dayanımı fazladır. Ekstrüde geogridlerin diğerlerine karşı en büyük avantajı, bağlanma noktalarındaki çekme dayanımının yüksek olmasıdır.



Resim 3.2. Ekstrüde yöntemi ile üretilmiş geogrid (Shukla ve Yin, 2006)

3.1.2. Kaynaklı ve/veya yapıştırırmalı geogridler

Kaynaklı ve/veya yapıştırırmalı geogridler, yüksek dayanımlı şeritlerin birbirine dik olarak banda konulması ve bant üzerinde ilerlerken lazer ya da ısı yardımı ile bu şeritlerin birbirlerine kaynatılmasıyla (birleştirilmesiyle) üretilirler (Karagül, 2007). Şeritlerin birleştirilmesi işlemi kimyasal reçineler kullanılarak da yapılabilmektedir. Şeritleri birleştirmek için kimyasal reçine, lazer veya ısı gibi birkaç yöntemi birlikte kullanan üreticilerde de bulunmaktadır. Resim 3.3'de bazı kaynaklı geogrid tipleri görülmektedir.



Resim 3.3. Kaynak/yapıştırma yöntemiyle üretilmiş geogridler (Shukla ve Yin, 2006; Karagül, 2007)

Kaynaklı/yapıştırırmalı geogridlerin üretilmesinde kullanılan şeritler, çeşitli polimerlerden istenilen çekme dayanımına ve genişliğe sahip olacak şekilde önceden imal edilmektedir.

Ekstrüde geogridlerin en önemli üstünlüğü, imalat tezgâhında bir kaç basit ayarlama yapılarak istenilen göz açıklığına ve şekline sahip geogrid üretiminin mümkün olabilmesidir. En zayıf tarafı ise, bağlantı noktası dayanımının polimer şeridin kendi dayanımından daha düşük olabilmesidir. Bu nedenle kaynaklı/yapıştırırmalı geogridlerin genel dayanımı bağlantı noktasının dayanımı kadar olabilmektedir.

3.1.3. Örgülü geogridler

Örgülü geogridler, polyester ipliklerin dokuma makinelerinde örülmesi ile üretilirler. Hammaddesi genellikle polyesterdir. Polyester iplik sayısı istenen çekme dayanımına göre iki yönde de değişebilir (Karagül, 2007). Resim 3.4'de dokuma yöntemiyle üretilmiş geogrid görülmektedir.



Resim 3.4. Örgülü geogrid türleri (Karagül, 2007)

Örgülü geogridlerin bağlantı noktalarının dayanımı dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir (Karagül, 2007).

Örgülü geogridler, genellikle yüksek modüle sahip polyester (PET) ipliğinden yapılırlar ve koruma amacıyla genellikle PVC ile kaplanırlar (Çelik, 1997).

Örgülü geogridler, polipropilen (PP) veya yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) şiltelerinin çekilerek uzatılması sonucunda elde edilen iplikçikler kullanılarak da üretilebilmektedirler (Yıldız, 2005). Bu durumda yine koruyucu bir tabaka ile kaplanmış olmaları gerekmektedir. Her iki polimer türü için de tasarım çekme dayanımının belirlenmesinde polimer yapılarına uygun olacak krip (sünme) azaltma katsayıları kullanılmalıdır (Yıldız, 2005).

3.2. Göz Açıklığı Şekline Göre Geogridler

Geogridler göz açıklığının şekline göre; tek yönlü, çift yönlü ve üç yönlü olmak üzere üç farklı tipte üretilebilmektedir (Das, 2009). Geogridin göz açıklığının geometrik şekli, yük taşıma ve zemine çekme dayanımı kazandırma yönünü belirlemektedir. Bu nedenle bir projede hangi yönde güçlendirme yapılması isteniyorsa (diğer bir ifadeyle, zemine hangi yönde çekme dayanımı kazandırılmak isteniyorsa) ona uygun göz açıklığı şekline sahip bir geogridin kullanılması gerekmektedir. Bu geogridlerden tek yönlü ve çift yönlü geogridler yukarıda

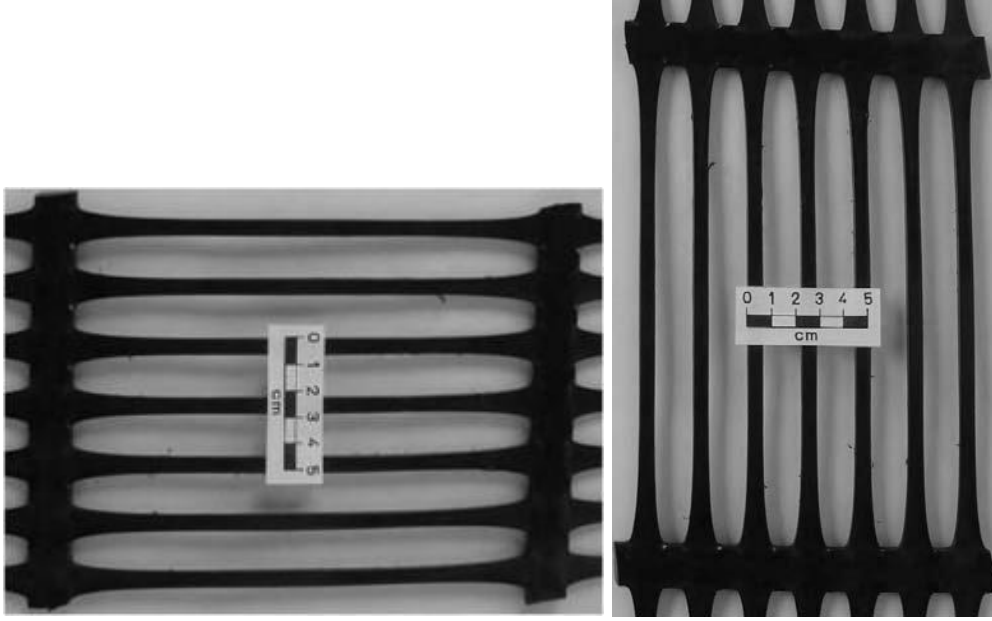
değinilen her üç imalat yöntemiyle de üretilebilmektedir. Üç yönlü geogridler ise, sadece ekstrüde yöntemiyle üretilebilmektedir.

3.2.1. Tek yönlü geogridler

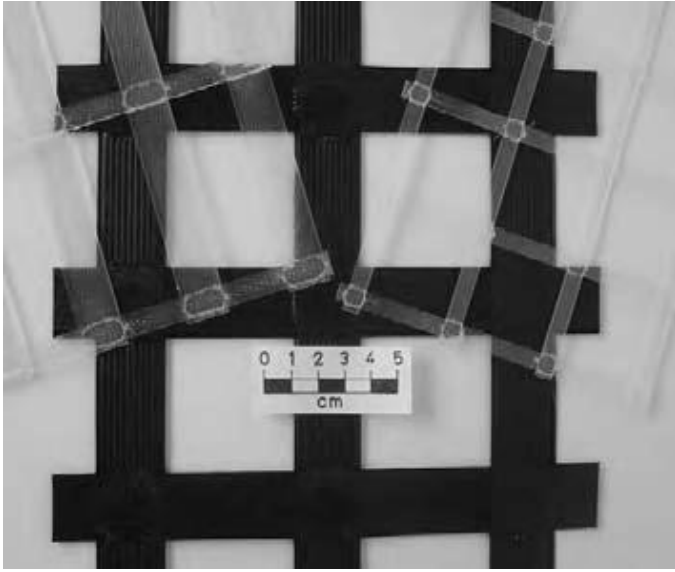
Tek yöndeki çekme dayanımı diğer yöndeki çekme dayanımına göre çok daha yüksek olan ve göz açıklığı dikdörtgen şeklinde (bir kenarı diğer kenarından daha uzun) olan geogridlerdir. Ekstrüde yöntemiyle üretilen geogridlerde ekstrüde işlemi tek yönde yapılırsa, tek yönde yüksek dayanımlı geogrid elde edilmektedir. Kaynaklı birleşim yönteminde ise, polimer şeritler dikdörtgen göz açıklığına sahip olacak şekilde kaynaklama bandına yerleştirilmekte ve uygun yöntemle birleştirilerek tek yönlü geogrid üretilmektedir. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilen tek yönlü geogridlerde, çekme dayanımının yüksek olması istenen yöndeki polimer şeridin çekme dayanımı, diğer yöndeki polimer şeride göre daha yüksek olacak şekilde üretilmelidir.

Tek yönlü geogridler genellikle donatılı duvar yapımında ve şev duraylılığının sağlanmasında kullanılırlar. Bu uygulamalarda geogridlere tek yönden çekme gerilmesi uygulandığı için tek yönde güçlendirme yapılması yeterli olmaktadır (Tenax, 2005; Karagül, 2007).

Resim 3.5'de ekstrüde yöntemiyle, Resim 3.6'da ise kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş tek yönlü geogridler görülmektedir.



Resim 3.5. Ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler (Tenax, 2005)

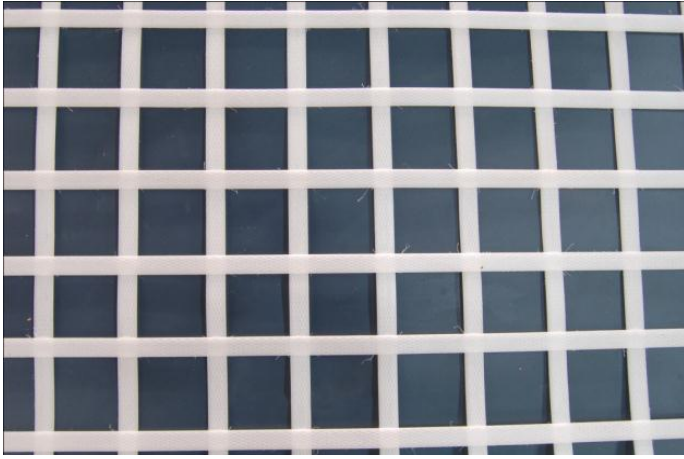


Resim 3.6. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler (Shukla ve Yin, 2006)

3.2.2. Çift yönlü geogridler

Bu geogridler, her iki yöndeki çekme dayanımı birbirine eşit veya yakın olan ve göz açıklığı yaklaşık kare şeklinde olan geogridlerdir. Ekstrüde yöntemiyle imal edilen geogridlerde ekstrüde işlemi her iki yönde de yapılmaktadır. Kaynaklı birleşim yönteminde ise, polimer şeritler yaklaşık kare göz açıklığı oluşturacak şekilde kaynaklama bandına yerleştirilmekte ve uygun yöntemle birleştirilerek çift

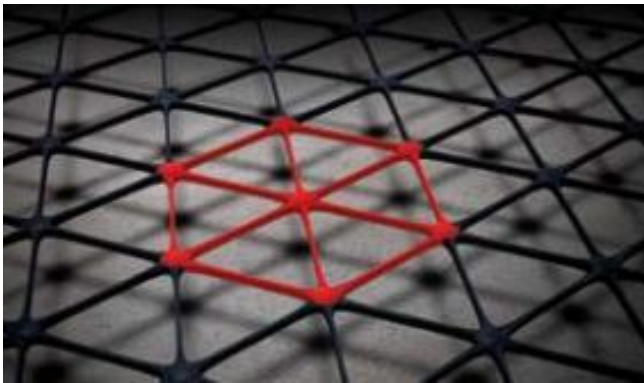
yönlü geogrid imal edilmektedir. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilen çift yönlü geogridlerde, her iki yöndeki polimer şeritlerin çekme dayanımları da birbirine eşittir. Çift yönlü geogridler her iki yönde de gerilme ve deformasyon beklenen örneğin karayolu, demiryolu ve makine temelleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Resim 3.7’de kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş geogrid görülmektedir.



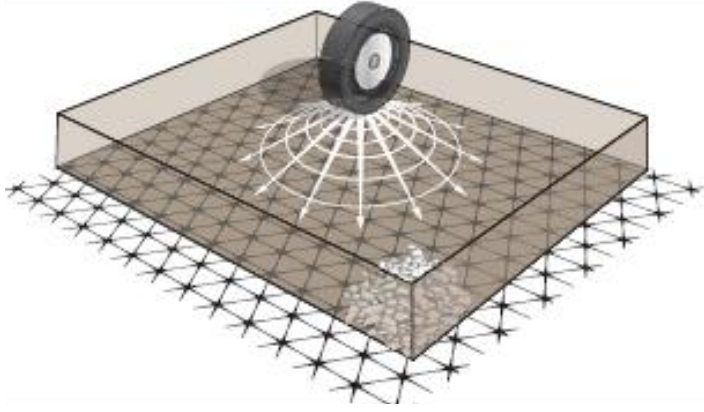
Resim 3.7. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş çift yönlü geogrid (Demir, 2011)

3.2.3. Üç yönlü geogridler

Üç yönlü geogridler, çift yönlü geogridlerin performansını artırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir teknoloji ürünüdür. Göz açıklıkları eşit kenarlı üçgenlerden oluşmaktadır (Resim 3.8). Üç yönlü geogridler, her üç yönde de yük dağıtma kapasitesine sahiptirler (Şekil 3.1).

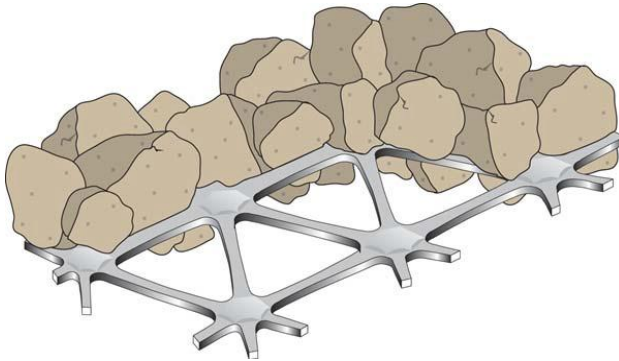


Resim 3.8. Üç yönlü geogridin eşit kenarlı üçgen elemanları (Tensor, 2010)



Şekil 3.1. Üç yönlü geogridin yük dağıtma şekli (Tensar, 2009)

Üç yönlü geogridler; kesitleri, efektif birleşim yerleri, gridler arasındaki açıklık ve özellikle düzlem içerisindeki rijitlikleri açısından önemli yeniliklere sahiptirler. Bu geogridler üzerinde yapılan çok sayıda deneyler, zemin tanelerini daha yüksek oranda çevrelediği (kenetlediği) için, bunlardan daha yüksek performans elde edildiğini göstermiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Üç yönlü geogridin agrega tanelerini kenetlemesi (Das, 2009)

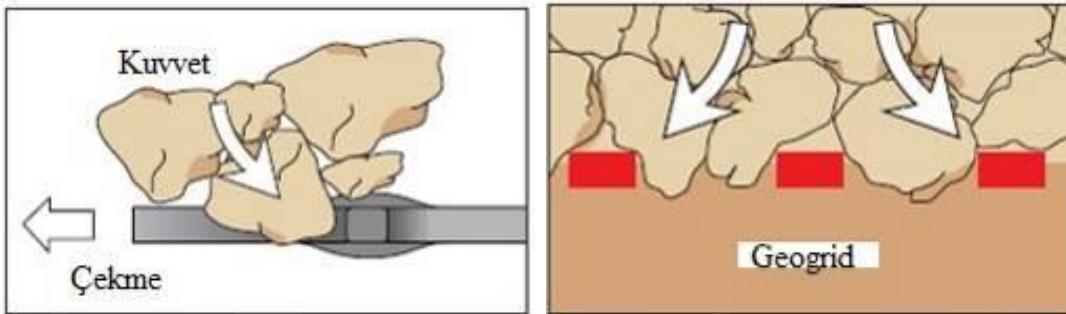
3.3. Geogridlerin Çalışma İlkesi (Kenetleme Mekanizması)

Geosentetik (genellikle geogrid veya geotekstil) ile güçlendirilmiş zemin, geosentetik ile zemin arasında oluşan etkileşim nedeniyle kompozit bir malzeme gibi çalışmaktadır. Geosentetik ile birlikte zeminin makaslama dayanımı ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesi artmaktadır.

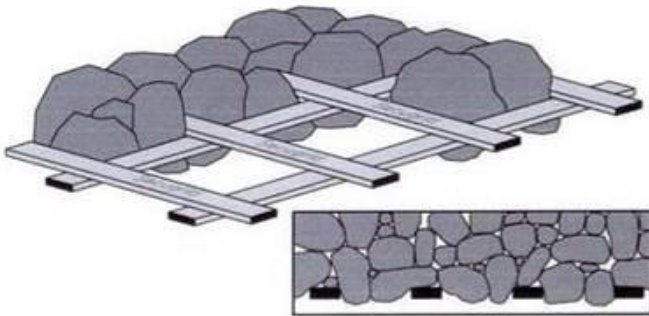
Güçlendirme amacıyla geogrid kullanıldığında, zemin taneleri geogridin göz açıklıkları içerisine girerek çekme gerilmelerinin geogride aktarılmasını sağlarlar.

Böylece donatılı zemin sisteminde zemine çekme direnci kazandırılmış olur. Donatı-zemin sisteminde makaslama dayanımı, geogrid boşluklarına giren zemin taneleri ile donatı arasında oluşan makaslama dayanımı ve geogrid boşluklarına giren zemin tanelerinin kendi arasında oluşan makaslama dayanımından meydana gelmektedir (Demir, 2011).

Geogridle zemin arasındaki karşılıklı etkileşim mekanizması üç kısma ayrılmaktadır. Bunlardan ilki geogrid malzemesi ile zemin arasındaki yüzey sürtünmesi (Şekil 3.3), ikincisi geogridin enine elemanlarının önünde oluşan pasif taşıma kuvveti (Şekil 3.4), üçüncü ise iri taneli zeminlerde geogridin yapısındaki açıklıklara zemin tanelerinin girmesi ve bu tanelerin çevreleme etkisine maruz kalarak kenetlenmesidir (Şekil 3.4). Yüzey sürtünmesi zeminin cinsine ve geogridin yüzey pürüzlülüğüne bağlıyken, enine elemanların önündeki pasif taşıma kuvvetinin toplam sıyrılma dayanımına etkisi düşey gerilme, geogrid geometrisi ve çap oranı (ortalama tane boyutunun geogrid boşluk boyutuna oranı) gibi faktörlerle değişmektedir (Baykal ve Dadaşbilge, 2000).



Şekil 3.3. Geogrid kuşaklarının enine kesitinde dolgu parçacıklarını taşıyan noktaların gösterilmesi (Tensar, 2005)



Şekil 3.4. Geogridlerin kenetlenme mekanizması (Karagül, 2007)

Yüzey sürtünmesi, yüksek düşey basınçlar altında, düşük uzama değerleri veren durumlarda sıyrılma dayanımı açısından belirleyici olmakta, enine elemanların önünde oluşan pasif taşıma kuvveti ise fazla uzama meydana getiren düşük düşey basınç ortamlarında sıyrılma performansını kontrol etmektedir (Farrag ve diğerleri, 1993).

Geogridler fiziksel davranışları daha belirgin ve tasarım parametreleri belirlenebilen ürünlerdir. Zemin içerisinde kenetlenme ilkesine göre çalışarak zemin seviyelerinin bir bütün olarak davranmasını sağlamaktadır. (Şekil 3.5). Böylece zeminin tek başına taşıyamayacağı yükler geogrid yardımıyla taşınabilir duruma gelmektedir. Bu durumda geogridler;

- Zeminin emniyet gerilmelerini artırır,
- Oluşacak oturmaları en aza indirir ve üniform bir oturma oluşmasını sağlar.



Şekil 3.5. Kenetlenme mekanizması örneği (Tensar, 2005)

3.4. Geogridlerin Tasarım Dayanımının (Dayanım azaltma katsayılarının) Belirlenmesi

Tasarım güvenlik katsayısının hesaplara katılmasındaki amaç, tanımlanmamış yükler, yapı geometrisi, dolgu özellikleri, yerel gerilme artıları ve geogridin dayanımının da tanımlanmamış uzun süreli belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır (Karagül, 2007). Bu değer çeşitli etmenlere bağlı olarak değişmektedir.

Yüklerdeki ve gerilmelerdeki belirsizliklerin yanı sıra, uzun yıllara dayanan deneyimler, birçok geosentetik ürünün üretildiği edildiği andaki özelliklerinin herhangi bir projede kullanılmaya başlandığı andan itibaren zamanla azalabildiğini göstermiştir. Bu nedenle geosentetiğin tasarımda kullanılacak olan dayanımının ya da fiziksel/mekanik özelliğinin fabrika (imalat) değerlerinden daha düşük alınması gerekmektedir. Ayırma ve güçlendirme amacıyla kullanılacak olan geogridler ve geotekstiller için bazı dayanım azaltma katsayıları ve bir eşitlik önermişlerdir. ABD’de bulunan Geosentetik Enstitüsü tarafından da kabul gören ve “GSI White Paper #4” ismiyle yayınlanan bu eşitlik ve dayanım azaltma katsayıları aşağıda verildiği gibidir (Koerner ve Koerner, 2007).

$$T_a = T_i \left(\frac{1}{K_Y \times K_S \times K_{K\&B} \times K_D} \right)$$

Bu bağıntıda;

- T_a : Tasarımda kullanılacak (veya izin verilen) çekme gerilmesi,
- T_i : İmalatçının belirttiği (fabrika) nihai çekme gerilmesi,
- K_Y : Yerleştirme hasarı için dayanım azaltma katsayısı,
- K_S : Sünme için dayanım azaltma katsayısı,
- $K_{K\&B}$: Kimyasal ve biyolojik parçalanma için dayanım azaltma katsayısı,
- K_D : Dikiş yeri için dayanım azaltma katsayısıdır.

Yukarıda verilen azaltma katsayılarının tümü hem geosentetiğin kullanılacağı arazi koşullarına hem de geosentetiğin malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle her proje için bu azaltma katsayılarının arazi koşullarına ve malzeme özelliklerine özgü deneyler yapılarak belirlenmesi en doğru yoldur. Bunun mümkün ya da ekonomik olmadığı hallerde bu azaltma katsayıları için Çizelge 3.1’de verilen değerlerden yararlanılabilir. Çizelge 3.1’deki değerler birçok uygulama alanı ve geogrid-geotekstil için elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Dayanım azaltma katsayıları için önerilen değerler (Koerner ve Koerner, 2007)

Uygulama alanı	Azaltma katsayısı aralığı		
	Yerleştirme hasarı (K_Y)	Sünme* (K_S)	Kimyasal/biyolojik parçalanma ($K_{K\&B}$)
Ayırma	1,1 – 2,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5
Yastıklama	1,1 – 2,0	1,2 – 1,5	1,5 – 2,0
Kaplamasız yollar	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5
Duvarlar	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5
Toprak dolgu şevleri	1,1 – 2,0	2,0 – 3,5	1,0 – 1,5
Taşıma gücü ve temeller	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5
Şev duraylılığı	1,1 – 1,5	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5
Asfalt kaplama	1,1 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,5
Demiryolları	1,1 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0
Esnek şekilli uygulamalar	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5
Silt perdeleri	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5

*Verilen aralığın alt sınır değeri, nispeten daha kısa süreli uygulamalar ve/veya bütün sistem performansı için sünmeden kaynaklanacak şekil değiştirmelerin kritik olmadığı uygulamalar içindir.

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Vashi, Desai, Solanki (2012), geotekstil kullanılarak yol dolgularının güçlendirilebilirliğini araştırmışlar ve dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı ile geotekstil yerleştirme aralığının ve şev açısının arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla 8 m yüksekliğinde, 20 m tepe genişliğine sahip 4 şeritli yola karşılık gelen bir yol dolgusunun 58° , 64° , 72° ve 78° olmak üzere dört farklı şev açısıyla inşa edileceğini göz önüne almışlardır. Araştırmacılar uçucu kül ve kil karışımı bir malzemedan yapılacağını tasarladıkları bu dolgunun etkin içsel sürtünme açısının $\phi'=30^\circ$, etkin kohezyonun 15 kPa olacağını öngörmüşler ve üzerinde Hindistan Teknik şartnamelerine göre (IRC:6-2000) trafik yükünü temsilen 50 kPa sürşarj yükü bulunduğunu kabul etmişlerdir. Dolgunun 5 m kalınlığındaki yumuşak bir kil tabakasının üzerine inşa edileceğini düşünmüşler ve bu kil tabakasının kohezyonu için 5 kPa, içsel sürtünme açısı için 15° almışlardır. Vashi ve diğerleri (2012), çözümlerinde izin verilen çekme dayanımı $T_a=40$ kN/m ve $T_a=10$ kN/m olan Polyester (PET) ve Polipropilen (PP) geotekstiller kullanmışlar ve bu geotekstillerin dolgu gövdesine dolgu tabanından itibaren 0,4 m, 0,5 m, 1,0 m ve 2,0 m olmak üzere dört farklı eşit aralıkla serileceğini hesaba katmışlardır. Çözümlerini limit denge yöntemlerine göre çözümlene yapan GEO5 (sürüm 12) isimli şev duraylılığı çözümlene programını kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Vashi ve diğerleri (2012), sonuç olarak; $T_a = 10$ kN/m geotekstil kullanıldığında 0,5 m ve 0,4 m aralıkla yerleştirilen geotekstillerin 1,5'den büyük güvenlik katsayısı verdiğini ($G.K>1,5$), 2,0 m ve 1,0 m aralıklarla yerleştirilen geotekstillerin ise yeterli güvenlik katsayısı sağlamadığını ($G.K<1,5$) belirlemişlerdir. $T_a = 40$ kN/m geotekstil kullanıldığında ise 1,0 m, 0,5 m ve 0,4 m aralıkla yerleştirilen geotekstillerin yeterli güvenlik katsayısı ($G.K>1,5$) verdiğini göstermişlerdir.

İki farklı çekme dayanımına sahip geotekstil kullanarak dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı ile geotekstil aralığının ve şev açısının arasındaki ilişkiyi araştıran Vashi ve diğerleri (2012), sadece tek tip dolgu malzemesi ve tek tip zemin için çözümlene yapmışlar, dolgu malzemesinin ve zeminin dayanımı için farklı senaryoları göz önüne almamışlardır.

Karagül (2007), geogrid kullanılarak ve kullanılmadan imal edilen bir yol dolgusunun duraylılık ve maliyet çözümlerini gerçekleştirmiştir. Bu araştırması çözümlerini sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan Plaxis programını kullanarak gerçekleştirmiş ve beş farklı senaryoya göre çözümler yapmıştır. Bunlardan dördü geogrid kullanılarak, biri ise geogrid kullanılmadan yapılan çözümlerdir. Karagül (2007), iyileştirilecek yol dolgusu için üç gidiş üç geliş olmak üzere toplam altı şeritli bir otoyol seçmiştir. Şerit genişlikleri 3,75 m olup, yolun her iki tarafında 3 m genişliğinde banket ve 0,75 m genişliğinde oto korkuluğu bulunan bu yolun toplam genişliği 30 m'dir. Bu yol dolgusunun 20 m derinliğindeki kil zemin üzerine oturduğu ve zeminde yeraltısuyu bulunmadığı kabul edilmiştir. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusunda dolgu malzemesi olarak kum – çakıl karışımı bir malzeme, geogrid kullanılmadan yapılan dolguda ise Karayolları Şartnamesinde belirtilen özelliklerde temel ve alt temel malzemesinin kullanıldığını kabul etmiştir. Dolguyu iyileştirmek amacıyla en yüksek (kopma anındaki) çekme dayanımı 40 kN/m olan ekstrüde yöntemi ile üretilmiş çift yönlü geogrid kullanmıştır. Geogrid kullanılarak yapılan dolgu ile kullanılmadan yapılan dolguda meydana gelen oturmalar, plastik noktalar ve dolgu maliyetleri karşılaştırılmıştır. Karagül (2007), 3 sıra geogrid donatılı sistem ile 2 sıra geogrid donatılı sistem arasında oturmalar açısından 1 cm fark bulmuştur. Aradaki oturma farkını küçük bulduğu için maliyet çözümlerini 2 sıra geogrid donatılı sistem ile geogrid donatı kullanılmayan sistem arasında gerçekleştirmiştir. Geogrid donatı kullanılan sistemde, geogrid donatı kullanılmayan sisteme göre oturma değerlerinin 10,4 cm, dolgu kalınlığının ise 40 cm azaldığını, buna bağlı olarak yol dolgusunun maliyetinin de yaklaşık %41 oranında azaldığını belirlemiştir.

Şenol ve diğerleri (2008), kaplamasız yollarda geotekstil - geogrid kullanılması durumunda oluşan fayda - maliyet ilişkisinin incelemişler ve eşit maliyetlerle hangi durumda ne kadar yol yapılabileceğini karşılaştırılmalı şekilde grafiksel olarak ortaya koymuşlardır. Geotekstil ve geogrid kullanımı sayesinde elde edilen kazanımları şu şekilde sıralamışlardır:

- Yolun servis ömrü uzamaktadır.
- Üniform bir yük dağılımı meydana gelmekte ve tekrarlanan tekerlek yükleri daha geniş bir alana yayılmaktadır.

- Alt temel kalınlığı büyük ölçüde azalmaktadır. Bu durum özellikle ocak mesafelerinin uzak olması, şantiye yakınlarında uygun kalitede malzeme bulunmaması durumlarında zaman ve maliyet açısından önemli yarar sağlamaktadır.
- Geogrid ve geotekstiller kolay taşınabilir ve serilebilir olduklarından dolayı uygulama açısından kolaylık, zaman açısından ise kazanç sağlamaktadır.
- Geogrid ve geotekstiller sayesinde temelin oturduğu zeminin taşıma gücü artmakta, maliyeti artmadan hatta bir çok durumda büyük oranda düşerek daha duraylı bir yol yapısı elde edilebilmektedir.
- Özellikle alt temel olarak ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ve yüksek dayanım parametrelerine sahip geogridler kullanılması durumunda hem ekonomik hem de duraylılık açısından büyük yarar sağlanmaktadır.
- Geogrid ve geotekstil kullanılması durumunda zayıf zemin kazısı ortadan kalktığından, kazı miktarında önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır. Zayıf zemin kazısı ve nakliyeden doğan maliyet ekonomik fayda olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yolun yarmadan geçtiği kısımlarda, alt temel kalınlığının azalmasından dolayı yarma kazısı miktarı da düşmektedir.
- Zemin üzerinde meydana gelen gerilmeler azalmaktadır. Ayrıca geotekstil kullanılması durumunda agreganın zayıf zemine batması ve pompaj etkisiyle zayıf zemin bünyesindeki ince partiküllerin agrega aralarına göçü engellenmektedir. Böylece maliyeti yüksek alt temel malzemesinin özelliğini yitirmesi önlenmekte ve alt temel tasarım kalınlığının korunması sağlanmaktadır.

Çiçek ve Güler (2014), yumuşak kil üzerine inşa edilecek seddelerde şev stabilitesini artırılmasını araştırmış ve kullanılan geosentetik donatının etkilerini sonlu elemanlar modeli kullanarak yapılan analizleri incelemişlerdir. Bu amaçla, suya doygun yumuşak kil temel zemininin yüksekliği 10 m, üzerine yapılacak dolgunun yüksekliği 5 m ve düşey eğimi $\frac{1}{2}$ olarak belirlemişlerdir. Dolgu kum zeminden meydana gelmiş ve üzerine 10 kN/m^2 lik sürşarj yükü (q) uygulamışlardır. Kum dolgu tabakalar halinde inşa edilmiş ve hem ani yükleme halinde hem de konsolidasyon sonunda yapılan oturma analizlerini dikkate almışlardır. Taban zemini olarak yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinden 3 m aşağıda

bulunan 10 m kalınlığındaki yumuşak bir kil tabakası seçmişlerdir. Analizlerde geosentetik donatı malzemesi olarak tek yönlü geogrid donatısını kullanarak geogridlere gelen maksimum çekme kuvvetleri hesaplanmış ve donatı sayısının güvenlik katsayısına etkilerini araştırmışlardır.

Çiçek ve Güler (2014), sonuç olarak; uzun süreli davranıştaki güvenlik katsayısı kısa süreli durumlara nazaran her durumda daha yüksek bulmuşlardır. Geosentetik donatı sayısı arttıkça güvenlik katsayısının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca donatı boyu arttıkça şev stabilitesi iyileşmiş, güvenlik katsayıları artmış, farklı donatı sayıları için elde edilen güvenlik faktörleri azalmış ve donatı sedde boyunca sürekli serildiğinde çeşitli uzunlukta kullanılanlara göre çok daha yüksek güvenlik oluşturduğunu belirlemişlerdir.

Önceki çalışmalarda dikkate alınan yol dolgusu boyutlarının, geometrisinin ve dolgunun inşa edileceği zemin özelliklerinin tek tip olarak ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada ise, yol dolgusu yüksekliği ve tepe genişliği sabit tutulurken, şev açısı değiştirilerek 34° , 45° ve 60° olmak üzere üç farklı açıyla inşa edilebileceği ve her bir şev açısı için bu dolguların üç farklı granüler malzemeyle inşa edileceği göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu dolgunun oturacağı killi zeminin de üç farklı malzemedan meydana gelebileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, dolgunun güçlendirilmesi gerektiği durumlarda güçlendirme amacıyla çekme dayanımları 100 ile 300 kN/m arasında değişen beş farklı geogrid donatısının kullanılabileceği göz önüne alınmıştır. Maliyetleri değerlendirilmek amacıyla kullanılan geogrid donatılarının alanları hesaplanmıştır.

5. YOL DOLGUSUNUN TASARLANMASI VE BİLGİSAYAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bu çalışmada, geogridin dolgu şevlerinin güçlendirilmesi üzerindeki katkısını ve etkisini belirtmek amacıyla dört şeritli yola karşılık gelen kurgusal bir yol dolgusu tasarlanmıştır. Geogrid donatılı ve geogrid donatısız yol dolgularının duraylılık çözümlerinin yapılması ve güvenlik katsayılarının hesaplanması için, limit denge yöntemlerine göre çözümlene yapan SLIDE (Rocscience) isimli şev duraylılık çözümlene programı kullanılmıştır¹.

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan sözlü bilgiye göre statik durum çözümlerinde GK = 1,5 değeri istenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada şevlerin güvenlik katsayısı için bu değer esas alınmıştır.

Dolgunun ve dolgunun üzerinde oturduğu zeminin dayanımı bakımından farklı senaryoları değerlendirebilmek ve bu senaryolar içerisinde geogridin katkısını ortaya koyabilmek amacıyla, makaslama dayanımı özellikleri bakımından üç farklı malzemenin kullanılacağı ve her bir dolgunun da üç farklı şev açısıyla yapılacağı dikkate alınmıştır. Dolgunun oturduğu zeminin ise dayanım bakımından üç farklı durumda olabileceği göz önüne alınmıştır. Böylece “güçlü dolgu-güçlü zemin”nden, “zayıf dolgu-zayıf zemin”e kadar değişen ve farklı şev açlarına sahip 27 farklı senaryo üzerinde geogridin dolgu şev duraylılığına nasıl bir katkı sağladığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Ayrıca her bir senaryoda dolgunun güçlendirilmesi için izin verilen (tasarım) çekme dayanımı 100 kN/m'den 300 kN/m'ye kadar değişen 5 farklı çekme dayanıma sahip geogrid kullanılmıştır.

Çözümlenelerde kullanılan dolgunun geometrisi, boyutları, şev açıları, dolgu malzemesinin dayanım parametreleri, geogridlerin mekanik özellikleri, dolgunun

¹ Slide bilgisayar programı Hendese Jeoteknik Müh. İmar İnş. Elektronik Turizm San. Tic. Ltd Şti'den Sn. Fatih Adil adına kayıtlı olup, lisans sahibi firma yetkilisinin izniyle kullanılmıştır.

oturduğu zeminin dayanım parametreleri, bu parametrelere karşılık gelen yaklaşık SPT değerleri ve çözümlerde kullanılan diğer değişkenler aşağıda verilmiştir.

5.1. Yol Dolgusunun Geometrisi ve Boyutları

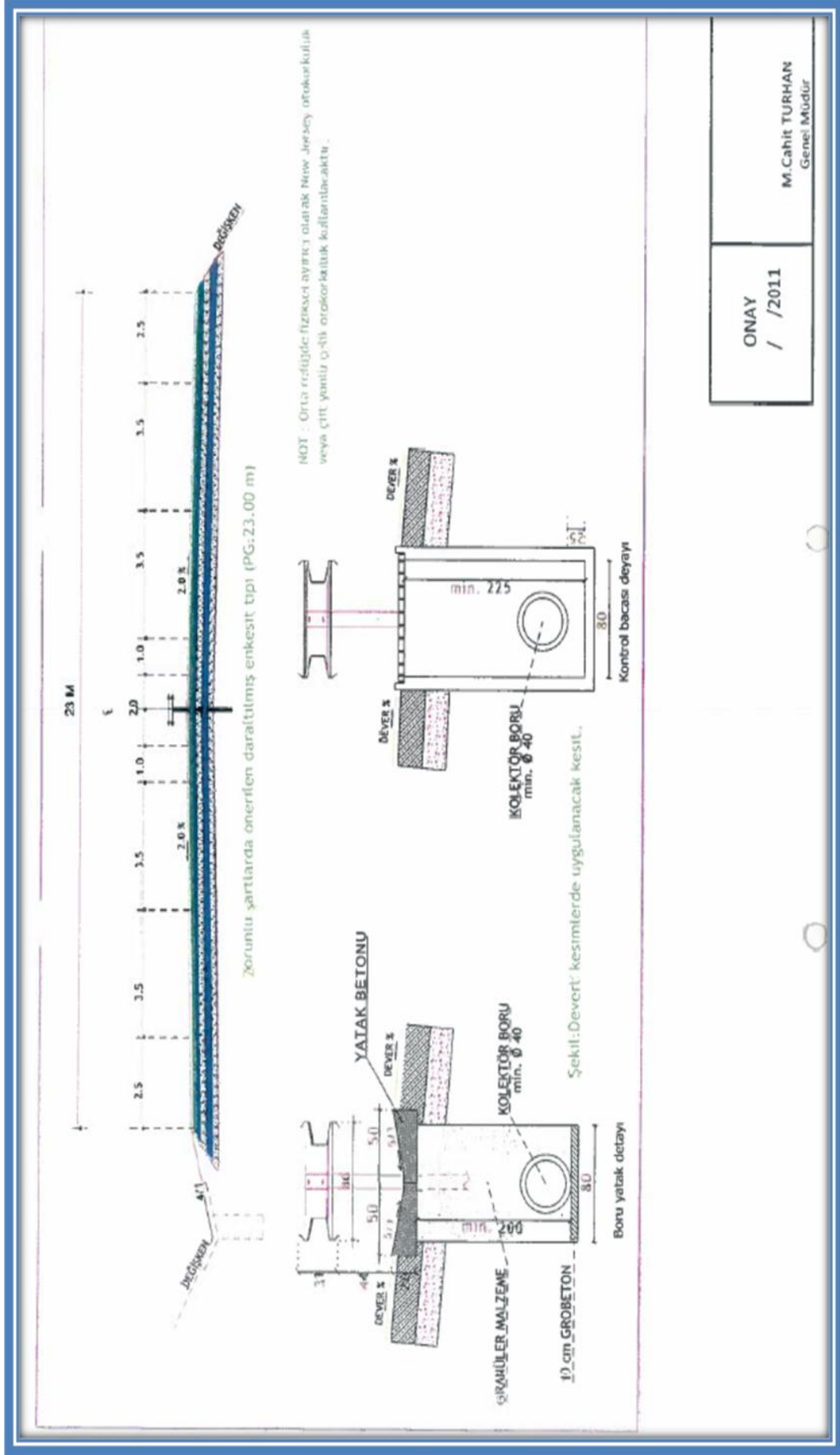
Dolgu geometrisinin belirlenmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan tipik bir karayolu kesitinden yararlanılmıştır (Şekil 5.1). Karayolları Genel Müdürlüğü karayolu dolgularında 3/2'lik (3 birim yatay, 2 birim düşey) bir şev açısı uygulamaktadır (yaklaşık 34°). Bu çalışmada şev açısı için Karayolları Genel Müdürlüğü'nün uyguladığı açıdan başlanmak üzere, 34° , 45° ve 60° seçilmiştir.

Dolgunun tepe genişliği 23 m olarak alınmıştır. Bu genişlik, karayolları tip kesitine göre iki gidiş, iki geliş olmak üzere ortasında banket bulunan dört şeritli bir yola karşılık gelmektedir (Şekil 5.1).

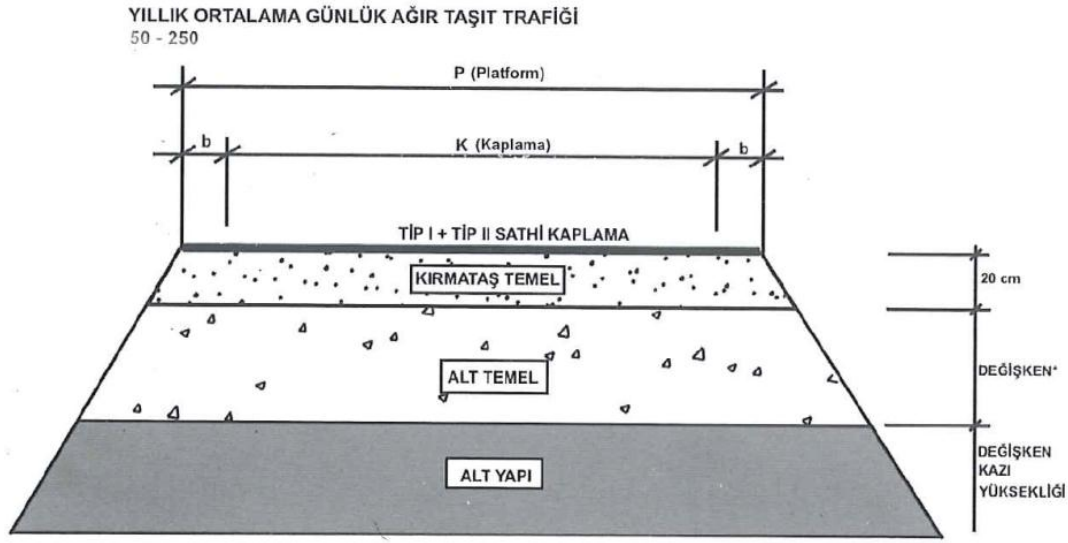
Dolgu yüksekliği toplam 6 m olarak tasarlanmış olup, bu 6 metrenin 0,50 m'si yol temeli, 5,5 metresi ise dolgu malzemesi olarak düşünülmüştür. Yol temeli için kalınlığının tayin edilmesinde yine Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan tipik bir yol enkesitinden yararlanılmıştır (Şekil 5.2). Duraylılık çözümlerinde yol temeli ayrı bir malzeme olarak modellenmiş ve dayanım parametreleri Karayolları Teknik Şartnamesinde (T.C.K., 2013) belirtilen seçme malzemeye karşılık gelecek şekilde seçilmiştir.

Karayolları Genel Müdürlüğü'nden sözlü olarak alınan bilgi doğrultusunda dolgunun üzerinde trafik yükünü temsilen $q=15$ kPa sürşarj yükü bulunduğu kabul edilmiştir. Bu sürşarj yükü önceki çalışmalarda (örneğin; Vashi ve diğerleri, 2012, Çiçek ve Güler, 2014) alınan sürşarj yüküne benzerlik göstermektedir.

Tasarlanan yol dolgusunun 6 m kalınlığındaki bir kil seviyesinin (zemin) üzerine inşa edileceği kabul edilmiş, bu seviyenin altında ise kayma dairelerinin geçemeyeceği kadar sağlam bir zeminin bulunduğu varsayılmıştır. Çözümlerinde yeraltı su seviyesinin 6 m'den daha derinde olduğu kabul edilmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan tip kesitler doğrultusunda tasarlanan yol dolgusunun geometrisi ve boyutları Şekil 5.3'de sunulmuştur.



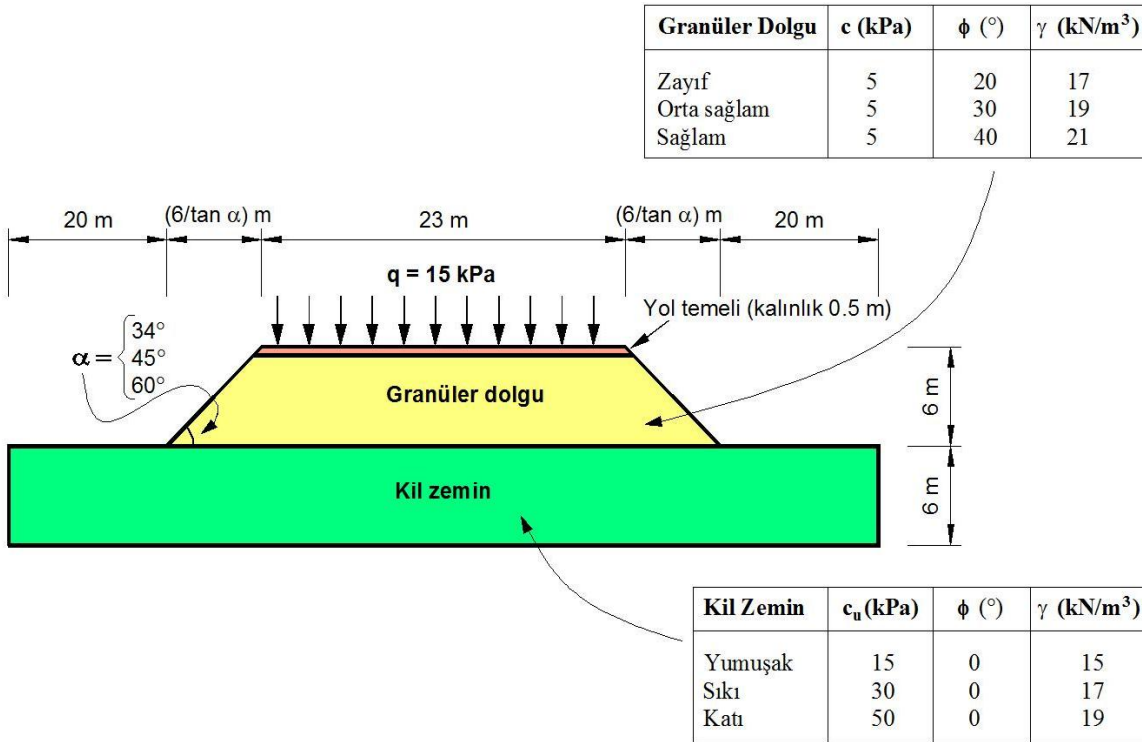
Şekil 5.1. Yol dolgusunun oluşturulmasında yararlanılan karayolu tip kesiti (K.G.M.)



* Hesaplamalarda 25 cm alınmıştır.

TIP ENKESİT 2

Şekil 5.2. Yol temel kalınlığının belirlenmesinde yararlanılan karayolu tip enkesiti (K.G.M)



Şekil 5.3. Bu çalışmada kullanılmak amacıyla tasarlanan yol dolgusu

5.2. Malzeme Parametreleri

5.2.1. Yol temeli

Yol temelinin Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesinde (T.C.K., 2013) belirtilen seçme granüler malzemedan yapılacağı kabul edilmiş ve böyle bir malzemeyi temsil edecek şekilde kohezyonu $c = 5$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi = 45^\circ$, birim hacim ağırlığı ise $\gamma = 22$ kN/m³ olarak kabul edilmiştir.

5.2.2. Yol dolgusu

Yol dolgusunun “zayıf”, “orta-sağlam” ve “sağlam” olarak nitelendirilebilecek üç farklı granüler malzemeyle yapılabileceği değerlendirilmiş ve her bir malzemeyi temsil edecek şekilde farklı dayanım parametreleri ve birim hacim ağırlıklar seçilmiştir. Geogridin göz açıklıklarının içine girerek kenetlenme mekanizmasının gerçekleşebilmesi için geogridler birlikte kullanılan malzemenin granüler malzeme olması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada tasarlanan yol dolgusunun granüler malzemeyle inşa edileceği düşünülmüştür. Dolgunun granüler (serbestçe drene olabilen) malzemeyle inşa edileceği göz önüne alınarak drenajlı durumu yansıtacak şekilde seçilen parametreler ve birim hacim ağırlıkları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Dolguda kullanılan malzeme de bağlayıcı olarak az miktarda bulunması muhtemel kil-silt karışımı malzemenin çimentolama etkisi yapabileceği düşünülerek her üç durum için de malzemenin 5 kPa’lık bir kohezyona sahip olabileceği kabul edilmiştir. Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı ise, içerdiği taneli malzemenin boyutlarına ve kalitesine göre 20°, 30° ve 40° olarak tayin edilmiştir.

Çizelge 5.1. Yol dolgusu için seçilen dayanım parametreleri

Dolgunun durumu	Seçilen parametreler		
	Kohezyon, c (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)
Zayıf	5	20	17
Orta-sağlam	5	30	19
Sağlam	5	40	21

5.2.3. Yol zemini

Dolgunun oturduğu zemin için “yumuşak”, “sıkı” ve “katı” gibi farklı durumları temsil edecek şekilde üç farklı dayanım parametresi ve birim hacim ağırlığı seçilmiştir. Kil zemin için en kritik durum inşaat sonrası (drenajsız) durum olduğu için, drenajsız dayanım parametreleri seçilmeye çalışılmıştır. Buna göre, zeminin suya doymun kilden meydana geldiği de göz önüne alınarak içsel sürtünme açısı sıfır ($\phi = 0^\circ$), kohezyonu (c_u) için ise yumuşak zeminden çok katı zemine doğru sırasıyla 15 kPa, 30 kPa ve 50 kPa tayin edilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Zemin için seçilen dayanım parametreleri ve buna karşılık gelen yaklaşık SPT değerleri

Zemin durumu	Seçilen parametreler			
	Kohezyon, c_u (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	SPT karşılığı*
Yumuşak	15	0	15	3
Sıkı	30	0	17	6
Katı	50	0	19	10

*Kohezyonun yaklaşık olarak karşılık geldiği SPT değerleri Look (2007) tarafından verilen ilişkilerden (Çizelge 5.3) yararlanılarak belirlenmiştir.

Zemin için seçilen drenajsız dayanım parametreleri Look (2007) tarafından verilen yaklaşık değerler (Çizelge 5.3) kullanılarak SPT değerleriyle de ilişkilendirilmiştir. Böylece, SPT değerleri bilinen bir zemin üzerine inşa edilecek olan bir dolgunun şev duraylılığının artırılmasında (güçlendirilmesinde) geogridin katkısının ve

bunun maliyetinin hızlı bir şekilde yaklaşık olarak tahmin edilebilmesine olanak sağlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.3. Killerin dayanımı ile SPT arasındaki ilişki (Look, 2007)

Zemin tanımı	SPT-N* (darbe/300 mm)	Zemin dayanımı, c_u (kPa)
Çok yumuşak	≤ 2	0-12
Yumuşak	2-5	12-25
Sıkı	5-10	25-50
Katı	10-20	50-100
Çok katı	20-40	100-200
Sert	> 40	> 200

* Örtü gerilmesi düzeltilmesi yapılmasına gerek yoktur (Look, 2007)

Çözümlenelerde yol dolgusunu güçlendirmek amacıyla izin verilen çekme (tasarım) dayanımı (T_a) 100 kN/m, 150 kN/m, 200 kN/m, 250 kN/m ve 300 kN/m olan ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridlerin kullanılması öngörülmüştür. Burada sözü edilen “izin verilen çekme dayanımı (T_a)”, Bölüm 3.4’de değinilen dayanım azaltma faktörleri uygulandıktan sonra “kalan dayanım” olarak değerlendirilmiştir.

5.3. Slide Programında Modelin Oluşturulması

Slide programı kullanılarak geogridle güçlendirilmiş bir dolgunun çözümlemesinin yapılması; programa dolgu geometrisinin girilmesi (modelin oluşturulması), malzeme özelliklerinin girilmesi ve atanması, yüklerin belirlenmesi ve atanması, geogrid özelliklerinin belirlenmesi ve modele eklenmesi, çözümleme değişkenlerinin seçilmesi, hesaplamaların gerçekleştirilmesi ve sonuçların yorumlanması aşamalarından meydana gelmektedir. Bu aşamalar Ek-1’de kısaca anlatılmıştır.

6. DOLGU İÇİN ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

Dolguyu oluşturan farklı malzemeler, üç farklı şev açısı ve dolgunun oturduğu farklı dayanıma sahip zeminleri içeren 27 farklı çözümleme senaryosu Çizelge 6.1'de toplu halde verilmiştir.

Çözümlemelere öncelikle güçlendirme elemanı (geogrid donatı) yerleştirilmeden başlanmış ve güvenlik katsayısının yetersiz geldiği durumlarda dolguyu güçlendirmek için geogrid donatı yerleştirilmiştir. Dolguya öncelikle bir sıra geogrid donatı yerleştirilmiş ve bu donatının yetersiz geldiği durumlarda donatı sayısı artırılmıştır. İlke olarak ilk geogrid donatısı dolgu tabanına yerleştirilmiş, gerektiği takdirde sonraki donatılar ise 0,50 m arayla bu donatının üstüne yerleştirilmiştir. Ancak geogrid donatıların yerleri değiştirildiğinde elde edilen güvenlik katsayısı da değiştiği için, geogrid donatıların yerleri dolgu içinde değiştirilerek sonuç itibarıyla en yüksek güvenlik katsayısını veren yerlere (seviyelere) yerleştirilmiştir. Böylece hedeflenen güvenlik katsayısına ($G.K=1,5$) en az geogrid donatısıyla ulaşılması amaçlanmıştır. Geogrid donatıları yerleştirilirken donatıların arasındaki mesafenin 0,50 m'den az olmamasına dikkat edilmiştir. Şev güvenlik katsayısı 1,5 değerine ulaştığında kullanılan geogridlerin alanı hesaplanmış ve o senaryo için istenilen duraylılığa kaç m^2 geogrid donatı kullanılarak ulaşıldığı belirlenmiştir.

Aynı dolgu, aynı şev açısı ve aynı zemin için çözümler $T_a = 150, 200, 250$ ve 300 kN/m olan geogridler için de ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Böylece hangi çekme dayanımına sahip geogridten kaç m^2 kullanıldığında duraylılığın sağlandığının belirlenmesine çalışılmıştır. Buradan da kullanılan geogridin alanıyla fiyatı çarpıldığında hangi çözümlemenin daha ekonomik olduğunun belirlenmesine imkân sağlanmaya çalışılmıştır. Bahsedilen tüm bu çözümler Çizelge 6.1'de belirtilen her bir senaryo için ayrı ayrı yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Çözümlenelerde dikkate alınan senaryolar

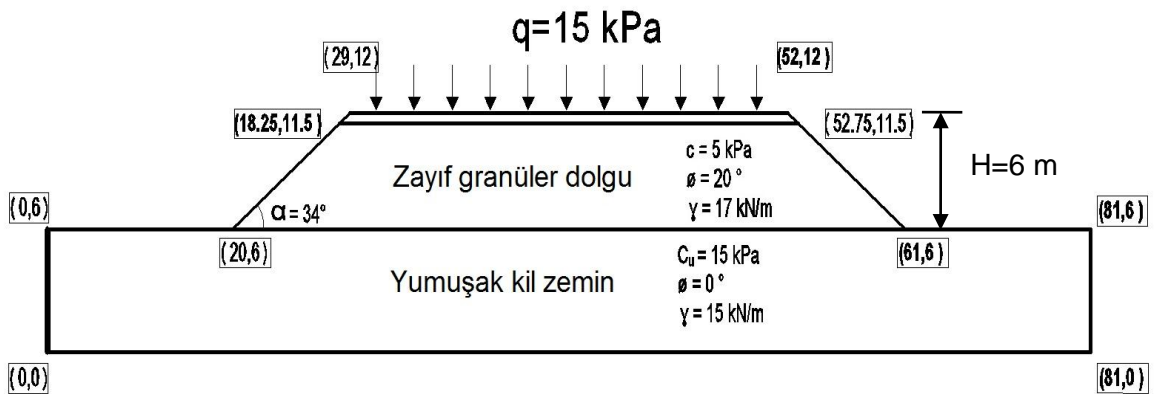
Dolgu şev açısı (α)	Zemin/dolgu özelliği
34°, 45°, 60°	Yumuşak kil zemin/Zayıf granüler dolgu Yumuşak kil zemin/Orta sağlam granüler dolgu Yumuşak kil zemin/Sağlam granüler dolgu
34°, 45°, 60°	Sıkı kil zemin/Zayıf granüler dolgu Sıkı kil zemin/Orta sağlam granüler dolgu Sıkı kil zemin/Sağlam granüler dolgu
34°, 45°, 60°	Katı kil zemin/Zayıf granüler dolgu Katı kil zemin/Orta sağlam granüler dolgu Katı kil zemin/Sağlam granüler dolgu

6.1. Şev Açısı, $\alpha = 34^\circ$ İçin Yapılan Çözümleneler

6.1.1. Yumuşak kil zemin - zayıf granüler dolgu (senaryo 1)

Bu bölümde, kohezyonu $c = 5$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi = 20^\circ$ ve birim hacim ağırlığı $\gamma = 17$ kN/m³ olan 5,50 m yüksekliğindeki granüler yol dolgusunun, kohezyonu $c_u = 15$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi = 0^\circ$ ve birim hacim ağırlığı $\gamma = 15$ kN/m³ olan yumuşak killi bir zemin üzerine oturduğu kabul edilmiştir (Şekil 6.1).

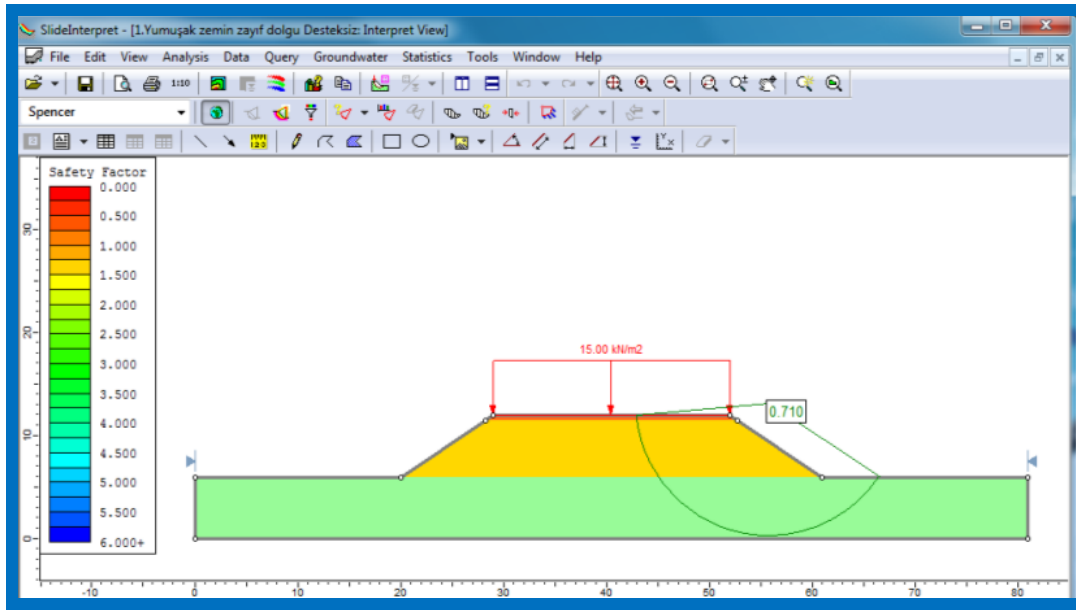
Öncelikle, dolgunun mevcut durumunu değerlendirmek amacıyla herhangi bir güçlendirme (destek) elamanı kullanılmadan çözümlenme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu geometrisi ve zemin parametreleri

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümler

Yumuşak kil üzerine oturan zayıf yol dolgusunun herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümler sonucunda dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı (GK) 0,71 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.2). Dolgunun bu güvenlik katsayısıyla duraylı olmadığı ve güçlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

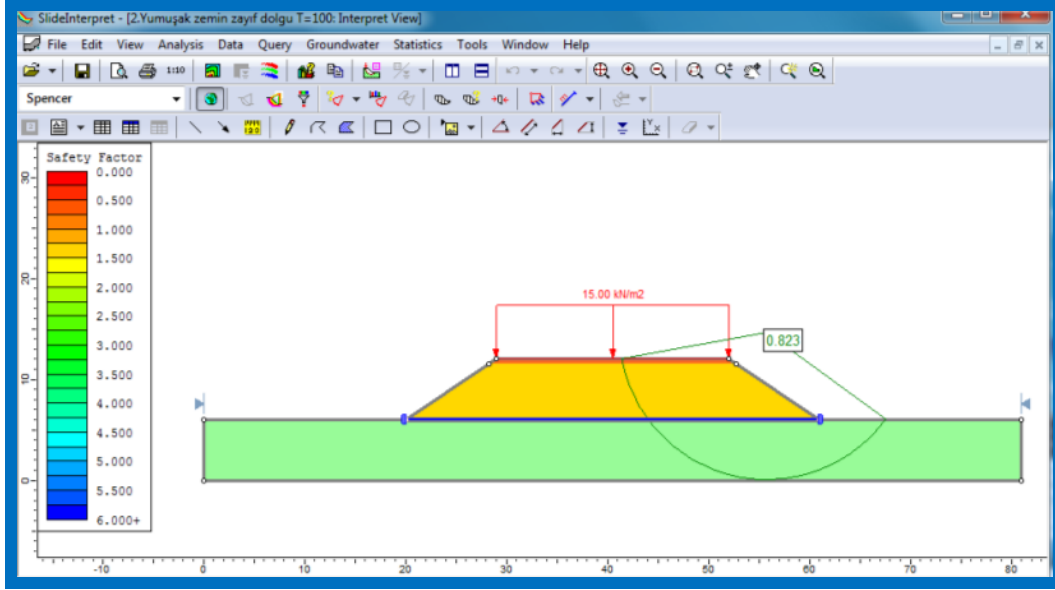


Şekil 6.2. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun desteksiz çözümler

Dolgunun güçlendirilmesi için analizlere $T_a=100$ kN/m geogrid kullanılarak başlanmış ve sırasıyla $T_a=150$, 200, 250 ve 300 kN/m geogridlerle devam edilmiştir.

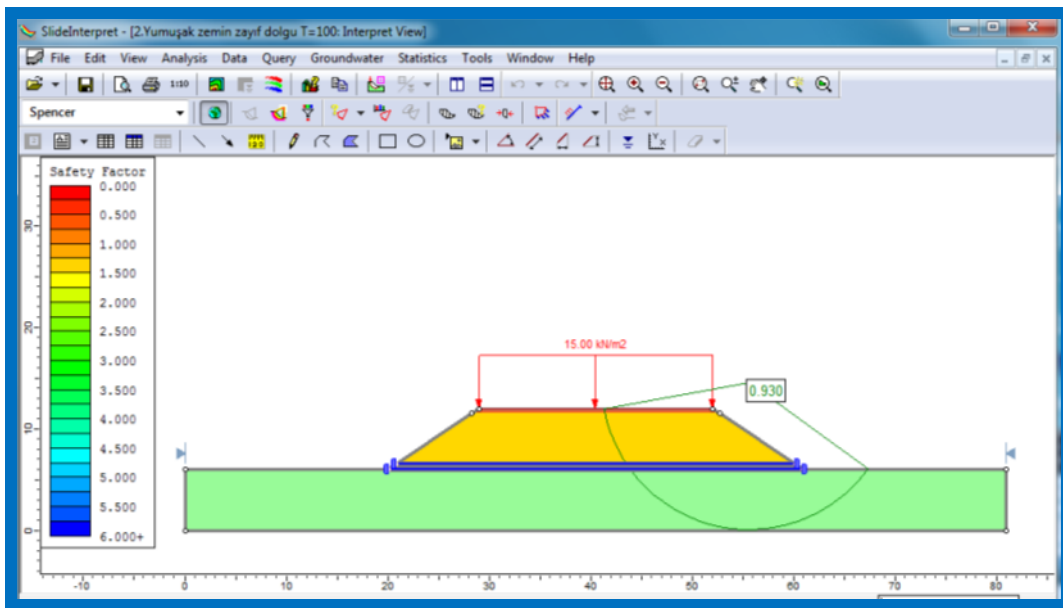
$T_a = 100$ kN/m geogridle yapılan çözümler

Öncelikle bir sıra geogrid donatı kullanılması denenmiş ve bu geogrid donatısı dolgunun hemen altına, kil zeminle granüler dolgu malzemesinin ara kesitine yerleştirilmiştir (Şekil 6.3).



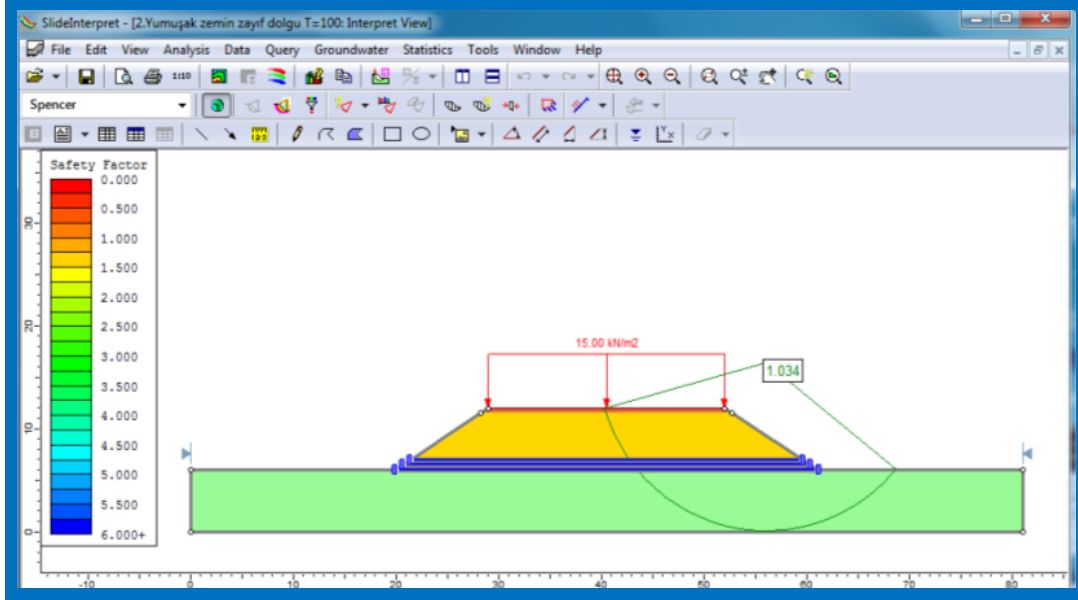
Şekil 6.3. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi

Şekil 6.3'den görüldüğü gibi, çekme dayanımı 100 kN/m olan tek sıra geogrid donatı dolgunun güvenlik katsayısını 0,710'dan 0,823'e yükselmiştir. Ancak bu güvenlik katsayısının yeterli olmadığı ortadadır. Bu nedenle, ilk adımda yerleştirilen geogridin 50 cm üstüne ikinci bir sıra geogrid donatısı daha yerleştirilmiş ve çözümlenmiştir. Bu çözümlenme sonuçları Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi

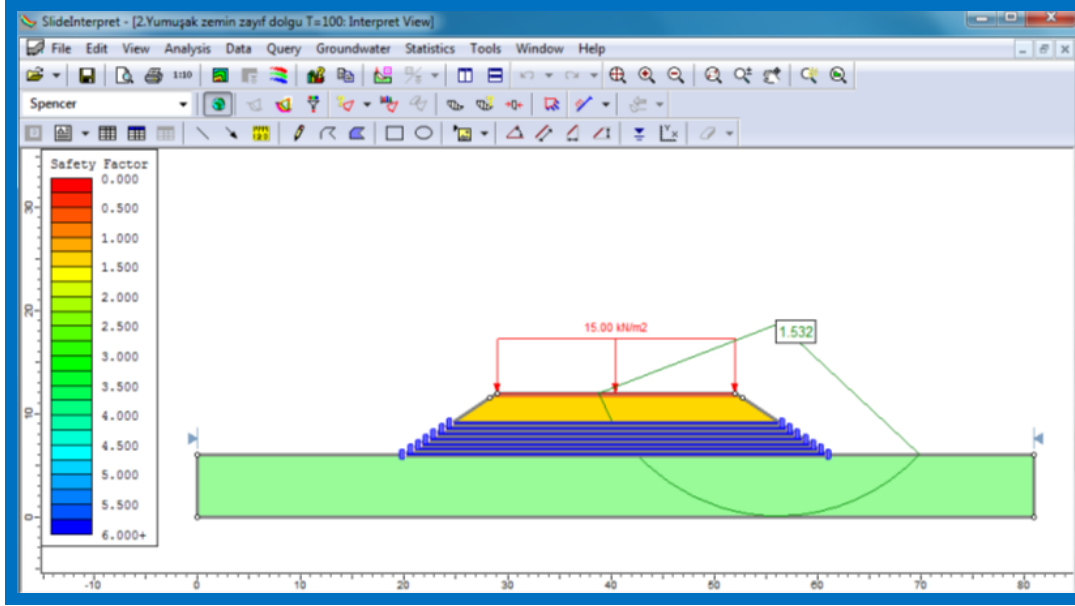
İki sıra geogridle yapılan çözümlemede $GK=0,930$ olarak elde edilmiştir. Ancak bu güvenlik katsayısı da halen yetersiz olduğundan ikinci adımda yerleştirilen geogridin 50 cm üstüne üçüncü bir sıra geogrid daha yerleştirilerek çözümleme tekrarlanmış ve sonuçları Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözülmesi

Üç sıra geogrid donatısı yerleştirildiğinde de $GK=1,034$ olarak elde edilmiştir (Şekil 6.5). Güvenlik katsayısı hedeflenen $GK=1,5$ değerine ulaşmaya değin modele eklenen geogrid donatı sayısı artırılmış ve en son yedi sıra geogrid donatı kullanılarak $GK=1,532$ değerine ulaşmıştır (Şekil 6.6).

7 sıra geogrid donatısının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $255,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun yedi sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümü

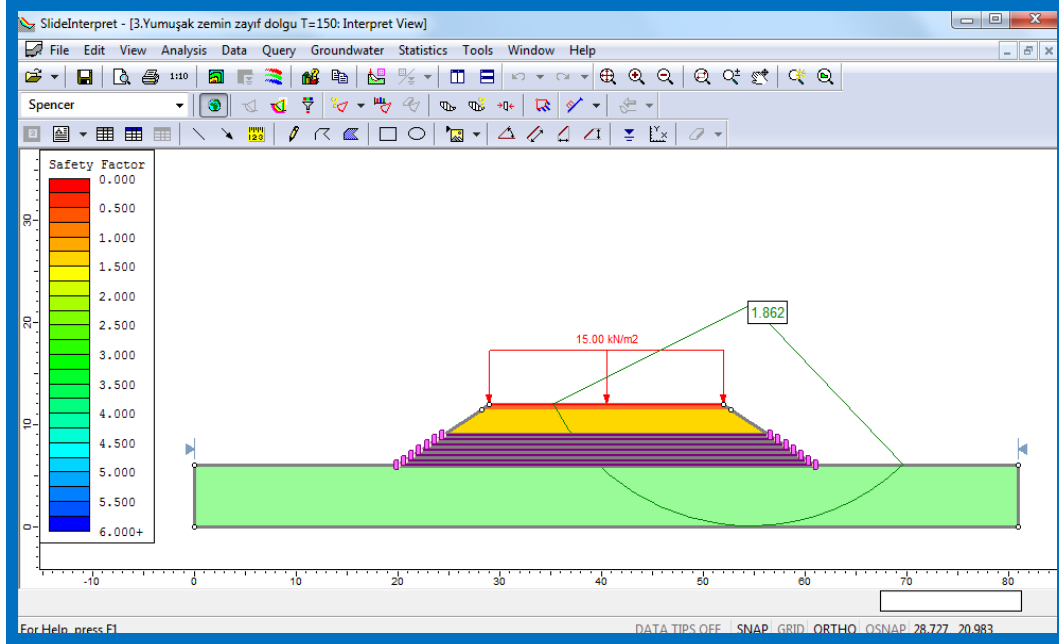
$T_a = 150$ kN/m geogridle yapılan çözümleme

Analizlerde kullanılan geogridin çekme dayanımı arttırıldığında geogrid donatı alanının ve dolayısıyla da maliyetin ne kadar azaltılabileceğini görmek amacıyla çekme dayanımı $T_a=150$ kN/m olan geogrid donatılar kullanılarak çözümler tekrar yapılmıştır. Bunun için öncelikle programa, çekme dayanımı $T_a=150$ kN/m olan yeni bir geogrid tanımlanmıştır. “Geogrid 2” ismiyle tanımlanan bu geogridin çekme dayanımı hariç diğer bütün özellikleri “Geogrid 1” ile aynıdır. Diğer geogridden ayırt edilebilmesi amacıyla bu geogrid için farklı bir renk atanmıştır.

Önceki çözümlerde tanımlanan geogridler modelden kaldırılmış ve yeni tanımlanan “Geogrid 2” modele eklenmiştir. İlk geogrid yine dolguyla kil zemin arakesitine yerleştirilmiş ve hedeflenen $GK=1,5$ elde edilinceye değin geogrid donatı sayısı arttırılarak çözümler gerçekleştirilmiştir.

$T_a=150$ kN/m olan geogrid donatı kullanılarak yapılan çözümlerde altı sıra geogride kadar güvenlik katsayıları yetersiz gelmiş, yedi sıra geogrid kullanıldığında ise güvenlik katsayısı $GK=1,862$ olarak elde edilmiştir. Yedi sıra geogrid kullanılarak yapılan çözümlemenin sonuçları Şekil 6.7’de sunulmuştur. 7

sıra geogridin donatısının toplam alanı yine 1 m dolgu uzunluğu için 255,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.7. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun yedi sıra geogrid donatı kullanılarak ($T_a=150$ kN/m) çözülmesi

Çözümlenelerde kullanılan geogridin çekme dayanımının $T_a=100$ kN/m'den $T_a=150$ kN/m'ye artırılmasıyla gerekli olan geogrid donatı alanı azaltılmamıştır. Planlandığı gibi geogrid çekme dayanımı 50 kN/m daha artırılarak $T_a=200$ kN/m geogridle çözümlenmeler yapılmıştır.

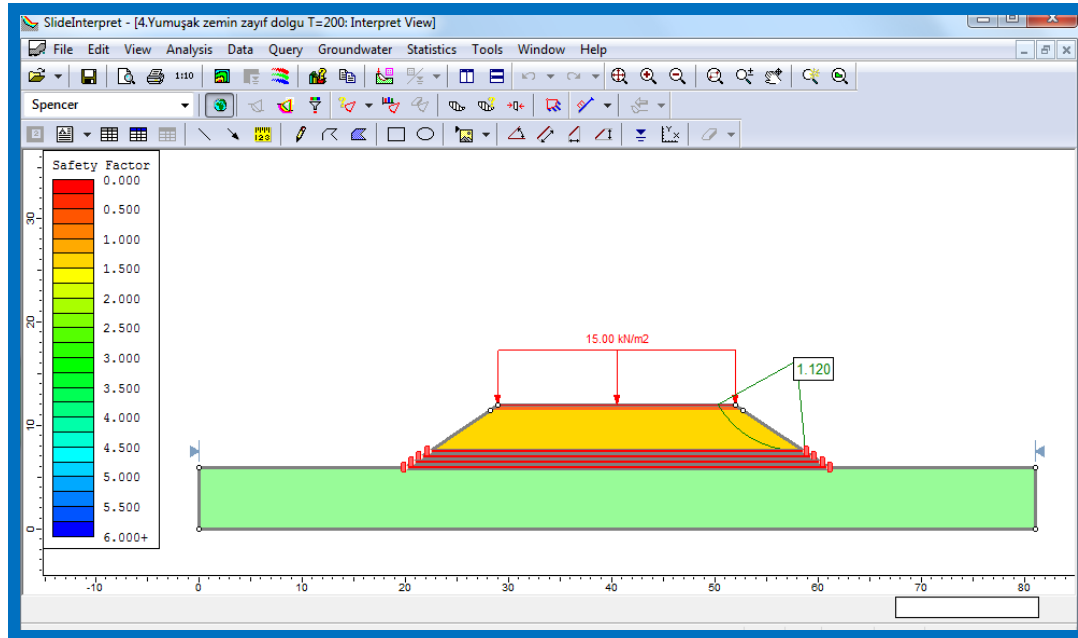
$T_a = 200$ kN/m geogridle yapılan çözümlenme

Çekme dayanımı $T_a=200$ kN/m olan geogrid programa "Geogrid 3" ismiyle tanımlanmıştır. Bu geogridin de çekme dayanımı hariç diğer bütün özellikleri "Geogrid 1 ve 2" ile aynıdır. Bu geogrid için de farklı bir renk atanmıştır.

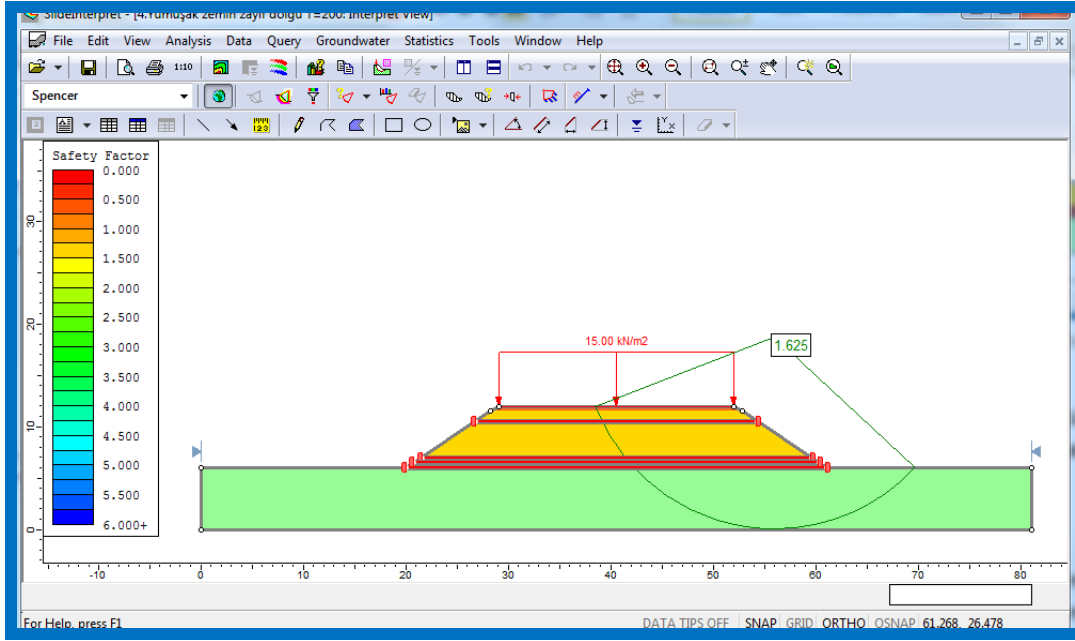
Çözümlenmelere yine bir sıra geogrid donatı eklenerek başlanmış ve önceki çözümlenelerde olduğu gibi ilk geogrid donatı dolguyla zemin arakesitine yerleştirilmiştir. Güvenlik katsayısı hedeflenen değere ulaşmaya değin modele eklenen geogrid donatı sayısı artırılmış ve çözümlenmeler yenilenmiştir.

Geogrid tabakaları dolgu tabanından başlayıp yukarıya doğru 50 cm aralıklarla yerleştirildiğinde, dört sıra geogrid donatısıyla $G.K=1,120$ elde edilmiş ve en düşük güvenlik katsayısına sahip kayma dairesi kil zeminden değil dolgunun kendi içinden geçmiştir (Şekil 6.8). Kayma dairesinin dolgunun kendi içinden geçmesi, geogrid diziliminin değiştirilmesi gerektiğini düşündürmüştür. Bu nedenle en üstteki (dördüncü sıradaki) geogrid donatısının yeri değiştirilmiş ve dolgu gövdesinin içinde, dolgu tabanından 4,50 m yukarıya yerleştirilmiştir. Bu şekilde yapılan çözümlenin sonucunda $G.K=1,625$ olarak elde edilmiştir (Şekil 6.9). Böylece $T_a=200$ kN/m geogrid donatı kullanılarak dolgu tabanından itibaren 50 cm arayla 3 sıra ve dolgu tabanından 4,50 m yukarıya 1 sıra olmak üzere toplam 4 sıra geogrid donatı ile yeterli güvenlik katsayısı elde edilmiştir. Buradan, geogrid donatı tabakasının dolgu içerisinde yerleştirildiği yerin de güvenlik katsayısı üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Dolguya yerleştirilen 4 sıra geogrid donatısının alanı 1 m dolgu uzunluğu için $146,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.8. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümlenmesi

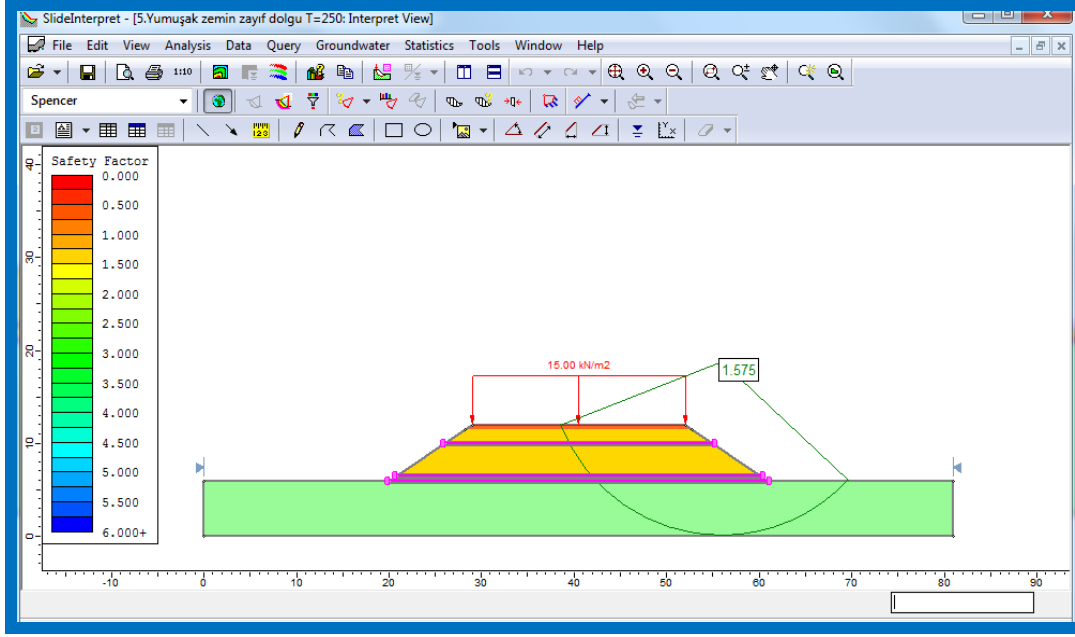


Şekil 6.9. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümlemesi

$T_a = 250$ kN/m geogridle yapılan çözümleme

Geogrid donatı sayısını azaltarak maliyetleri düşürmek umuduyla daha yüksek çekme dayanımına sahip geogrid kullanılarak çözümlenmeler yapılmıştır. Bu amaçla çözümlenelerde $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılmıştır. Bu geogrid programa "Geogrid 4" ismiyle tanımlanmıştır.

$T_a=250$ kN/m geogrid kullanılarak yapılan çözümlenelerde ilk sıra geogrid yine dolgu tabanına yerleştirilmiş, diğer geogridler ise 50 cm arayla üst katmanlara yerleştirilmiştir. Kayma dairesinin konumuna ve elde edilen güvenlik katsayılarına göre dolgu tabanına yerleştirilen geogrid donatısının yeri sabit tutulurken diğer geogrid tabakalarının yeri dolgu içinde değiştirilerek en az donatı ile istenilen güvenlik katsayısı elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çok sayıda çözümlenelerin (denemelerin) sonunda 50 cm arayla iki sıra dolgu tabanına, bir sıra da dolgu tabanından 4,00 m yukarıya geogrid donatısı yerleştirildiğinde $G.K=1,575$ elde edildiği görülmüştür (Şekil 6.10). Böylece izin verilen çekme dayanımı 250 kN/m olan 3 sıra geogrid donatıyla yeterli duraylılık sağlanmıştır. 3 sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için toplam alanı ise $109,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun farklı yükseklikte üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümlemesi

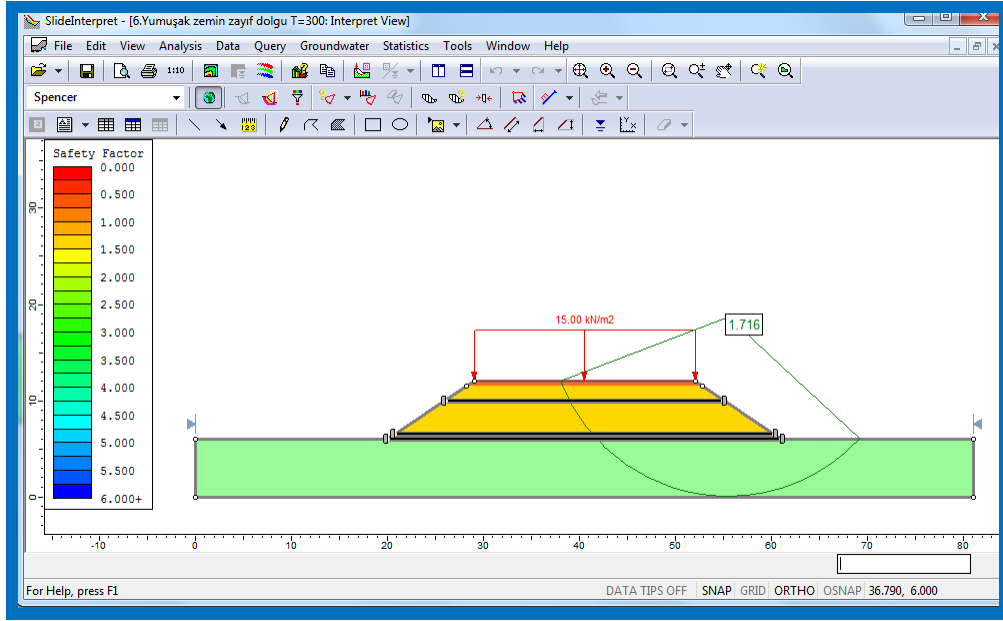
Geogrid donatı sayısı daha da düşürülebileceği düşünülerek geogrid çekme dayanımı 50 kN/m daha artırılıp $T_a=300$ kN/m'lik geogridle duraylılık çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir.

$T_a = 300$ kN/m geogridle yapılan çözümleme

$T_a=300$ kN/m'lik geogrid programa "Geogrid 5" ismiyle tanımlanmış ve ilk sıra geogrid yine dolgu tabanına yerleştirilerek duraylılık çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çözümlenmelerde iki sıra geogrid donatı kullanıldığında güvenlik katsayısı yetersiz kalmış, üç sıra geogrid donatı kullanıldığında $G.K=1,716$ olarak elde edilmiştir. Üçüncü sıra geogrid donatı dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmiştir (Şekil 6.11).

3 sıra geogridin toplam alanı 1 m dolgu uzunluğu için $109,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.11. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun farklı yükseklikte üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözülmesi

1. Senaryo için, yani “Yumuşak kil zemin – Zayıf granüler dolgu” için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümlerlerde arzu edilen güvenlik katsayısına ulaşmak için gereken geogrid donatı sayıları, elde edilen güvenlik katsayıları ve 1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanları toplu halde Çizelge 6.2’de verilmiştir.

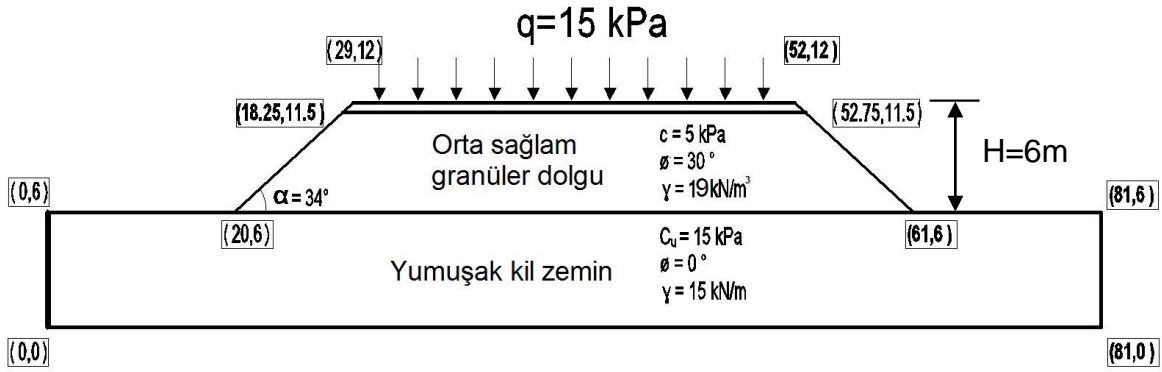
Çizelge 6.2. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m^2/m)*
100	7	1,532	255,50
150	7	1,862	255,50
200	4	1,625	146,00
250	3	1,575	109,50
300	3	1,716	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,710	-

* 1 m dolgu uzunluğu içindir.

6.1.2. Yumuşak kil zemin - orta sağlam granüler dolgu (senaryo 2)

Bu senaryoda taban zemini dayanım parametreleri aynı kalırken dolgunun daha yüksek dayanıma sahip bir malzemeyle inşa edileceği durum değerlendirilmiştir. Bu amaçla dolgunun içsel sürtünme açısının $\phi = 30^\circ$, birim hacim ağırlığının $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ olduğu ve kohezyonun yine $c = 5 \text{ kPa}$ olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 5.1). Çözümlenelerde dikkate alınan parametreler ve geometrik model Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme

Yumuşak kil üzerine oturan granüler yol dolgusuna herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme sonucunda şevin güvenlik katsayısı 0,674 olarak elde edilmiştir. Dolgunun bu güvenlik katsayısıyla duraylı olmayacağı ve güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

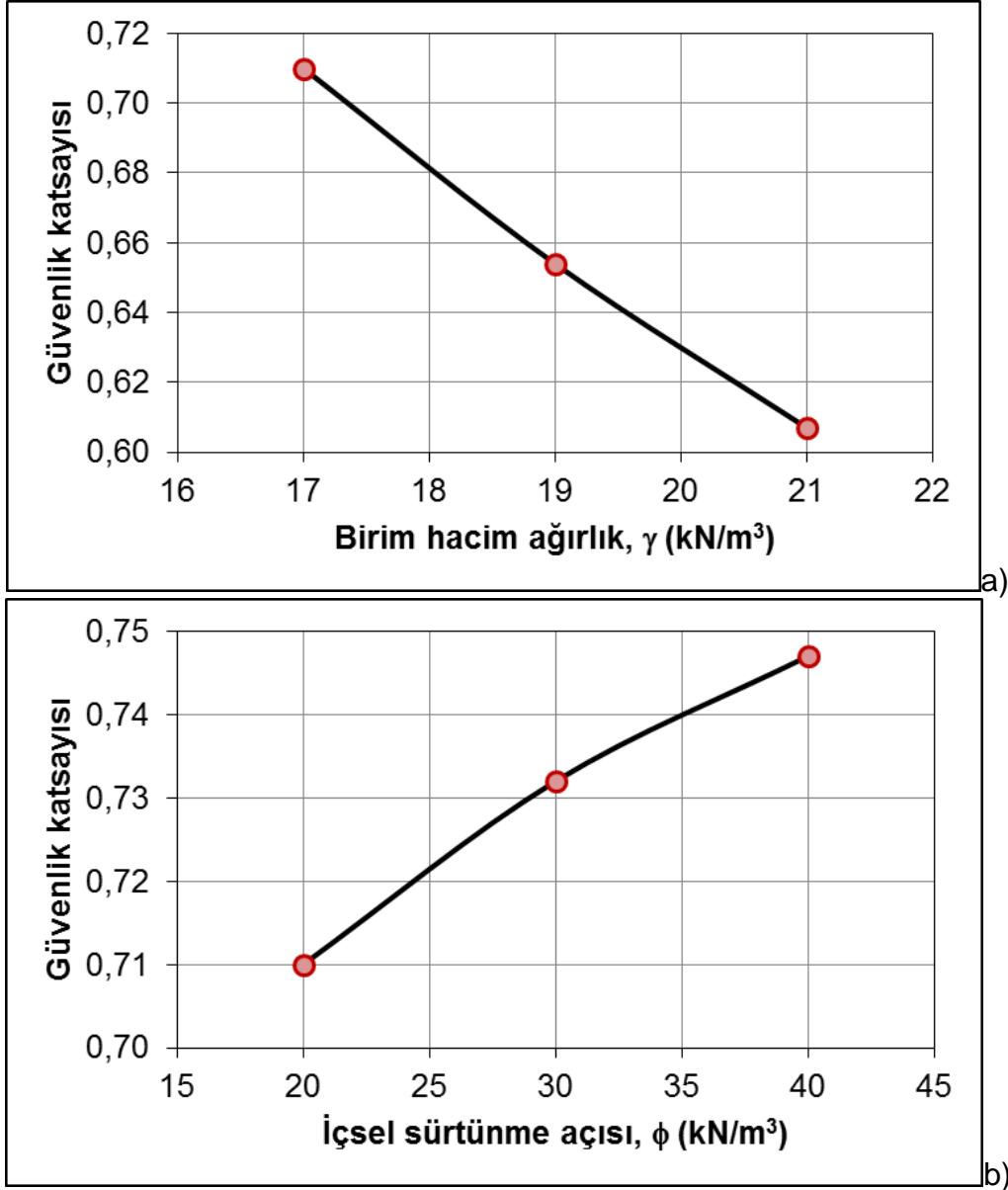
En ekonomik çözümlenmenin belirlenmesi için çözümlenmelere yine izin verilen çekme dayanımı $T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogridler başlanmış ve çekme dayanımı arttırılarak çözümlenmelere devam edilmiştir.

Çekme dayanımı, $T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlenmeler

Çözümlenmelerde dolgu tabanına yerleştirilen geogrid donatısının yeri sabit tutulup, en az sayıda geogrid donatısıyla en yüksek güvenlik katsayısının elde edilmesi için diğer geogrid donatılarının yerleri değiştirilerek en uygun geogrid dizilimi

belirlenmiştir. Buna göre $T_a=100$ kN/m olan geogridlerle yapılan çözümlerlerde dolgu tabanından başlamak üzere 50 cm arayla 8 sıra geogrid donatı kullanılarak yeterli güvenlik katsayısına ($G.K=1,551$) ancak ulaşılabilmektedir.

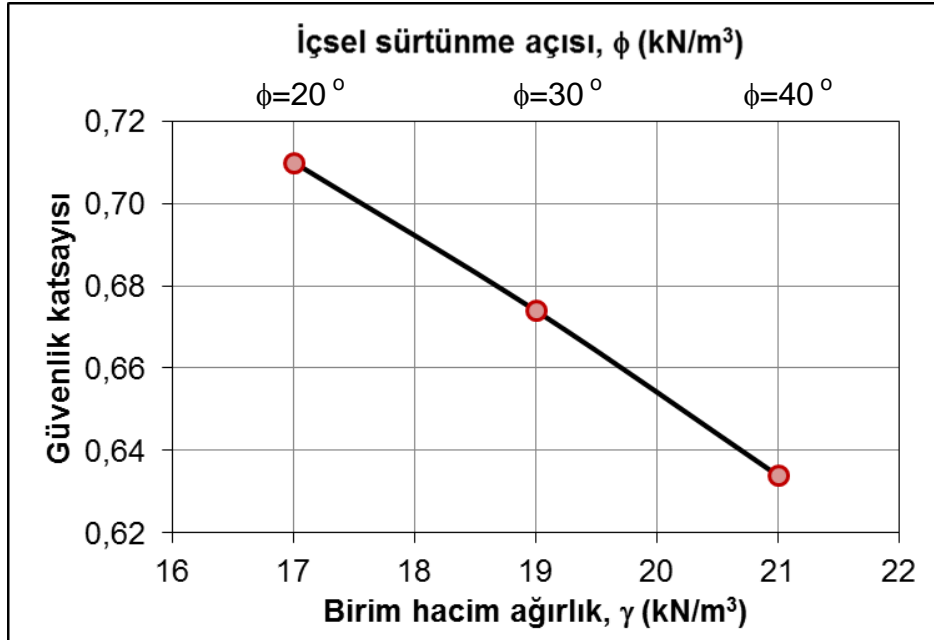
Dolgu daha zayıf bir malzemeyle ($c = 5$ kPa, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 19$ kN/m³) inşa edildiğinde 7 sıra geogrid donatısıyla duraylılık sağlanabilmişken, daha güçlü bir malzemeyle ($c = 5$ kPa, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 21$ kN/m³) yapılması durumunda duraylılık sağlanması için 8 sıra geogrid donatı gerekmesi dikkat çekicidir. Bunun sebebinin orta sağlam dolgunun birim hacim ağırlığının zayıf dolguya kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunu doğrulamak için dolgunun güvenlik katsayısının birim hacim ağırlığa karşı hassasiyetini ortaya koyan çözümler yapılmıştır. Bu çözümlerlerde dolgunun kohezyonu ($c = 5$ kPa) içsel sürtünme açısı ($\phi = 20^\circ$) ve şev açısı ($\alpha = 34^\circ$) sabit tutularak birim hacim ağırlığı sırayla $\gamma = 17$ kN/m³, $\gamma = 19$ kN/m³ ve $\gamma = 21$ kN/m³ olarak değiştirilmiştir. Bununla birlikte, güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına karşı hassasiyeti de belirlenmiştir. Bunun için de dolgunun kohezyonu ($c = 5$ kPa), birim hacim ağırlığı ($\gamma = 17$ kN/m³) ve şev açısı ($\alpha = 34^\circ$) olarak sabit tutulmuş, içsel sürtünme açısı ise $\phi = 20^\circ$, 30° ve 40° olarak değiştirilmiştir. Hassasiyet çözümlerinin sonuçları Şekil 6.13'de görülmektedir.



Şekil 6.13. Güvenlik katsayısının, a) Birim hacim ağırlığa (γ) karşı, b) Kayma dayanımı açısına (ϕ) karşı hassasiyeti

Şekil 6.13'den de görüldüğü gibi dolgunun birim hacim ağırlığı arttıkça (diğer parametreler sabitken) güvenlik katsayısı azalmaktadır. Bunun sebebi; dolgunun birim hacim ağırlığının artması ağırlığının artmasına dolayısıyla da kaydıran kuvvetlerin artmasına, bu kuvvetlerin artması güvenlik katsayısının düşmesine yol açmasıdır. Ancak içsel sürtünme açısı için durum tam tersi olup, içsel sürtünme açısı arttıkça güvenlik katsayısı artmaktadır. Bu çalışmada, zayıf dolgudan güçlü dolguya geçerken içsel sürtünme açısıyla birlikte birim hacim ağırlık da arttırılmıştır. Güvenlik katsayısı üzerinde hangi parametrenin daha etkili olduğunu belirlemek için bir hassasiyet çözümlemesi daha yapılmıştır. Bu çözümlemede

kohezyon $c = 5$ kPa ve şev açısı $\alpha = 34^\circ$ de sabit tutulurken kayma dayanım açısı (ϕ') ve birim hacim ağırlık (γ) birlikte arttırılmıştır. Bu hassasiyet çözümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 6.14'de verilmiştir.



Şekil 6.14. Güvenlik katsayısının birim hacim ağırlığının (γ) ve içsel sürtünme açısının (ϕ) her ikisine birlikte hassasiyeti

Dolgunun içsel sürtünme açısıyla birlikte birim hacim ağırlığı da arttıkça güvenlik katsayısının azaldığı ve böylece güvenlik katsayısı üzerinde dolgunun birim hacim ağırlığının içsel sürtünme açısına göre daha etkin (baskın) olduğu Şekil 6.14'de görülmektedir.

Son olarak dolgunun dayanımının artmasına rağmen güçlendirme (duraylılık) sağlanması için gereken geogrid donatı sayısının daha fazla çıkmasının nedenini ortaya koymak amacıyla "zayıf zemin – orta sağlam" dolgu çözümlemesinde dolgunun birim hacim ağırlığı $\gamma = 19$ kN/m^3 'ten 17 kN/m^3 'e düşürülmüştür. Bu durumda yeterli güvenlik katsayısını (G.K=1,5) veren geogrid donatı sayısı da 8'den 7'ye düşmüştür.

Böylece, dolgunun dayanım parametrelerinin (içsel sürtünme açısı) artmasına rağmen güçlendirme için gereken geogrid donatı sayısının azalması beklenirken

artmasının nedeni olarak, dolgunun birim hacim ağırlığının artmasından kaynaklandığı ortaya konulmuştur.

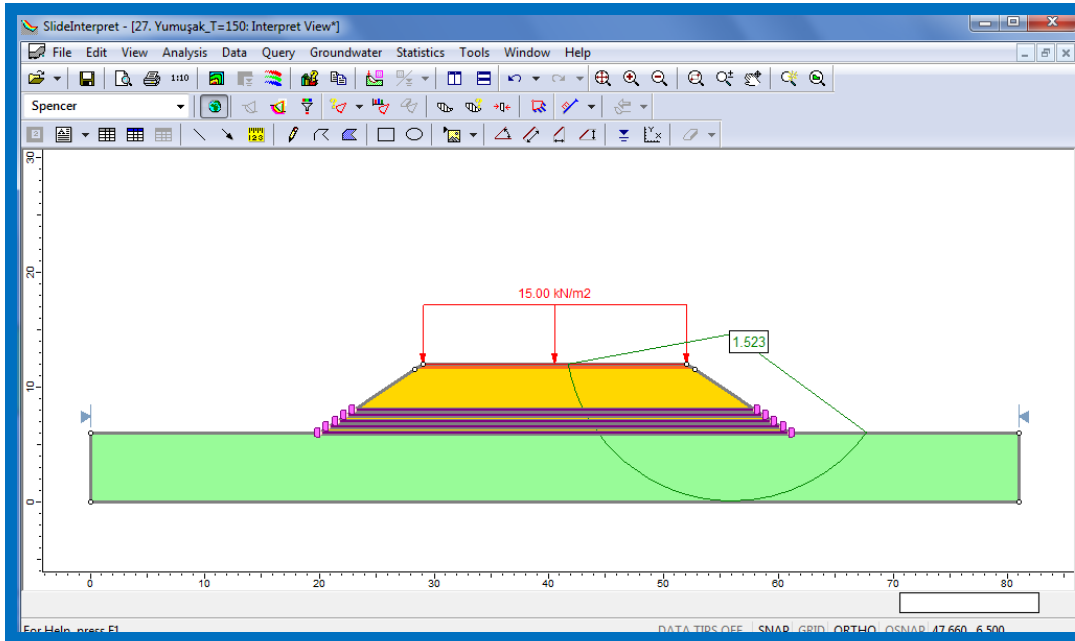
Dolguyu güçlendirmek için gereken 8 sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için alanı $286,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı, $T_a=150 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=150 \text{ kN/m}$ olan geogrid donatı kullanılarak yapılan çözümlerinde yine dolgu tabanına yerleştirilen geogrid donatısının yeri sabit tutulmak suretiyle diğer geogrid donatılarının yerleri değiştirilerek en uygun diziliminin belirlenmesi esasına dayanarak beş sıra geogrid donatısıyla $G.K=1,523$ değeri elde edilmiştir (Şekil 6.15).

$T_a=150 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanıldığında, $T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogride kıyasla üç sıra daha az geogridle dolgu şevinin duraylılığı sağlanabilmiştir.

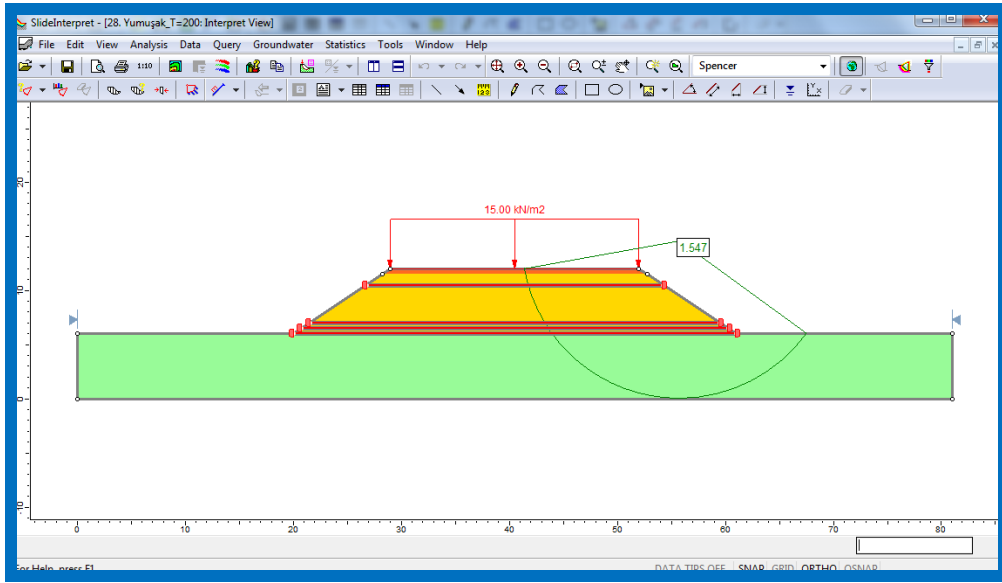
5 sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için alanı $190,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.15. Yumuşak zemine oturan orta sağlam dolgunun beş sıra geogridle ($T_a=150 \text{ kN/m}$) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

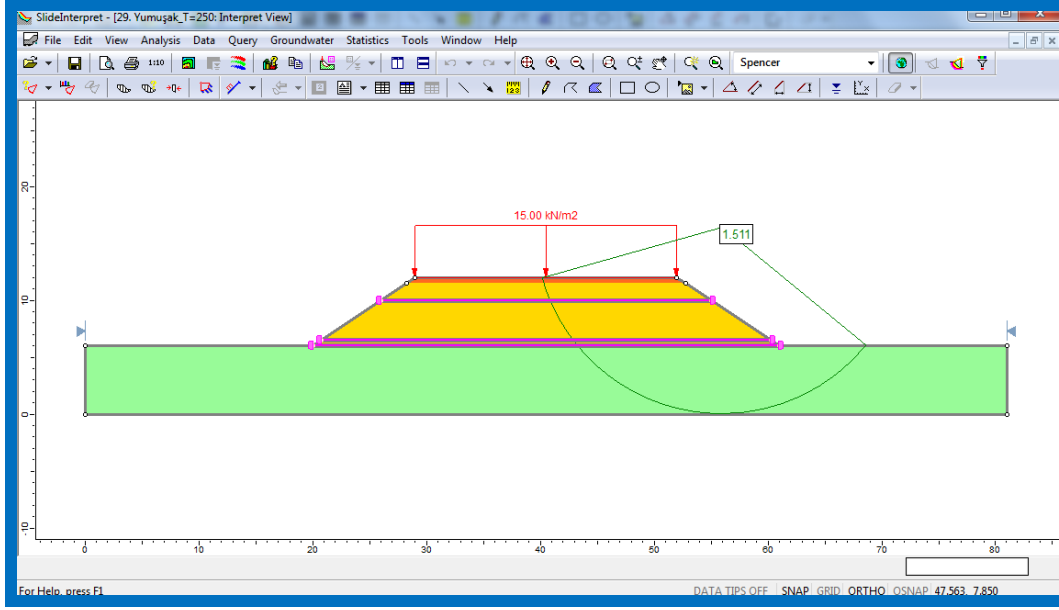
İzin verilen çekme dayanımı $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanıldığından dört sıra geogrid donatısıyla yeterli güvenlik katsayısına ($G.K = 1,547$) ulaşılmıştır (Şekil 6.16). Dört sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için alanı $146,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır



Şekil 6.16. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

İzin verilen çekme dayanım $T_a = 250$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlmelerin sonucunda üç sıra geogrid donatısıyla yeterli duraylılık ($G.K = 1,511$) sağlanmıştır (Şekil 6.17). Üçüncü sıradaki geogrid donatısı dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmiştir (Şekil 6.17).



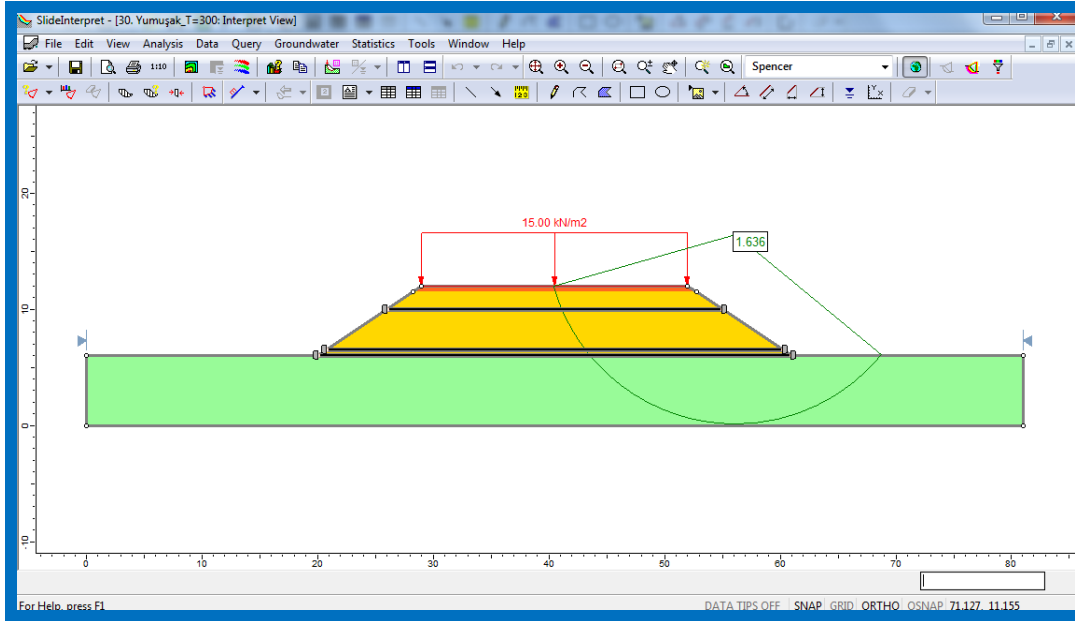
Şekil 6.17. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüle dolgunun üç sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümlemesi

Üç sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için alanı $109,50 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

$T_a = 300$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlmelerin sonucunda yine üç sıra geogrid donatısıyla duraylılık sağlanabilmiştir ($G.K=1,636$) (Şekil 6.18). Üçüncü sıradaki geogrid donatısı yine dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmiştir (Şekil 6.18).

Üç sıra geogrid donatısının 1 m uzunluğu için alanı $109,50 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.18. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüle dolgunun üç sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) çözümlemesi

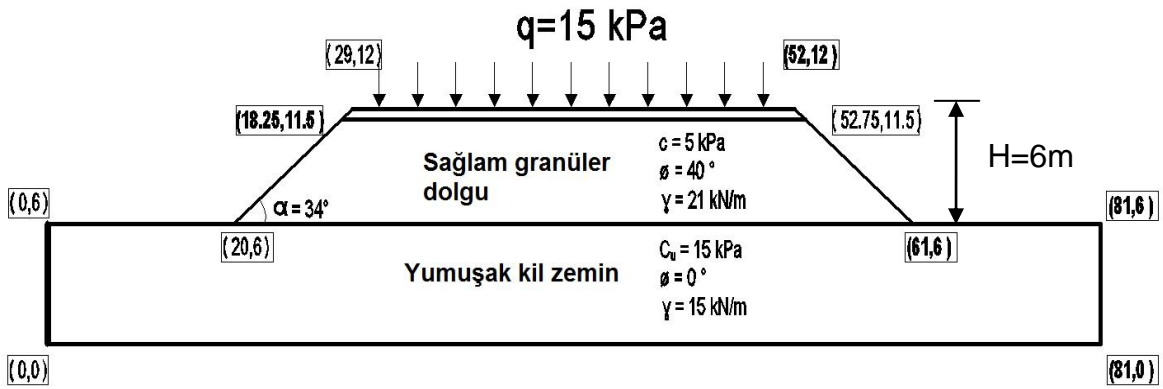
Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (Senaryo 2) için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümlemelerin sonuçları toplu halde Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümlemelerin sonuçları

Geogrid izin verilen Çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m^2/m)
100	8	1,551	286,00
150	5	1,523	190,00
200	4	1,543	146,00
250	3	1,511	109,50
300	3	1,645	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümleme		0,674	-

6.1.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 3)

Bu senaryoda kil zemin parametreleri Senaryo 1 ve Senaryo 2'deki parametrelerle aynı olup, dolgunun biraz daha kaliteli bir malzemeyle inşa edileceği durum değerlendirilmiştir. Bu amaçla dolgunun içsel sürtünme açısı $\phi = 40^\circ$, birim hacim ağırlığı ise 21 kN/m^3 olacak şekilde artırılmıştır. Bu senaryo için çözümlenelerde kullanılacak model geometrisi Şekil 6.19'da verilmiştir.



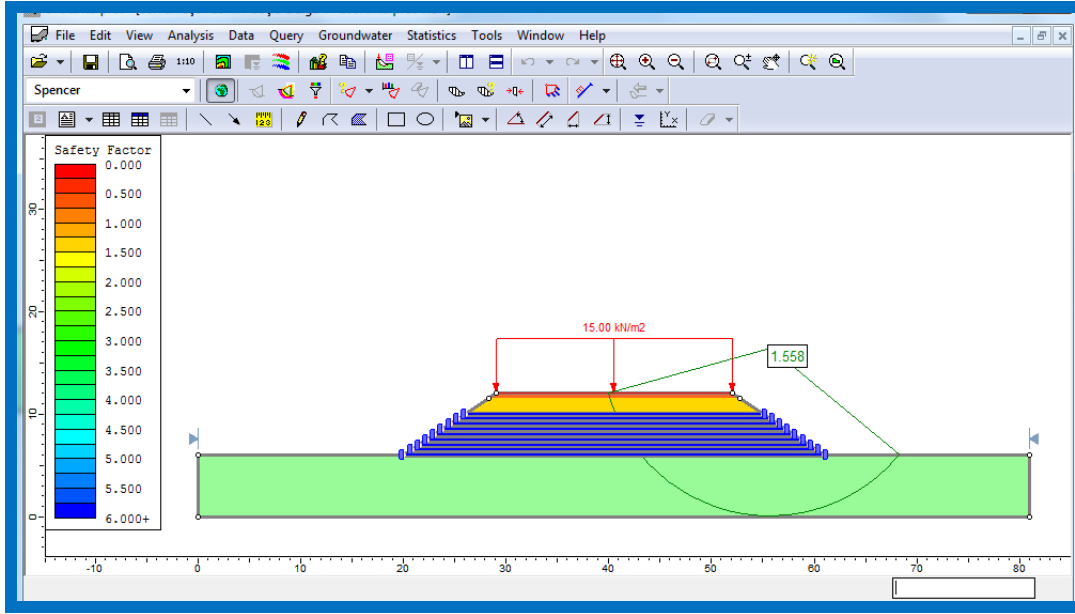
Şekil 6.19. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolgunun güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenmesi

Yumuşak kil zemin üzerine oturan sağlam granüler dolgunun herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenmesi sonucunda şevin güvenlik katsayısı (GK) 0,634 olarak elde edilmiştir. Dolgunun bu güvenlik katsayısıyla duraylı olmadığı ve güçlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

Çekme dayanımı, $T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlenmeler

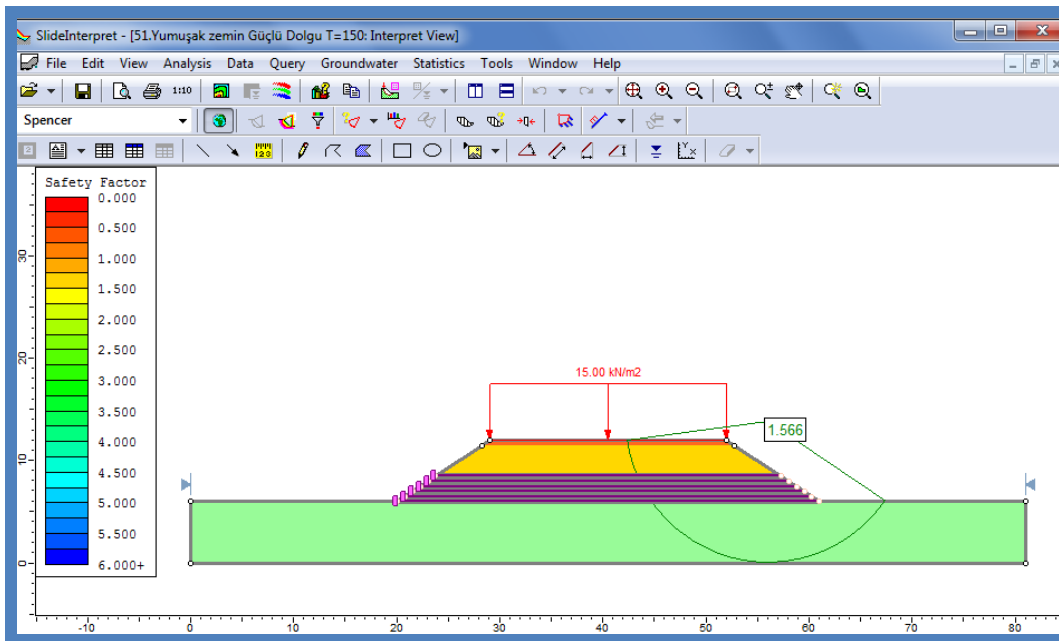
Dolgunun güçlendirilmesi amacıyla 0,50 m ara ile dokuz adet geogrid dizilerek güvenlik katsayısı $G.K=1,558$ olarak bulunmuştur (Şekil 6.20). Dokuz sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $315,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.20. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun dokuz sıra geogridler ($T_a=100$ kN/m) çözümlemesi

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

$T_a=150$ kN/m olan geogrid donatı kullanılarak yapılan çözümlmelerde 0,50 m ara ile altı sıra geogrid kullanılarak duraylılık ($GK=1,566$) sağlanabilmıştır (Şekil 6.21).

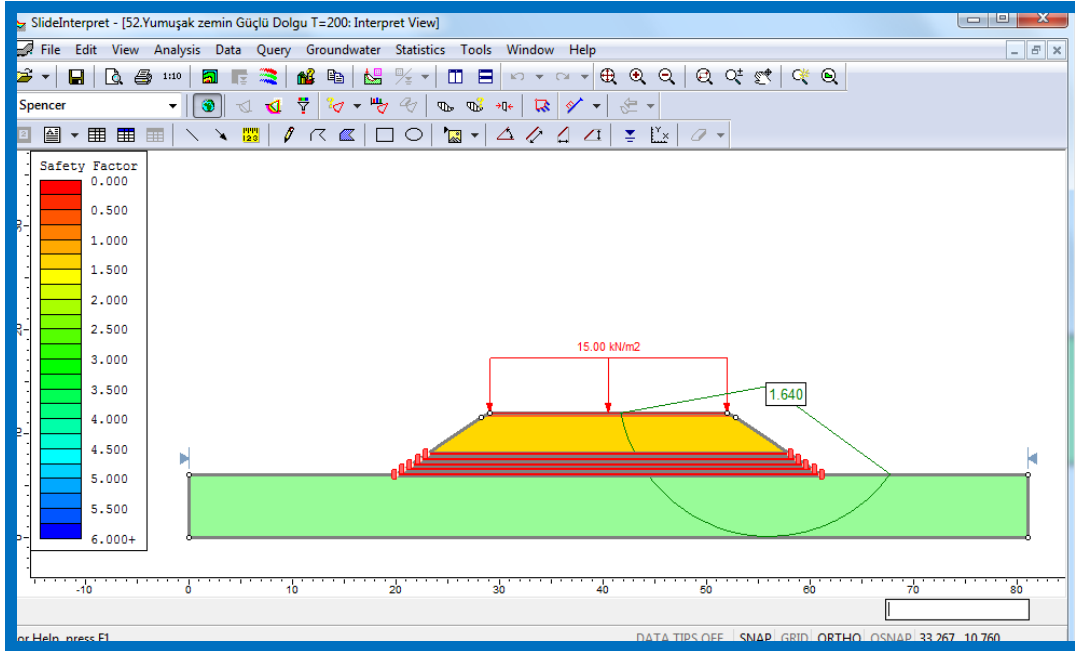


Şekil 6.21. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun altı sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümlemesi

Altı sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $223,50 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı, $T_a=200 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

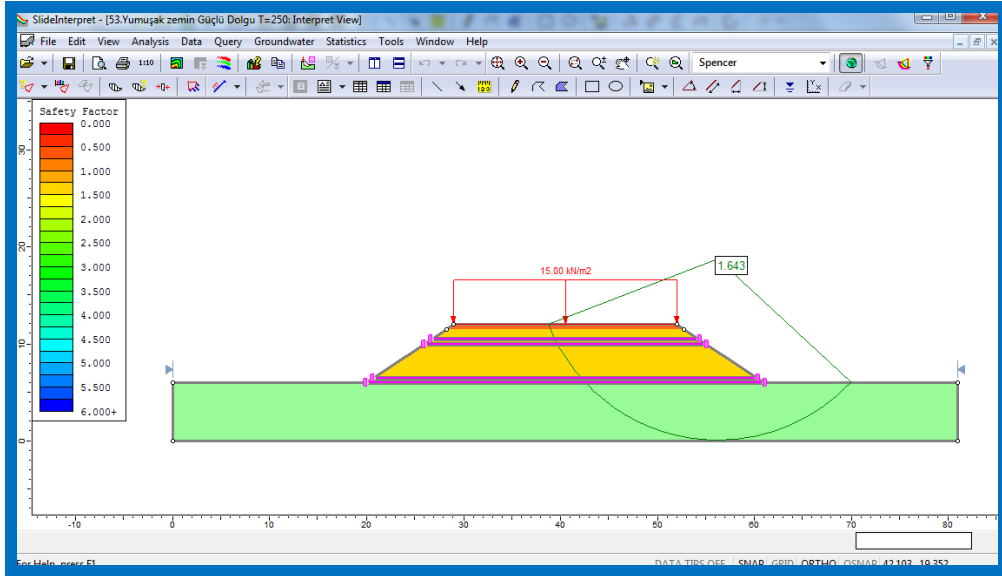
$T_a=200 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmelerde 0,50 m ara ile beş adet geogrid donatı kullanılarak $GK=1,640$ değeri ile duraylılık sağlanmıştır (Şekil 6.22). Beş sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $190,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.22. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun beş sıra geogridle ($T_a=200 \text{ kN/m}$) çözümlmesi

Çekme dayanımı, $T_a=250 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

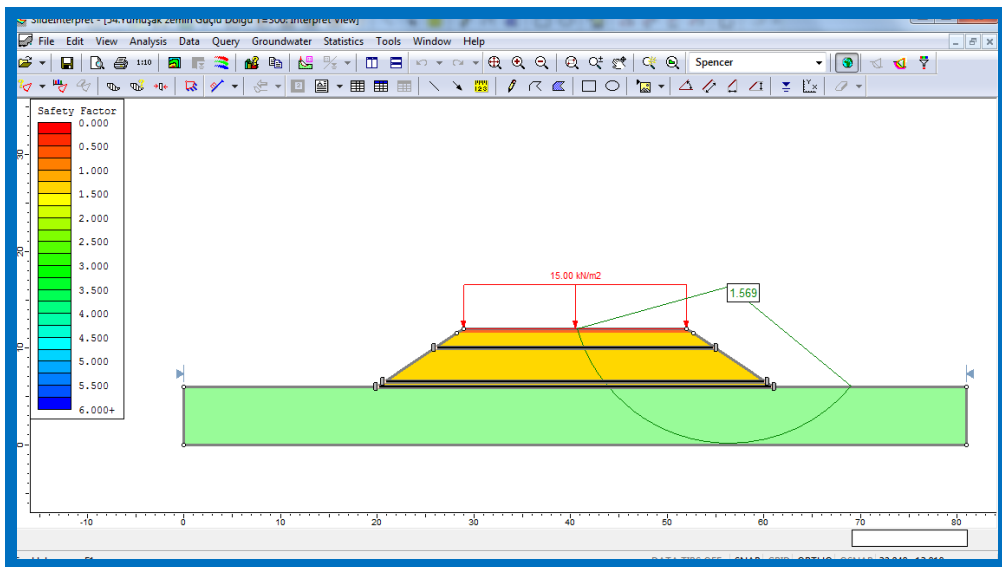
$T_a=250 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmelerde dört sıra geogridin kullanılmasıyla duraylılık sağlanmıştır. Bu geogrid donatılardan ikisi 0,50 m ara ile dolgu tabanında, diğer ikisi dolgu tabanından 4,00 m ve 4,50 m yukarıya yerleştirilerek $GK=1,643$ olarak bulunmuştur (Şekil 6.23). Dört sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $155,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.23. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüle dolgunun dört sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümlemesi

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerlerde üç sıra geogridin kullanılmasıyla duraylılık sağlanmıştır. Bu geogrid donatılardan ikisi 0,50 m ara ile dolgu tabanında, diğeri dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilerek GK=1,569 olarak bulunmuştur (Şekil 6.24). Üç sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $109,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.24. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun üç sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) çözümlemesi

Geogrid çekme dayanımına göre yapılan çözümler Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	9	1,558	315,00
150	6	1,566	223,50
200	5	1,640	190,00
250	4	1,643	137,00
300	3	1,569	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,634	-

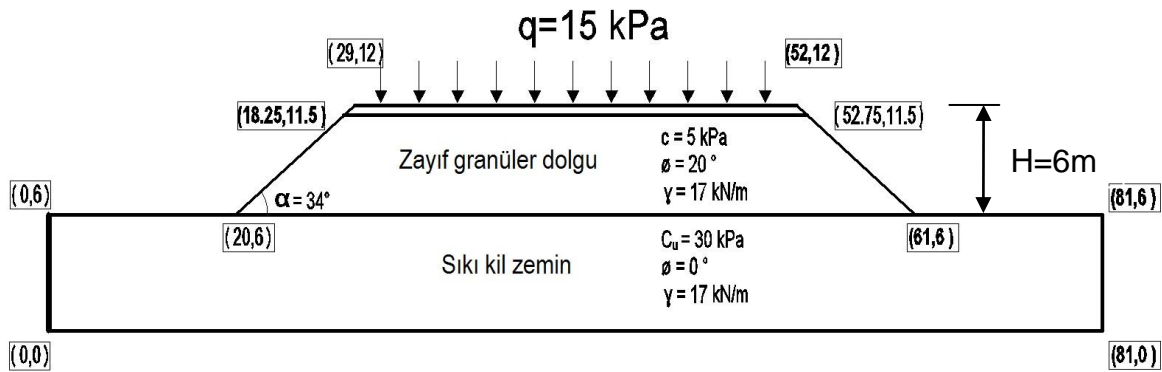
Yumuşak taban zeminine oturan “zayıf dolgu”, “orta sağlam dolgu” ve “sağlam dolgu” için yapılan çözümlerinin sonuçları toplu halde Çizelge 6.5’de görülmektedir.

Çizelge 6.5. Yumuşak kil zemine oturan granüle dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	255,50	286,00	315,00	7	8	9
150	255,50	190,00	223,50	7	5	6
200	146,00	146,00	190,00	4	4	5
250	109,50	109,50	137,00	3	3	4
300	109,50	109,50	109,50	3	3	3

6.1.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 4)

Dolgunun biraz daha sağlam bir zemin üzerine oturduğu durumu benzeştirmek için daha önceden de planlandığı gibi zayıf, orta sağlam ve sağlam dolgunun, kohezyonu $c_u = 30$ kPa, içsel sürtünme açısı $\phi = 0^\circ$ ve birim hacim ağırlığı $\gamma = 17$ kN/m³ olan nispeten biraz daha sıkı bir zemin üzerine oturduğu kabul edilerek, yine en düşük dayanımlı geogridden ($T_a=100$ kN/m) başlanmak suretiyle her bir durum için ayrı ayrı duraylılık çözümlenmeleri yapılmıştır. Sıkı zemin üzerine inşa edilen 5,50m yüksekliğindeki zayıf dolgunun çözümlenmesinde dikkate alınan yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.25’de verilmiştir.



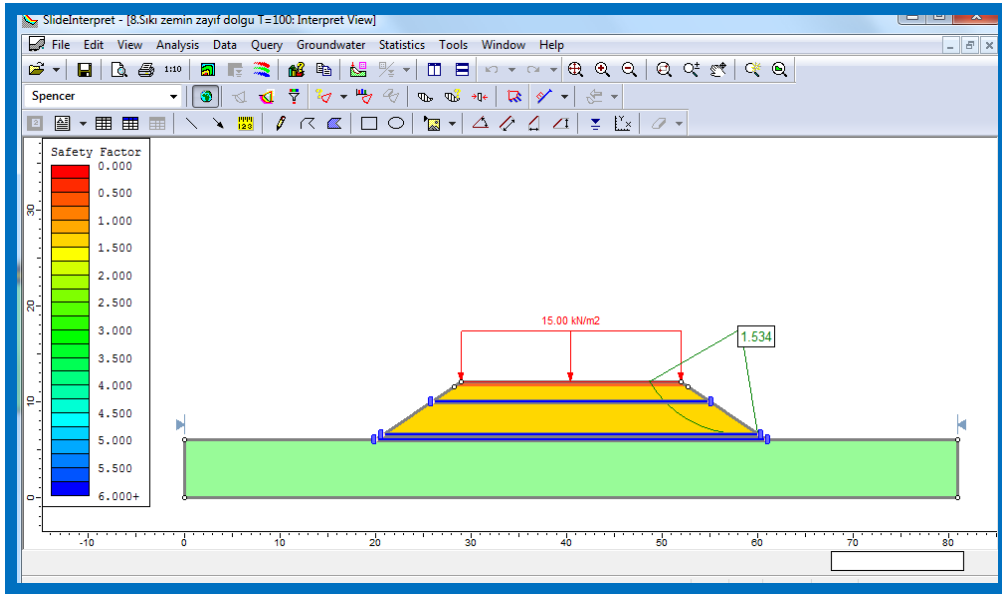
Şekil 6.25. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme

Sıkı kil zemin üzerine oturan zayıf granüler yol dolgusu için herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme sonucunda şevin güvenlik katsayısı (GK) 1,037 olarak elde edilmiştir. Taban zemininin dayanım parametreleri dolgudan daha iyi olduğu için, beklendiği gibi, en düşük güvenlik katsayısına sahip kayma dairesi taban zemininden değil dolgunun kendi içinden geçmiştir. Ancak elde edilen güvenlik katsayısı yetersiz ($G.K < 1,5$) olduğundan dolgunun güçlendirilmesi gerekmektedir.

Çekme dayanımı, $T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler sonucunda üç sıra geogrid kullanılarak yeterli güvenlik katsayısı ($G.K = 1,534$) elde edilmiştir (Şekil 6.26). Bu geogrid donatılarının ilk ikisi 0,50 m arayla dolgu tabanında, diğeri ise dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmiştir (Şekil 6.26).

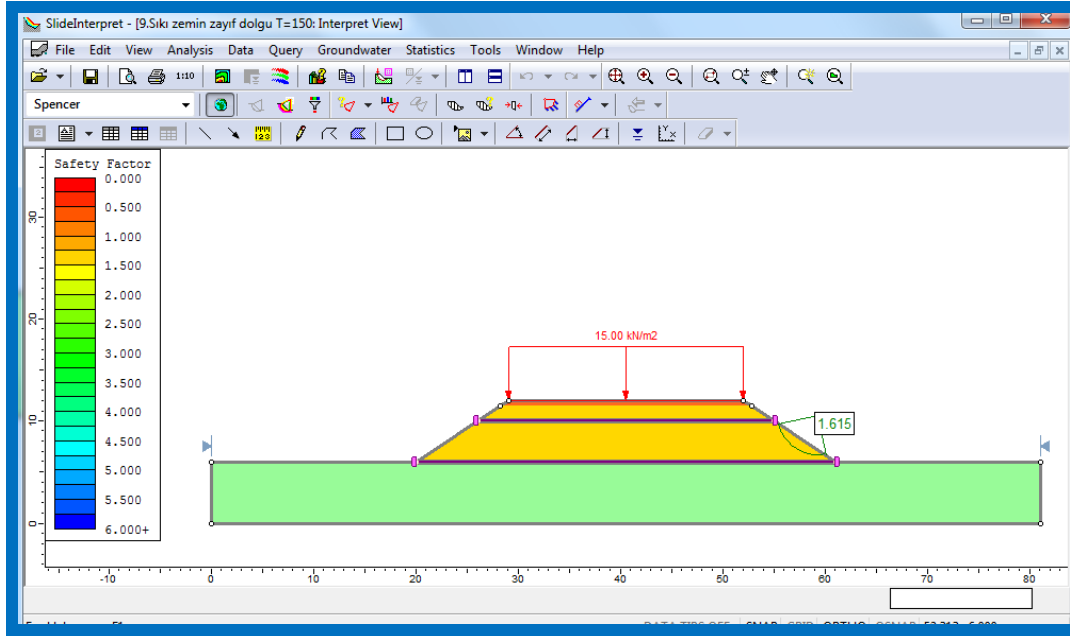


Şekil 6.26. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi

Üç sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $109,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerinde iki sıra geogrid kullanılarak yeterli güvenlik katsayısına ($GK=1,037$) ulaşılmıştır (Şekil 6.27). Bu geogrid donatılarından ilki dolgu tabanına, ikincisi ise dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir (Şekil 6.27).

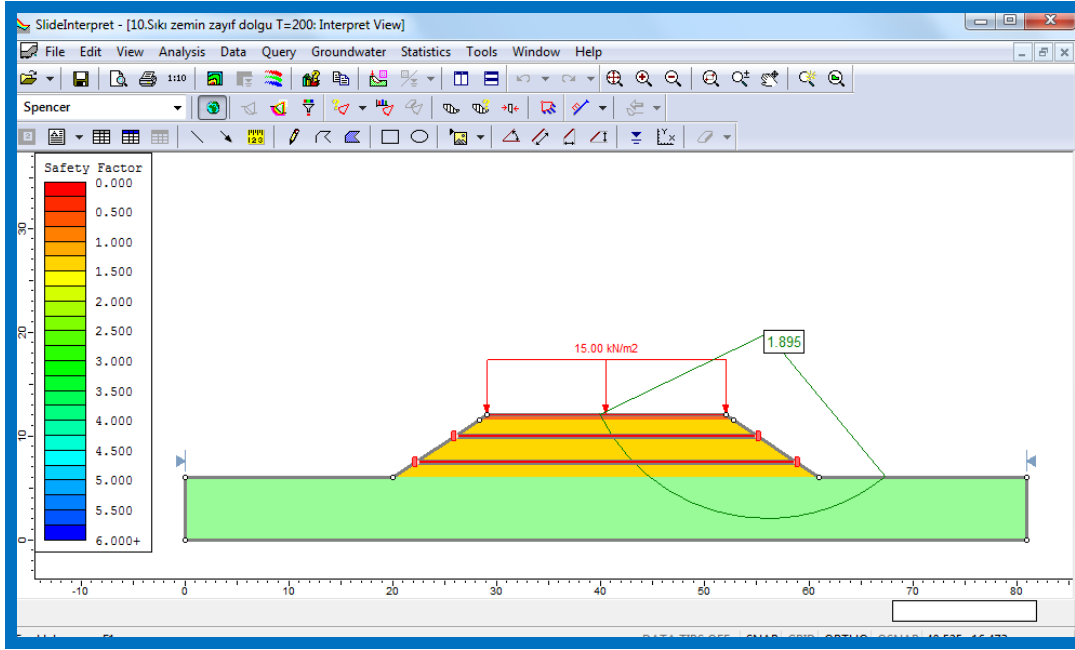


Şekil 6.27. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=150$ kN/m) çözümü

İki sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $70,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerde yeterli güvenlik katsayısını elde etmek ve gereken geogrid donatı sırasını teke düşürebilmek için geogrid donatısının dolgu içerisindeki yeri değiştirilerek çok sayıda çözümler yapılmıştır. Ancak tek sıra geogrid donatı ile yeterli duraylılık sağlanamamıştır (G.K=1,037). En uygun geogrid dizilimiyle en az iki sıra geogrid donatı kullanılarak G.K = 1,895 elde edilmiştir (Şekil 6.28). Bu geogrid donatılarından ilki dolgu tabanından 1,50 m yukarıya, diğeri ise yine dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilmiştir (Şekil 6.28). Bu geogrid donatılarının alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $65,50$ m²/m olarak ölçülmüştür. İki sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $65,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.

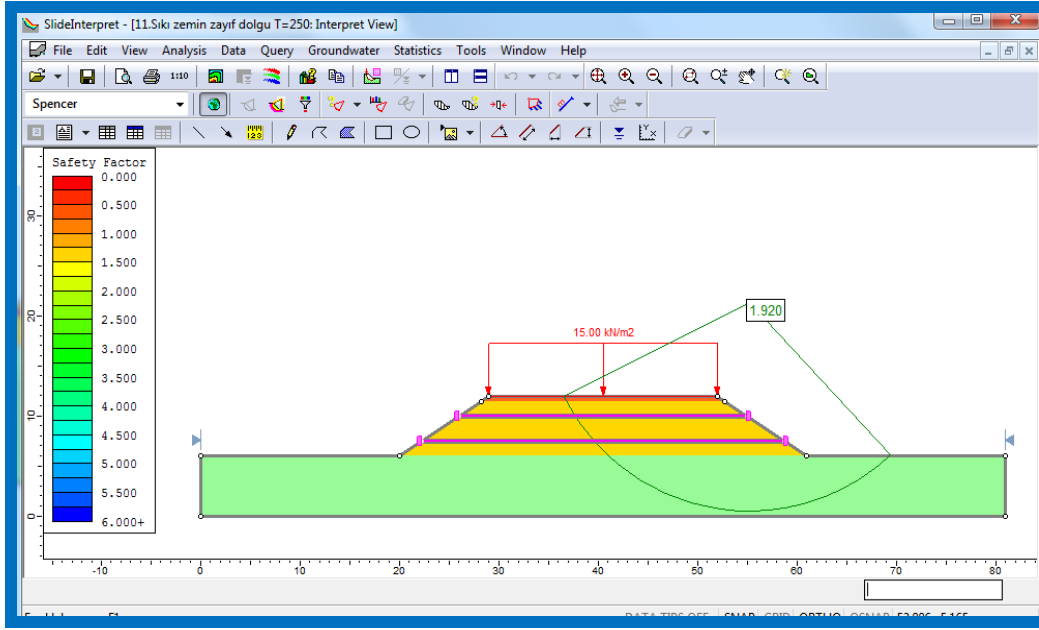


Şekil 6.28. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=200$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler yine tek sıra geogrid donatısıyla istenilen güvenlik katsayısı sağlanamamış, iki sıra geogrid donatı kullanıldığında ise $GK=1,920$ elde edilmiştir (Şekil 6.29). Bu geogrid donatılarının dizilimi de dolgu tabanından itibaren 1,50 m ve 4,00 m yukarıya olacak şekildedir.

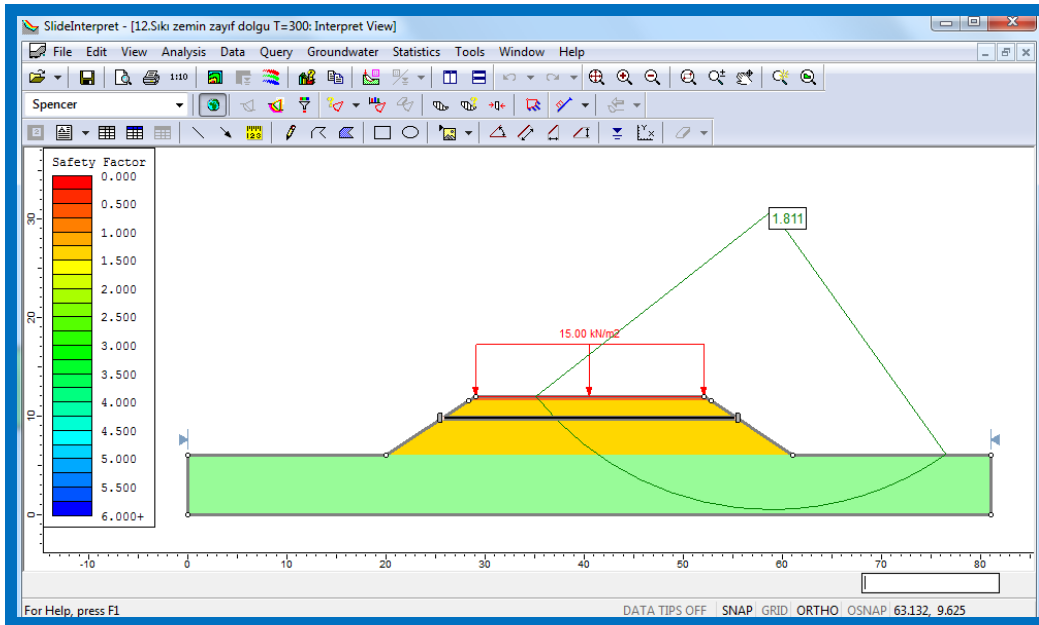
İki sıra geogrid donatısının 1 m dolgu uzunluğu için alanı $65,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.29. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=300$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlelerde tek sıra geogrid donatısıyla yeterli güvenlik katsayısı ($GK=1,811$) elde edilmiştir (Şekil 6.30). Bu geogrid donatısının yeri dolgu tabanından 3,25 m yukarıdadır.



Şekil 6.30. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümü

Bu geogrid donatısının alanı 1 m dolgu uzunluğu için 29,75 m²/m olarak hesaplanmıştır.

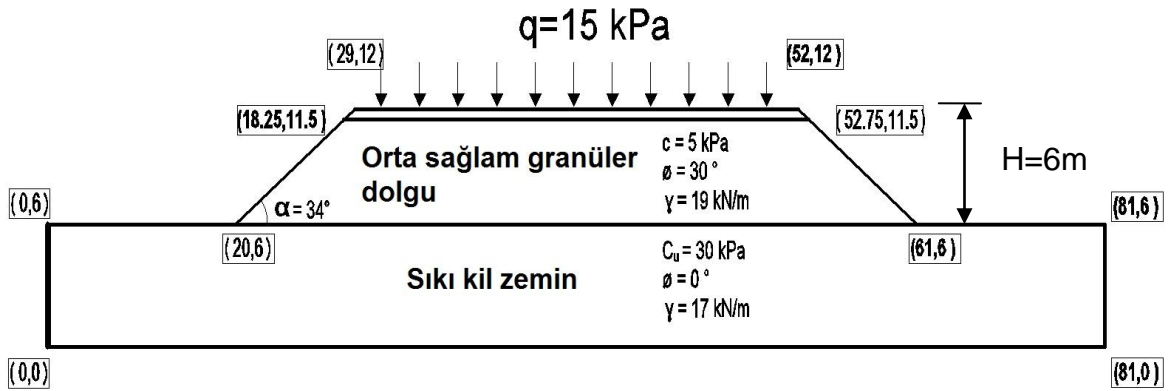
Geogrid çekme dayanımına göre yapılan çözümler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	3	1,534	109,50
150	2	1,615	70,00
200	2	1,895	65,50
250	2	1,920	65,50
300	1	1,811	29,75
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,037	-

6.1.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 5)

Bu bölümde sıkı kil zemin üzerine oturan orta sağlam granüler dolgu ($c = 5$ kPa, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 19$ kN/m³) için duraylılık çözümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.31).



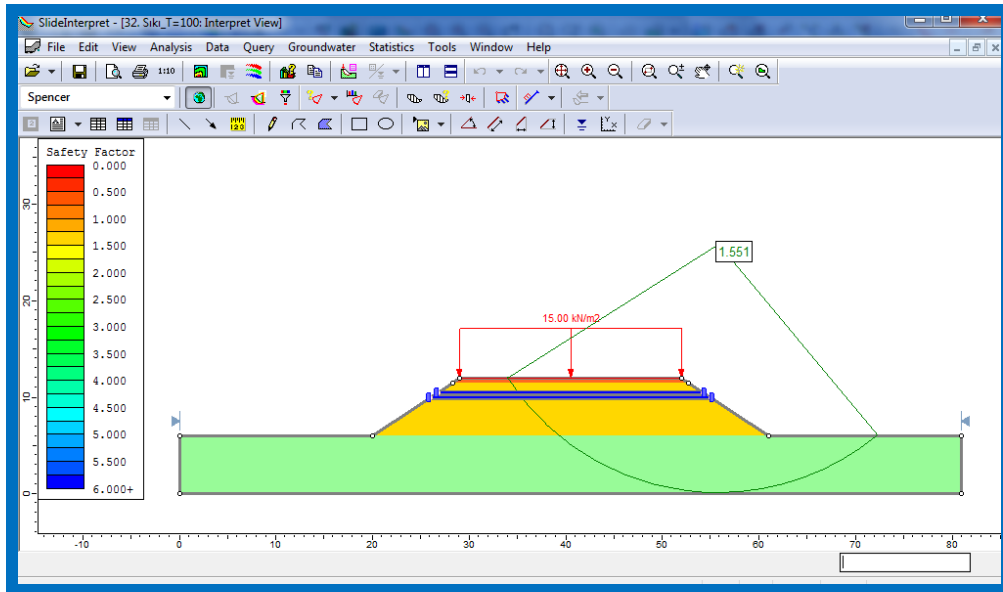
Şekil 6.31. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümler

Sıkı kil zemin üzerine oturan orta sağlam granüler dolgunun herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlerinde sonucunda şevnin güvenlik katsayısı (GK) 1,261 olarak elde edilmiş ve kayma dairesi taban zemininden geçmiştir. Elde edilen bu güvenlik katsayısı hedeflenen değerden düşük olduğu için dolgunun güçlendirilmesi gerekmektedir.

Çekme dayanımı, $T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerde dolgu tabanından 4,00 m ve 4,50 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatı ile istenilen güvenlik katsayısına (GK=1,551) ulaşılmıştır (Şekil 6.32). Bu geogrid donatılarının 1 m dolgu uzunluğu için toplam alanı $56,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.

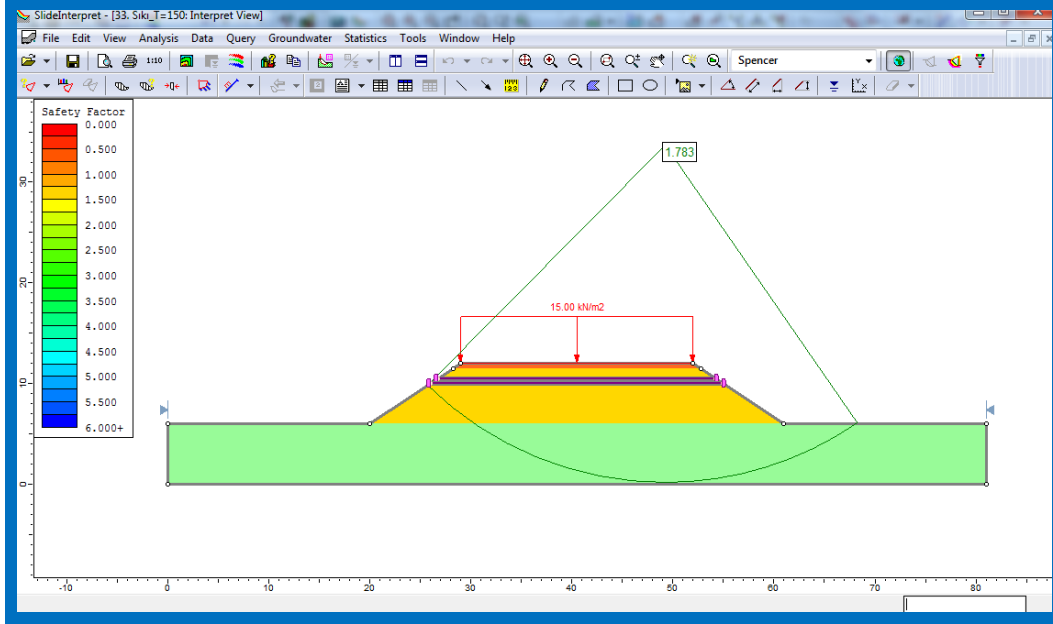


Şekil 6.32. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümler

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerde yine dolgu tabanından 4,00 m ve 4,50 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla

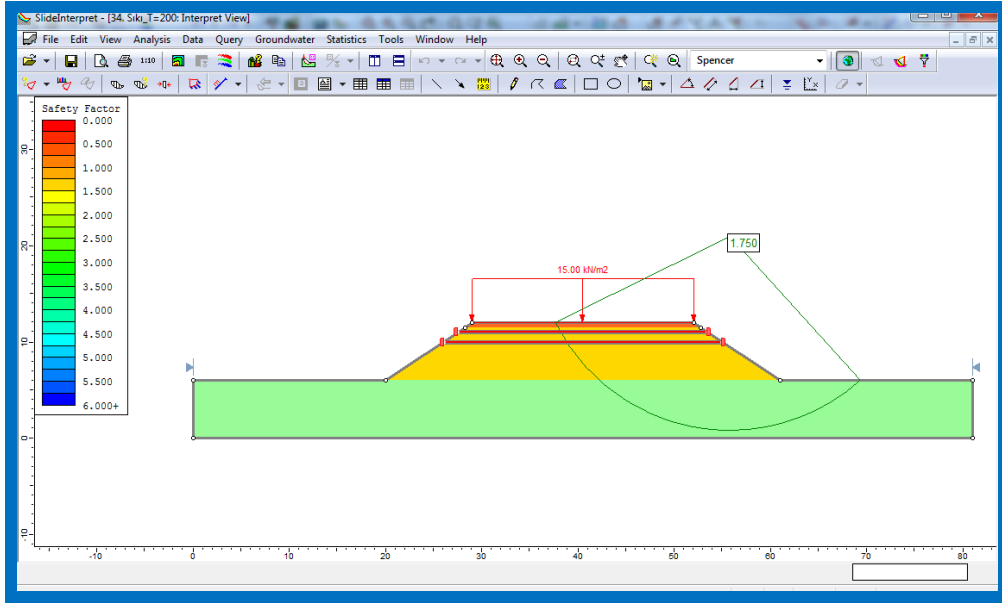
GK=1,783 değerine ulaşmıştır (Şekil 6.33). Bu geogrid donatılarının 1 m dolgu uzunluğu için toplam alanı 56,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.33. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun iki sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

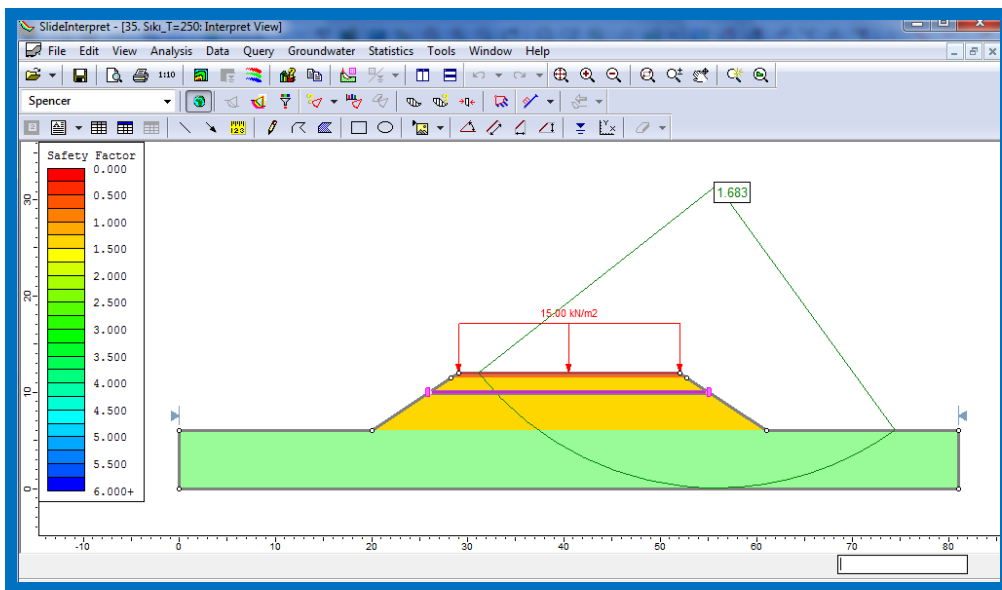
$T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümde yine dolgu tabanından 4,00 m ve 4,50 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla GK=1,750 değerine ulaşmıştır (Şekil 6.34). Bu geogrid donatılarının 1 m dolgu uzunluğu için toplam alanı 56,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.34. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun iki sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

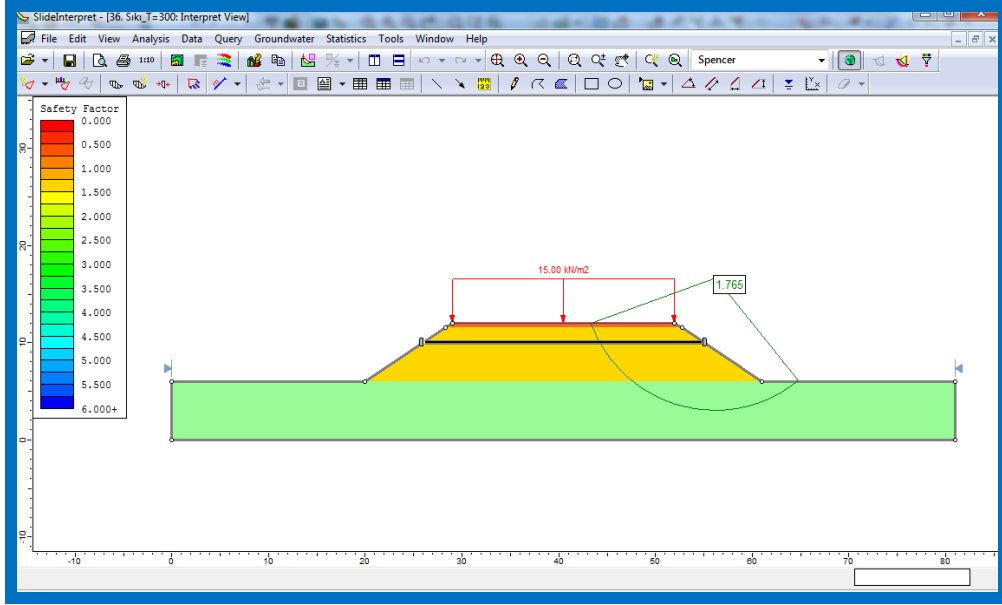
$T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümde dolgu tabanından 4,00 m yukarıya bir sıra geogrid kullanıldığında dolgunun güvenlik katsayısı $GK=1,683$ değerine ulaşmıştır (Şekil 6.35). Bu geogrid donatılarının 1 m dolgu uzunluğu için toplam alanı $29,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.35. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

$T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlerde taban kilinin 4,00 m üzerinde bir sıra geogrid donatı kullanıldığında dolgunun güvenlik katsayısı $GK=1,765$ değerine ulaşmıştır (Şekil 6.36). Bu geogrid donatılarının 1 m dolgu uzunluğu için toplam alanı $29,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.36. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridler ($T_a=300$ kN/m) çözümlemesi

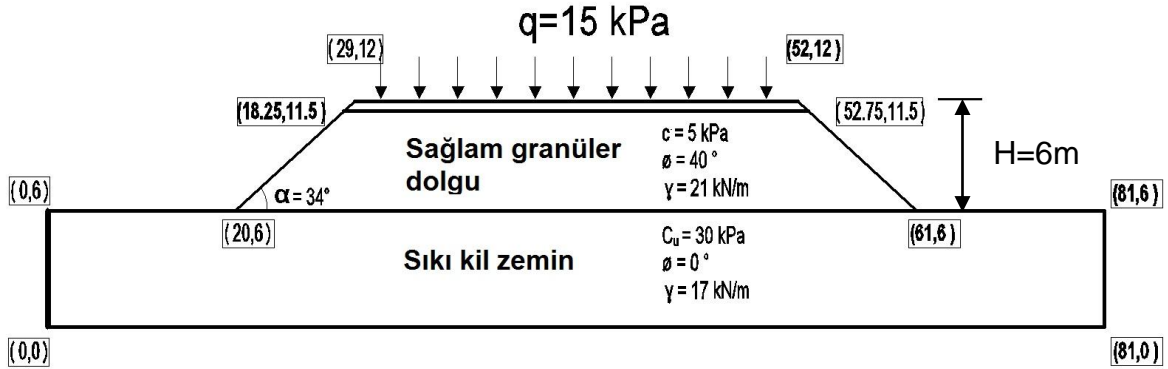
Sıkı kil zemin üzerine inşa edilen orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	2	1,551	56,50
150	2	1,783	56,50
200	2	1,750	55,00
250	1	1,683	29,00
300	1	1,765	29,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümlenme		1,261	-

6.1.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 6)

Bu bölümde sıkı zemin üzerine oturan sağlam dolgu ($c = 5$ kPa, $\phi = 40^\circ$, $\gamma = 21$ kN/m³) için duraylılık çözümleri yapılmıştır. Model geometrisi ve parametreler Şekil 6.37’de verilmiştir.



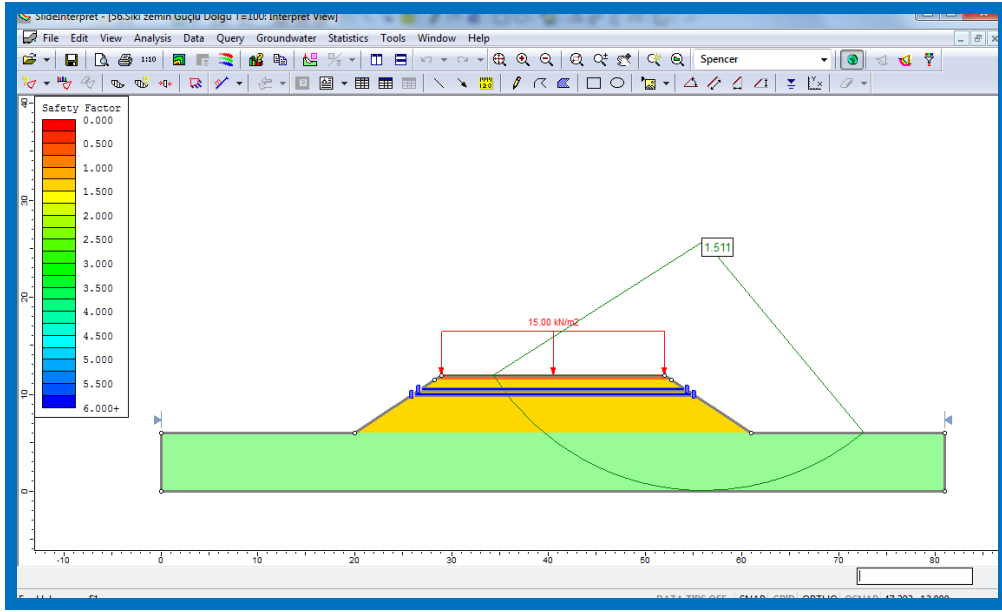
Şekil 6.37. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme

Dolgunun güçlendirme yapılmadan elde edilen güvenlik katsayısı $GK=1,207$ olarak bulunmuştur.

Çekme dayanımı, $T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

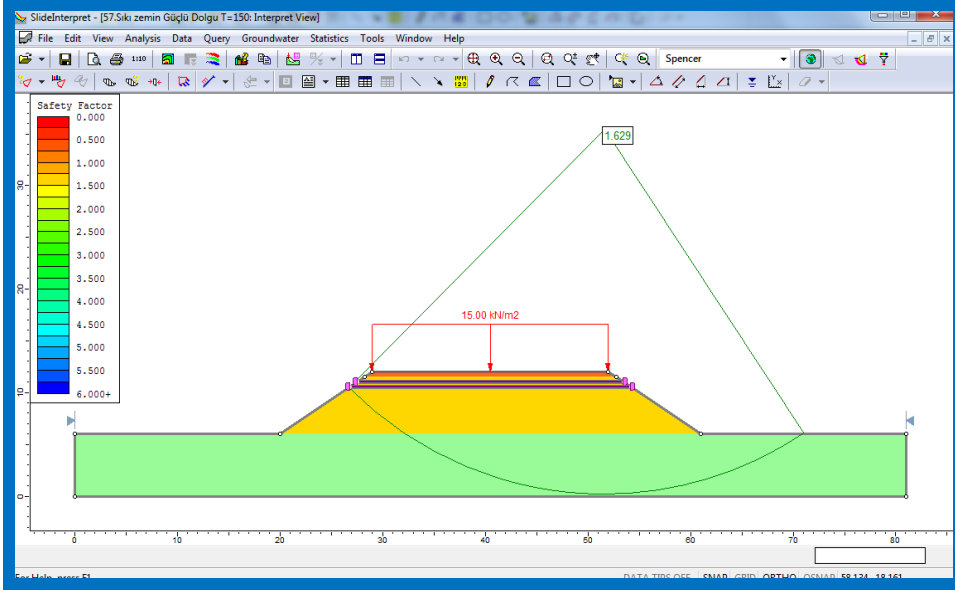
$T_a=100$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m ve 4,50 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,511$) sağlanmıştır (Şekil 6.38). Bu geogrid donatıların toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $56,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.38. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlmesi

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

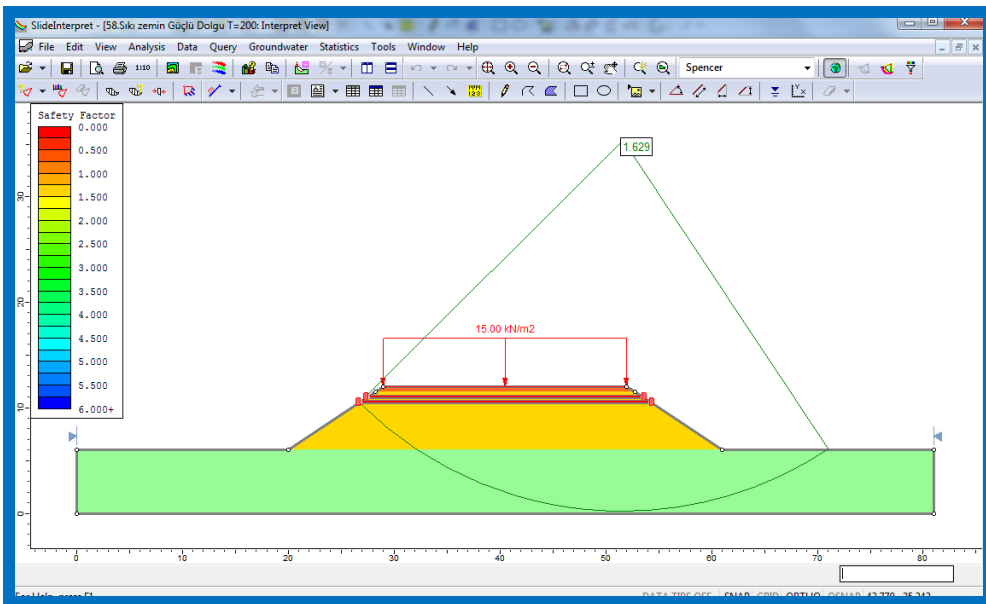
$T_a=150$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,50 m ve 5,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,629$) sağlanmıştır (Şekil 6.39). Bu geogrid donatıların toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $53,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.39. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=150$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

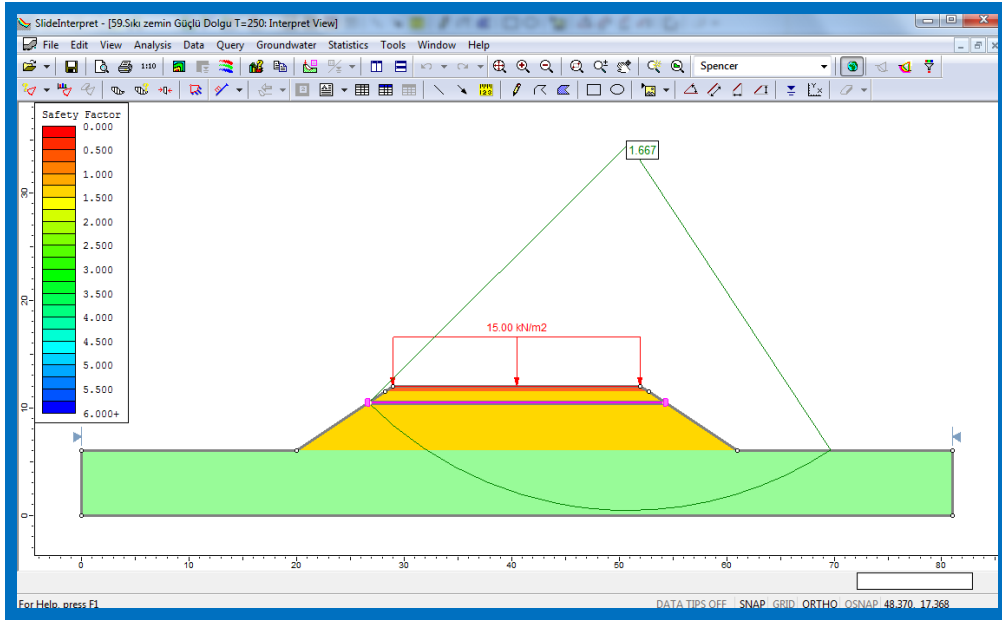
$T_a=200$ kN/m olan geogridle yapılan çözümler sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,50 m ve 5,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,629) sağlanmıştır (Şekil 6.40). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $53,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.40. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=200$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

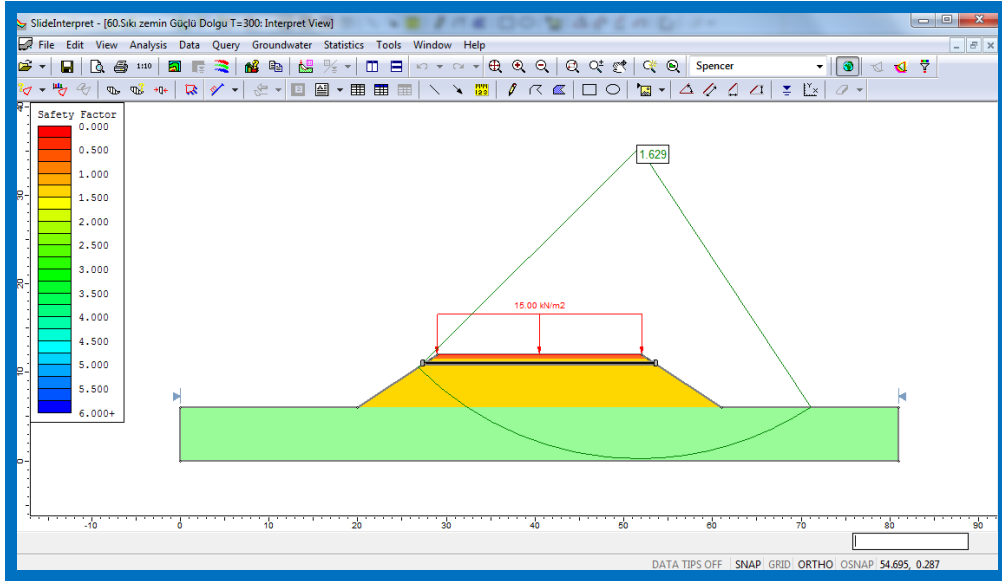
$T_a=250$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,50 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,667$) sağlanmıştır (Şekil 6.41). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $27,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.41. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatısıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümlmesi

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

$T_a=300$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 5,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,629$) sağlanmıştır (Şekil 6.42). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $26,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.42. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözümlemesi

Sıkı kil zemin üzerine oturan sağlam granüler dolgu için yapılan çözümlemelerin sonuçları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlemelerinin sonuçları

Geogrid izin verilen Çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Elde edilen güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam Geogrid alanı, A (m ² /m)
100	2	1,511	56,50
150	2	1,629	53,50
200	2	1,629	53,50
250	1	1,667	27,50
300	1	1,629	26,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümleme		1,207	-

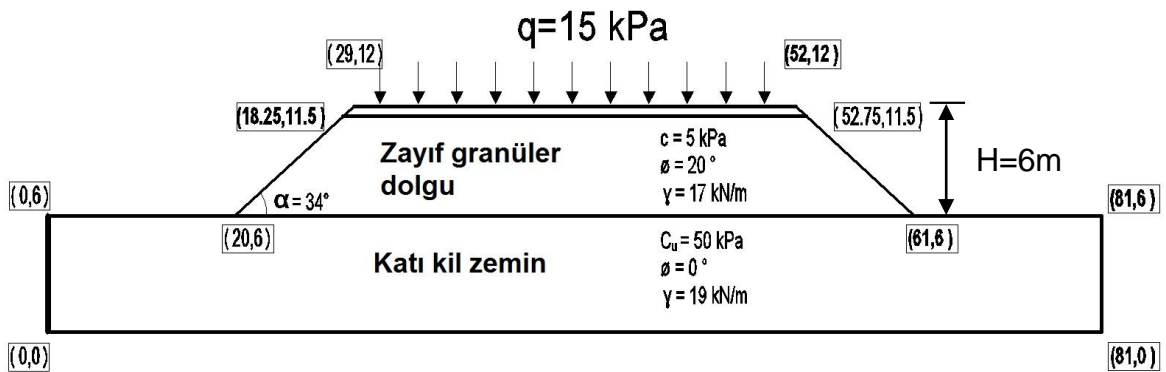
Sıkı kil zemine oturan “zayıf”, “orta sağlam” ve “sağlam” granüler dolgular için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridlerle yapılan çözümlemelerin sonuçları toplu halde Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Sıkı kil zemine oturan dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	109,50	56,50	56,50	3	2	2
150	70,00	56,50	53,50	2	2	2
200	65,50	55,00	53,50	2	2	2
250	65,50	29,00	27,50	2	1	1
300	29,75	29,00	26,00	1	1	1

6.1.7. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 7)

Bu bölümde, dolgunun biraz daha sağlam bir kil zemine oturduğu durum göz önüne alınmıştır. Bu amaçla dolgunun oturduğu zemin parametreleri; $c_u = 50$ kN/m², $\gamma = 19$ kN/m³ olacak şekilde artırılmış, ϕ ise yine 0° olarak alınmıştır. Önceki bölümlerde olduğu gibi, katı zeminin üzerine zayıf dolgu, orta sağlam dolgu ve sağlam dolgu inşa edileceği durumlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Katı zemin – zayıf dolgu çözümlerinde kullanılan model geometrisi ve parametreleri Şekil 6.43’de verilmiştir.



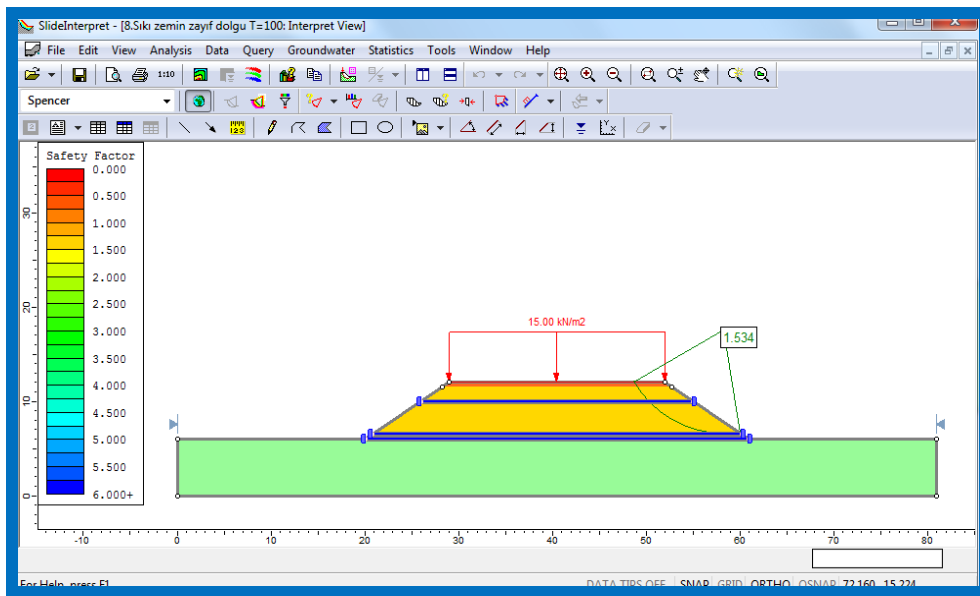
Şekil 6.43. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümler

Dolguya herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $GK=1,037$ olarak bulunmuştur.

Çekme dayanımı, $T_a=100$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

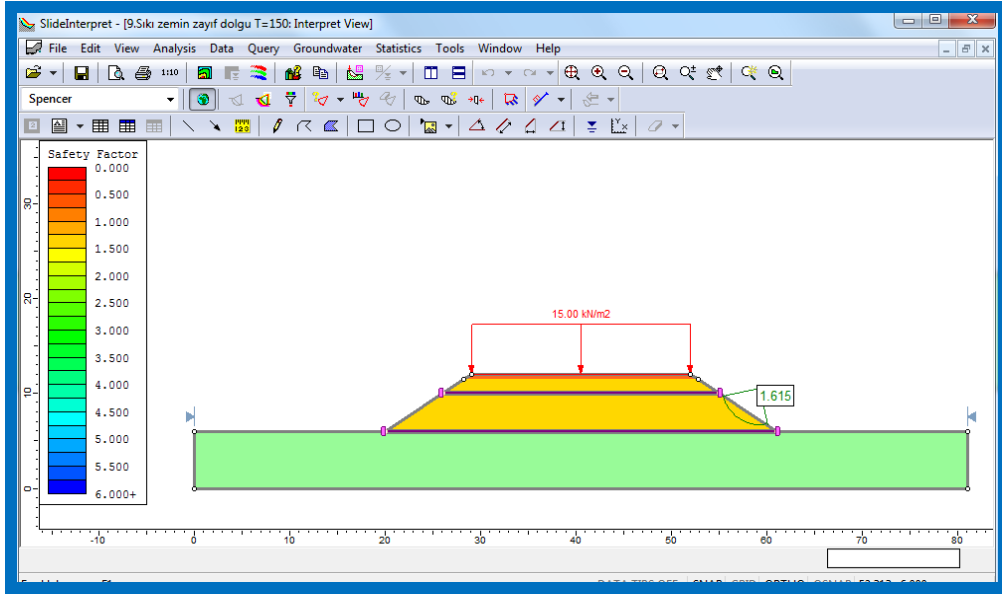
$T_a=100$ kN/m olan geogridle yapılan çözümler sonucunda dolgu tabanından itibaren 0,50 m arayla iki sıra ve dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilen üç sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,534$) sağlanmıştır (Şekil 6.44). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $109,50$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.44. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun üç sıra geogrid donatıyla ($T_a=100$ kN/m) çözümlenmesi

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

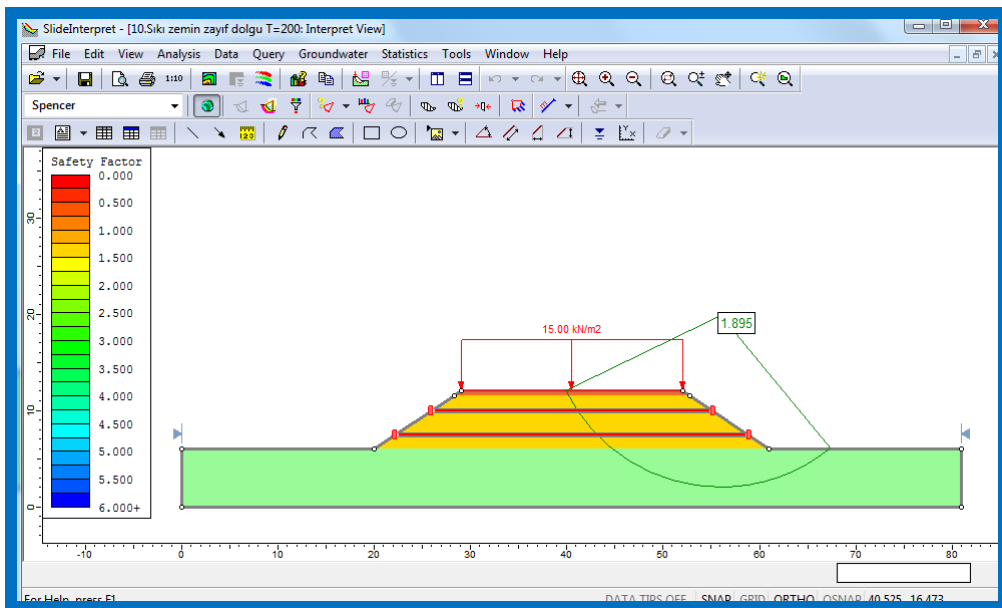
$T_a=150$ kN/m olan geogridle yapılan çözümler sonucunda dolgu tabanı üzerine ve dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,615$) sağlanmıştır (Şekil 6.45). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $70,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.45. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=150$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

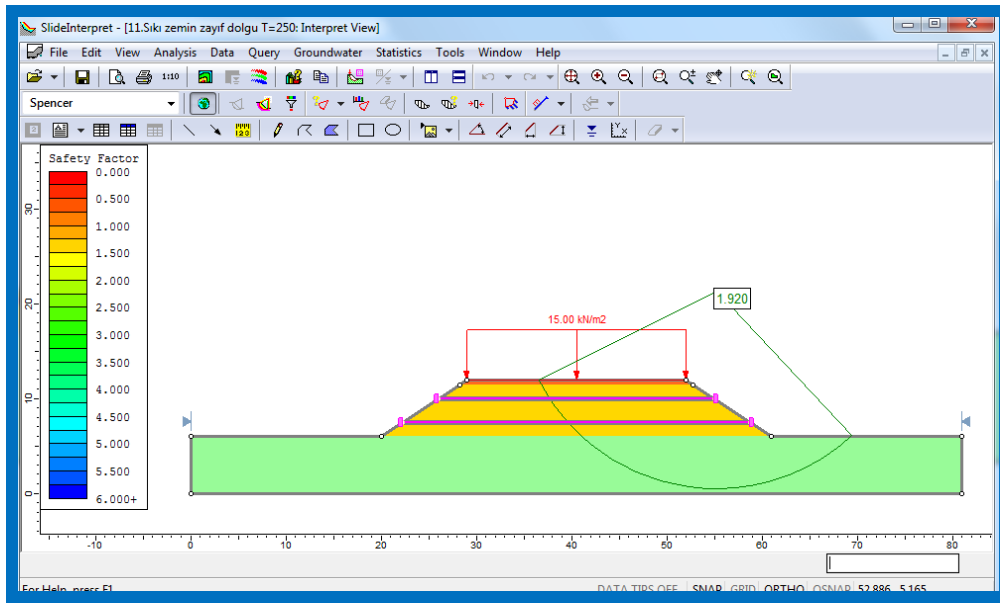
$T_a=200$ kN/m olan geogridle yapılan çözümleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 1,50 m ve 4,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,895) sağlanmıştır (Şekil 6.46). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için 65,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.46. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=200$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

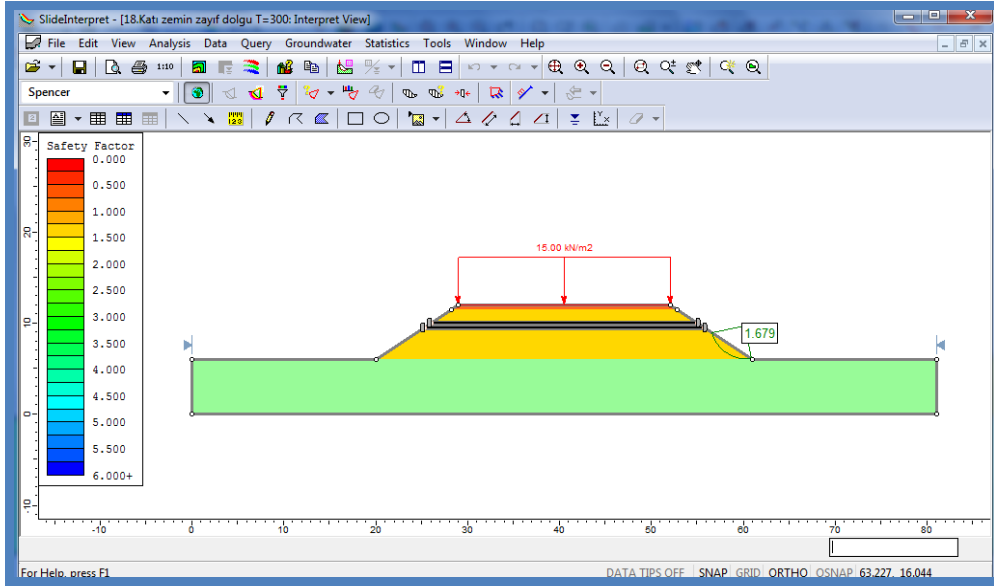
$T_a=250$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 1,50 m ve 4,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,920) sağlanmıştır (Şekil 6.47). Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için 65,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.47. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=250$ kN/m) çözümlmesi

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

$T_a=300$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 3,50 m ve 4,00 m yukarıya yerleştirilen iki sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,679) sağlanmıştır (Şekil 6.48). $T_a=250$ kN/m özellikli geogrid kullanıldığında bulunan güvenlik katsayısı $T_a=300$ kN/m özellikli geogride göre daha yüksek elde edilmiştir. Bunun sebebi; $T_a=300$ kN/m özellikli geogrid ile daha az alan kullanılarak duraylılık sağlanabilmektedir. Bu geogrid donatılarının toplam alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için 59,50 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.48. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolgunun iki sıra geogrid donatıyla ($T_a=300$ kN/m) çözülmesi

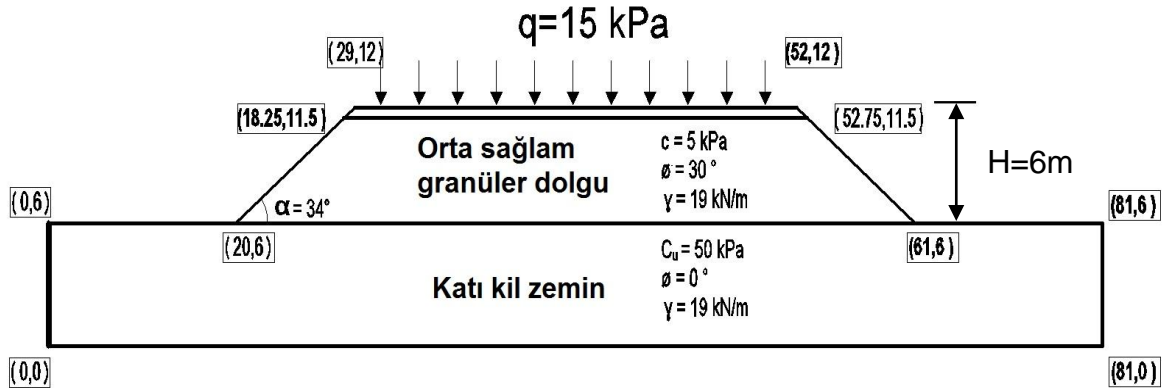
Katı kil zemine inşa edilen zayıf granüler dolgu için yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Katı kil zemine oturan zayıf granüle dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m^2/m)
100	3	1,534	109,50
150	2	1,615	70,00
200	2	1,895	65,50
250	2	1,920	65,50
300	2	1,679	59,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,037	-

6.1.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 8)

Bu bölümde katı kil zemin üzerine oturan 6 m yüksekliğindeki orta sağlam granüler dolgu ($c = 5 \text{ kPa}$, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$) için duraylılık çözümlenmeleri yapılmıştır. Model geometrisi ve parametreler Şekil 6.49'da verilmiştir.



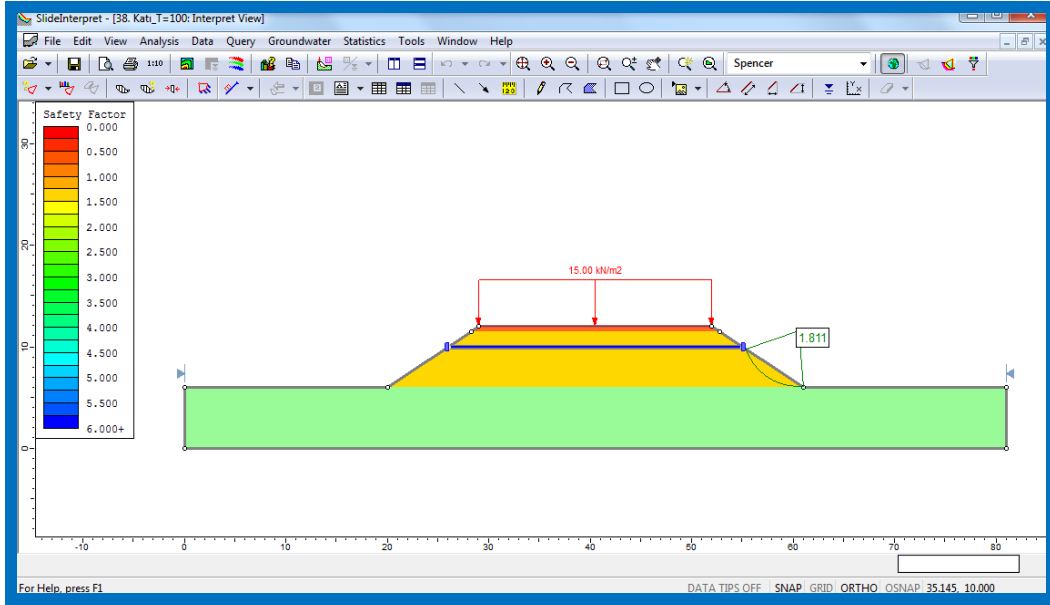
Şekil 6.49. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümlenme

Dolgunun güçlendirme yapılmadan bulunan güvenlik katsayısı $GK=1,396$ olarak bulunmuştur.

Çekme dayanımı, $T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlenmeler

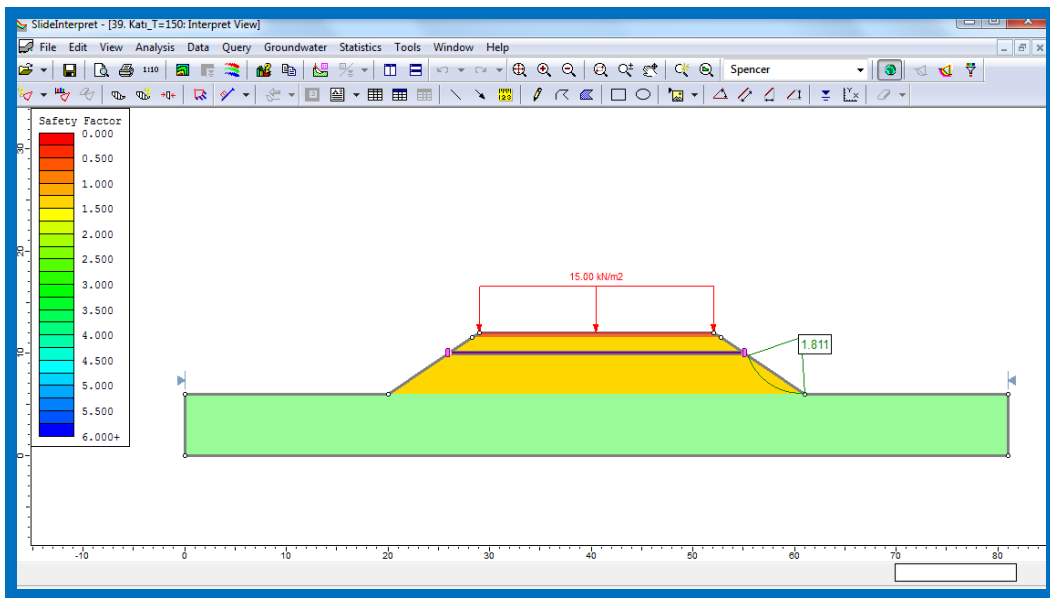
$T_a=100 \text{ kN/m}$ olan geogridle yapılan çözümlenme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık ($GK=1,811$) sağlanmıştır (Şekil 6.50). Bu geogrid donatının alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $29,00 \text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.50. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=100$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=150$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

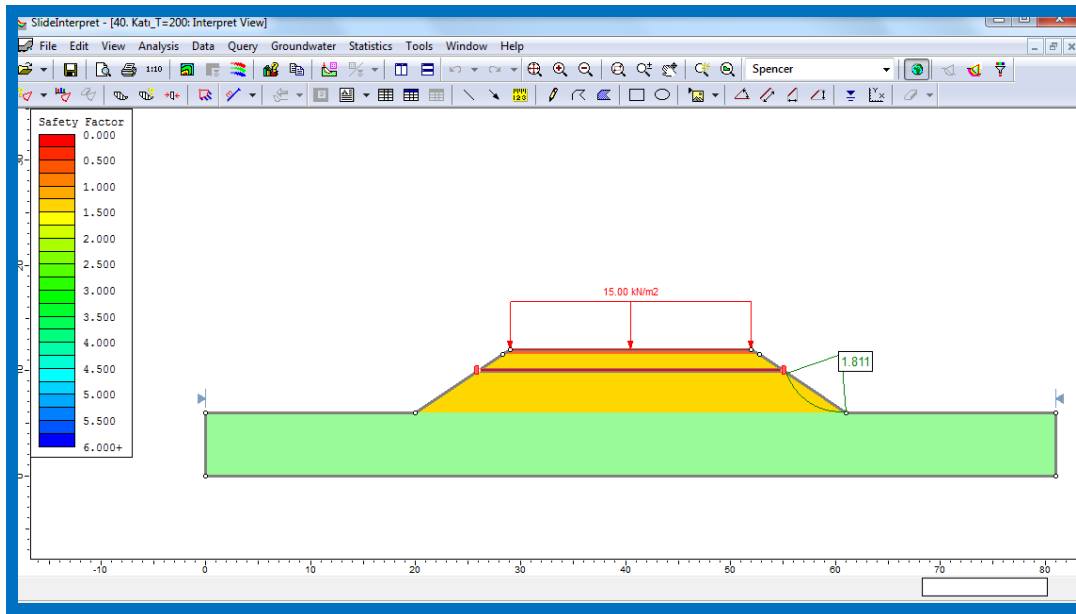
$T_a=150$ kN/m olan geogridle yapılan çözümleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,811) sağlanmıştır (Şekil 6.51). Bu geogrid donatının alanı yine 1 m dolgu uzunluğu için 29,00 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.51. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=150$ kN/m) çözümü

Çekme dayanımı, $T_a=200$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

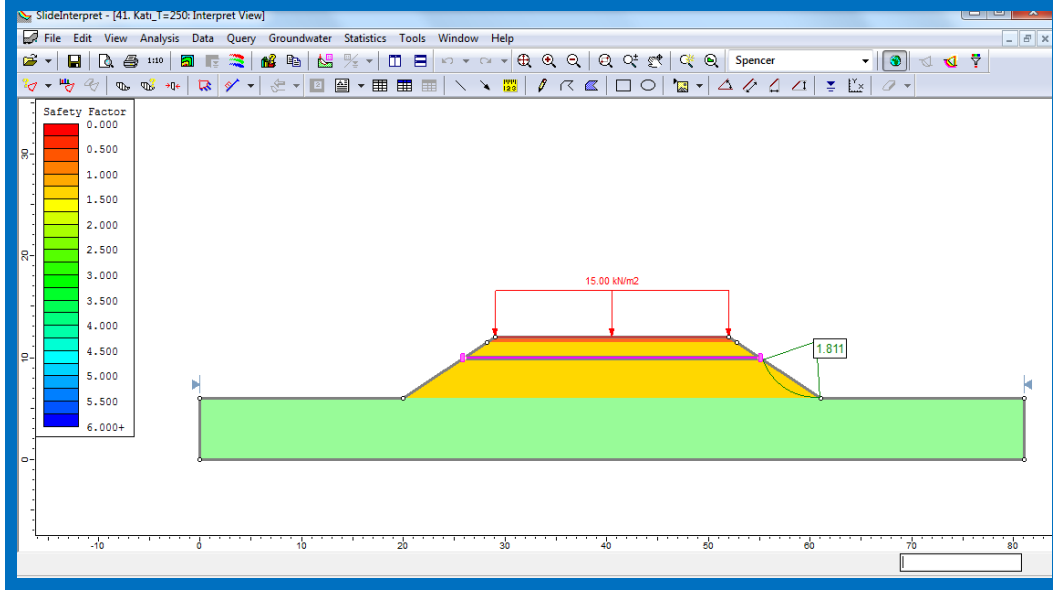
$T_a=200$ kN/m olan geogridle yapılan çözümler sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,811) sağlanmıştır (Şekil 6.52). Bu geogrid donatının alanı 1 m dolgu uzunluğu için yine $29,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.52. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=200$ kN/m) çözümlenmesi

Çekme dayanımı, $T_a=250$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümler

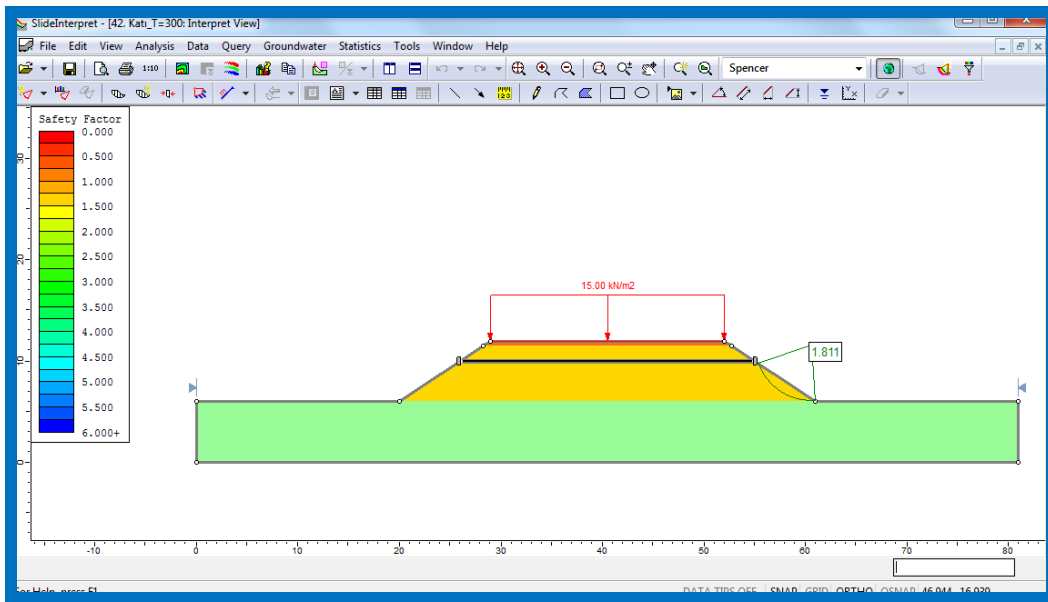
$T_a=250$ kN/m olan geogridle yapılan çözümler sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatıyla duraylılık (GK=1,811) sağlanmıştır (Şekil 6.53). Bu geogrid donatının alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için $29,00$ m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.53. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=250$ kN/m) çözümlenmesi

Çekme dayanımı, $T_a=300$ kN/m olan geogrid kullanılarak yapılan çözümlmeler

$T_a=300$ kN/m olan geogridle yapılan çözümlleme sonucunda dolgu tabanından itibaren 4,00 m yukarıya yerleştirilen bir sıra geogrid donatısıyla duraylılık (GK=1,811) sağlanmıştır (Şekil 6.54). Bu geogrid donatısının alanı ise 1 m dolgu uzunluğu için 29,00 m²/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.54. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolgunun bir sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) çözümlenmesi

Katı kil zemine inşa edilen orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.11'de verilmiştir.

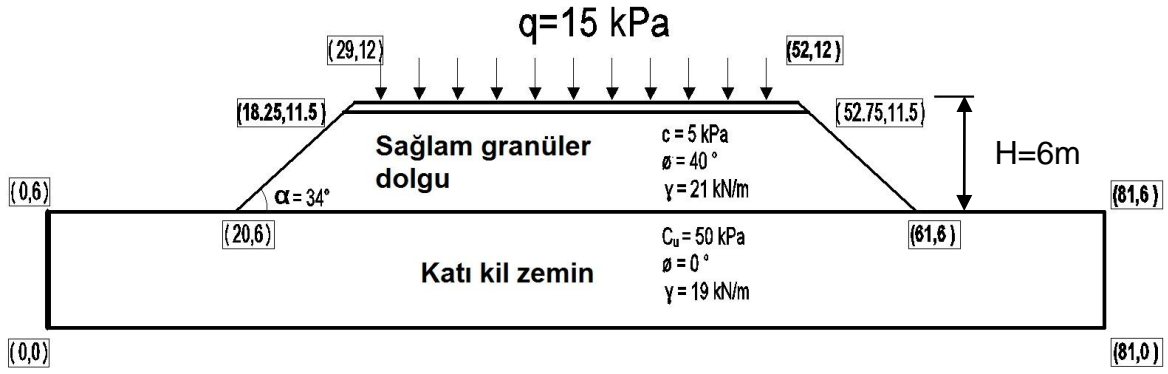
Çizelge 6.11. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	1	1,811	29,00
150	1	1,811	29,00
200	1	1,811	29,00
250	1	1,811	29,00
300	1	1,811	29,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,396	-

Katı kil zemin üzerine inşa edilen orta sağlam granüler dolgu (Senaryo 8) için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümlerinde geogrid çekme dayanımı artmasına rağmen hep aynı güvenlik katsayısının (GK=1,811) elde edilmesinin nedeni; bu çözümlerinde geogrid donatısının yerinin aynı olması ve kayma dairesinin geogrid donatısının altından geçmesidir (Şekil 6.50 – Şekil 6.54). Kayma dairesi geogrid donatısının altından geçtiği için geogrid donatısına ilave gerilme gelmemekte, dolayısıyla geogrid donatısının çekme dayanımı artsa dahi güvenlik katsayısı üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Eğer kayma dairesi, önceki senaryolardaki çözümlerinde olduğu gibi geogrid donatısını keserek geçiyor olsaydı, kuşkusuz geogrid donatısının çekme dayanımındaki artışa paralel olarak (donatı yerinin aynı kalması koşuluyla) güvenlik katsayısında da bir artış meydana gelecekti.

6.1.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 9)

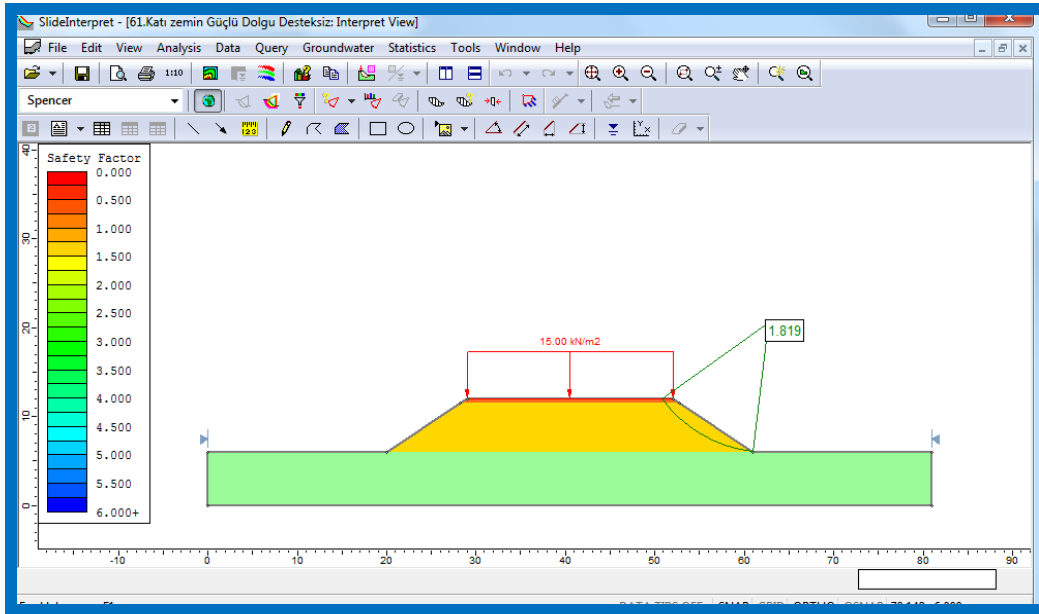
Bu bölümde katı zemin üzerine oturan sağlam sağlam dolgu ($c = 5$ kPa, $\phi = 40^\circ$, $\gamma = 21$ kN/m³) için duraylılık çözümleri yapılmıştır (Şekil 6.55).



Şekil 6.55. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümleme

Herhangi bir güçlendirme uygulanmadan yapılan çözümleme sonucunda dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı $GK=1,819$ olarak elde edilmiştir (Şekil 6.56). Bu değer hedeflenen $G.K=1,5$ değerinden yüksek olduğu için katı zemine oturan sağlam dolgunun güçlendirilmesine gerek olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 6.56. Katı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun destek (güçlendirme) uygulanmadan yapılan çözümlemesi

Katı zemine oturan “zayıf”, “orta sağlam” ve “sağlam” granüler dolgular için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridlerle yapılan çözümlerinin sonuçları toplu halde Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Katı kil zemine oturan granüler dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

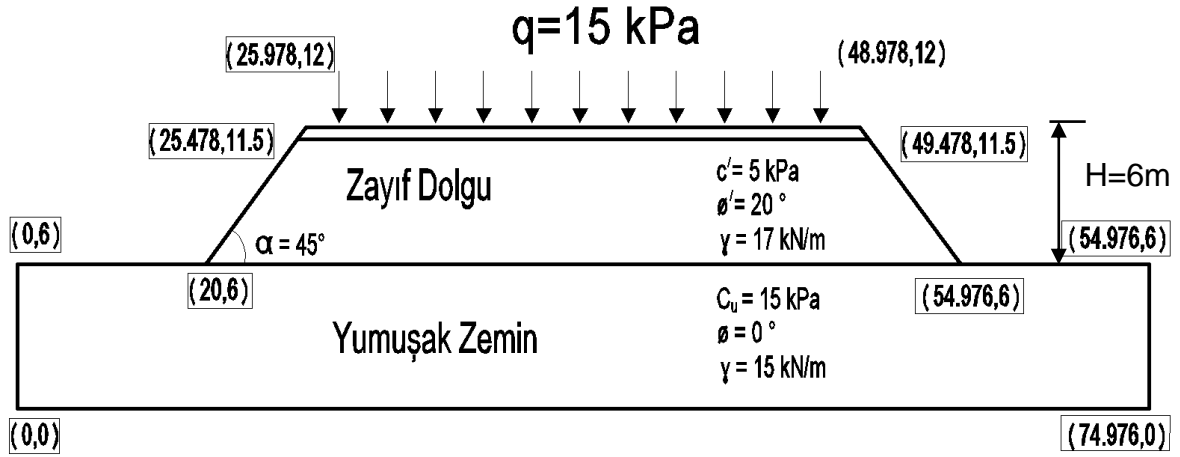
Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	109,50	29,00	Gereksiz	2	1	Gereksiz
150	70,00	29,00	Gereksiz	2	1	Gereksiz
200	65,50	29,00	Gereksiz	2	1	Gereksiz
250	65,50	29,00	Gereksiz	2	1	Gereksiz
300	59,50	29,00	Gereksiz	2	1	Gereksiz

6.2. Şev Açısı, $\alpha = 45^\circ$ İçin Yapılan Çözümler

Bu bölümde 6 m yüksekliğindeki granüler dolgunun şev açısı $\alpha = 45^\circ$ ’ye yükseltilmiş ve $\alpha = 34^\circ$ için Bölüm 6.1’de yapılan çözümlerinin aynısı $\alpha = 45^\circ$ için de yapılmıştır.

6.2.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 10)

Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu çözümlerinde dikkate alınan yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.67’de verilmiştir.



Şekil 6.67. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

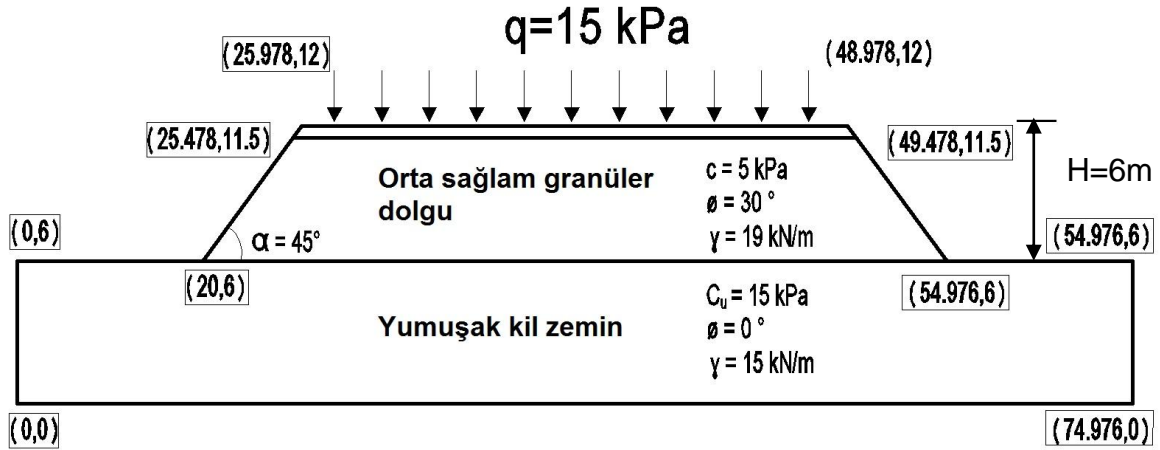
Güçlendirme uygulanmadan elde edilen güvenlik katsayısı 0,687'dir. Bu durumda dolgunun güçlendirilmesi gerektiği açıktır. Dolguyu güçlendirmek için $T_a=100$, 150, 200, 250 ve 300 kN/m geogridler kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilen çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.13'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.13. Yumuşak kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m^2/m)
100	8	1,588	284,50
150	5	1,549	184,00
200	4	1,594	154,00
250	3	1,549	109,50
300	3	1,701	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,687	-

6.2.2. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 11)

Yumuşak kil zemin üzerine inşa edilecek orta sağlam granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.68'de verilmiştir.



Şekil 6.68. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya herhangi bir güçlendirme elemanı (geogrid) yerleştirilmeden yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=0,629$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

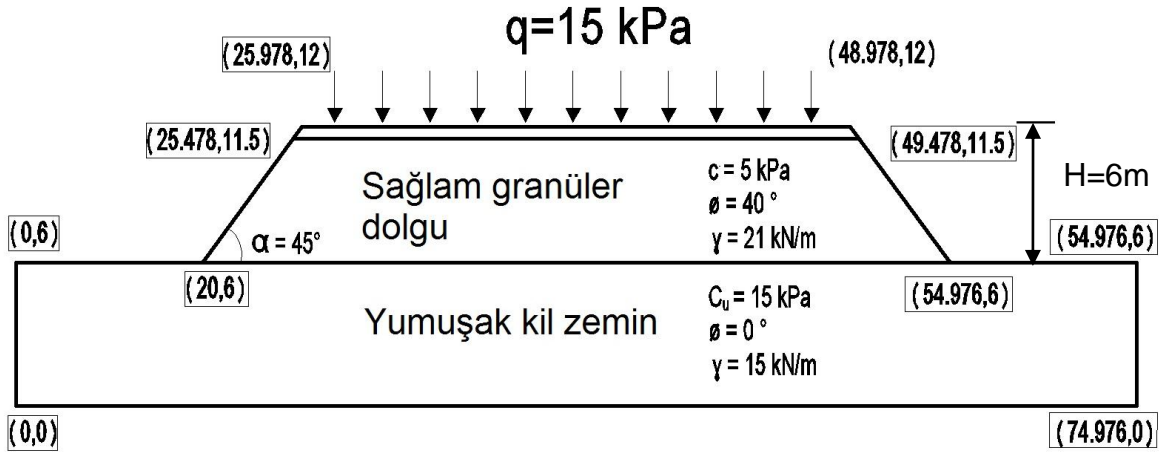
Dolgunun güçlendirmek amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümler sonucunda Çizelge 6.14'de verilmiştir.

Çizelge 6.14. Yumuşak kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	8	1,514	284,50
150	6	1,601	216,99
200	6	1,511	144,50
250	4	1,557	135,50
300	4	1,557	135,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümlene		0,649	-

6.2.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 12)

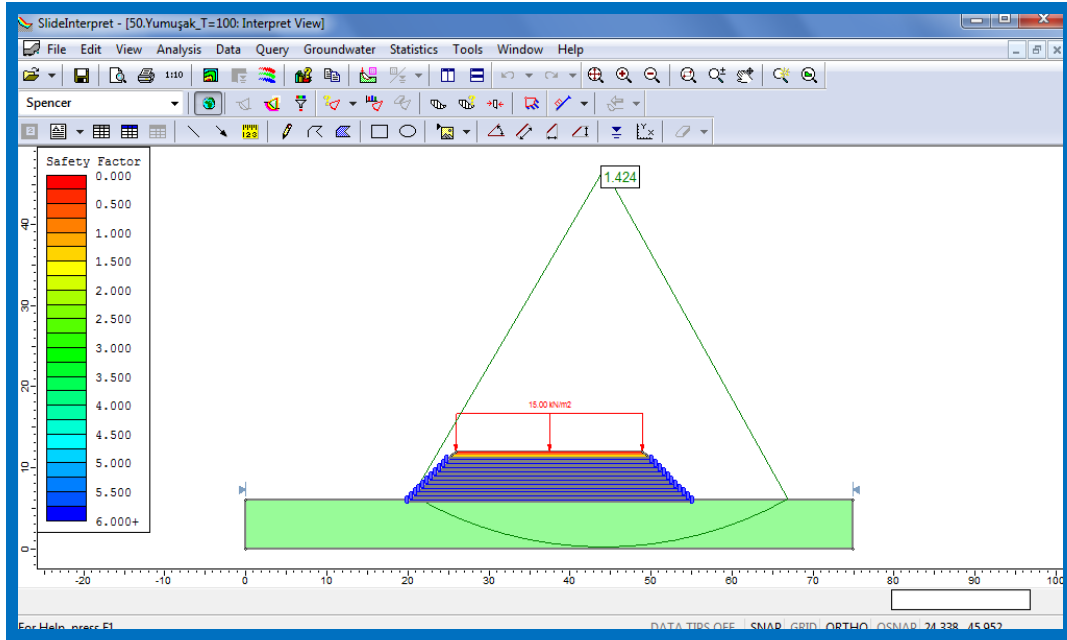
Yumuşak zemin – sağlam dolgu çözümlerinde kullanılan yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.69’da verilmiştir.



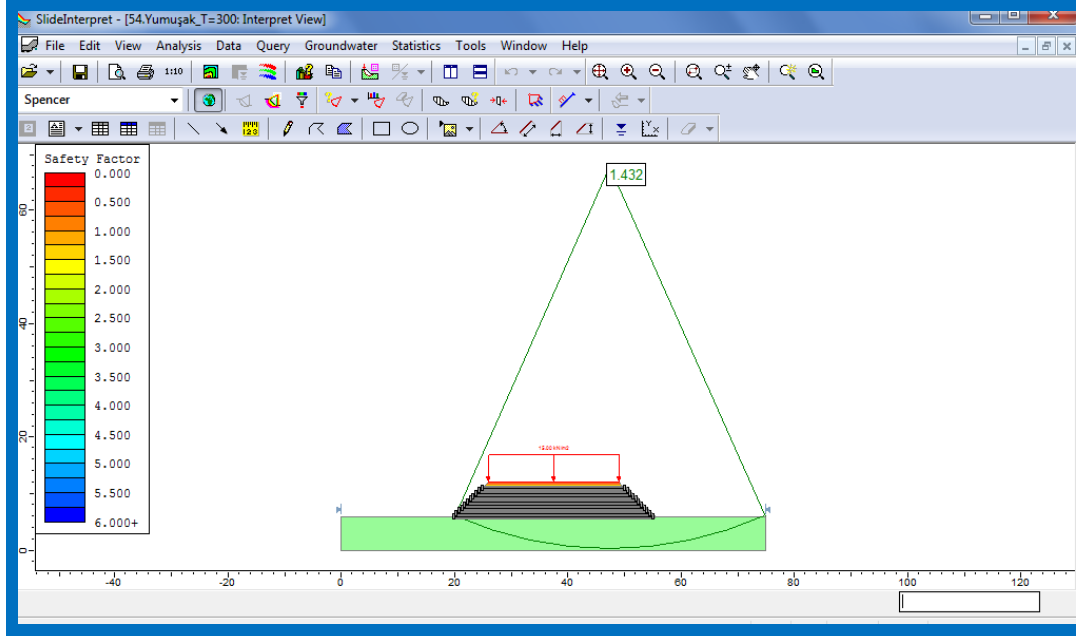
Şekil 6.69. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Yumuşak zemin üzerine inşa edilecek sağlam dolgunun geogrid donatı kullanılmadan yapılan duraylılık çözümlenmesi sonucu güvenlik katsayısı $GK=0,612$ olarak elde edilmiştir.

$T_a=100$ kN/m'den başlanarak $T_a=300$ kN/m'ye kadar değişen geogridler kullanılmak suretiyle dolgu güçlendirilmeye çalışılmış, ancak dolgu tabanından itibaren başlayıp 0,50 m arayla tüm dolguyu kuşatacak şekilde (11 sıra) geogrid donatı yerleştirilmesine rağmen istenilen güvenlik katsayısı elde edilememiştir. $T_a=100$ kN/m geogrid donatı kullanıldığında 11 sıra geogrid donatısıyla güvenlik katsayısı $G.K=1,424$ olarak (Şekil 6.70), $T_a=300$ kN/m geogrid donatı kullanıldığında ise yine 11 sıra donatıyla $G.K=1,432$ olarak (Şekil 6.71) elde edilmiştir. $T_a=100$ kN/m'den $T_a=300$ kN/m'ye kadar yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.13'de toplu halde verilmiştir.



Şekil 6.70. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun on bir sıra geogridle ($T_a=100$ kN/m) analizi



Şekil 6.71. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun on bir sıra geogridle ($T_a=300$ kN/m) analizi

Çizelge 6.13. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m^2/m)
100	11	1,424	365,99
150	11	1,429	365,99
200	11	1,428	365,99
250	11	1,430	365,99
300	11	1,432	365,99
Desteksiz (geogridsiz) çözümlenme		0,612	-

Bu çözümlerinin sonucunda yumuşak zemin üzerine $\alpha=45^\circ$ açıyla inşa edilecek sağlam bir dolgunun güçlendirilmesinde geogrid donatısının yetersiz kaldığı görülmüştür. Böyle durumlarda dolgunun değil, dolgunun üzerine oturduğu zeminin güçlendirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Dolgu yeterince sağlam, oturduğu kil zemin ise yumuşak olduğundan duraysızlık sorunları dolguda değil dolgunun oturduğu kil zeminde meydana gelmiştir. Bu sebeple güçlendirme

faaliyetlerinin dolguya değil, dolgunun oturduğu kil zemine uygulanması gerekmektedir.

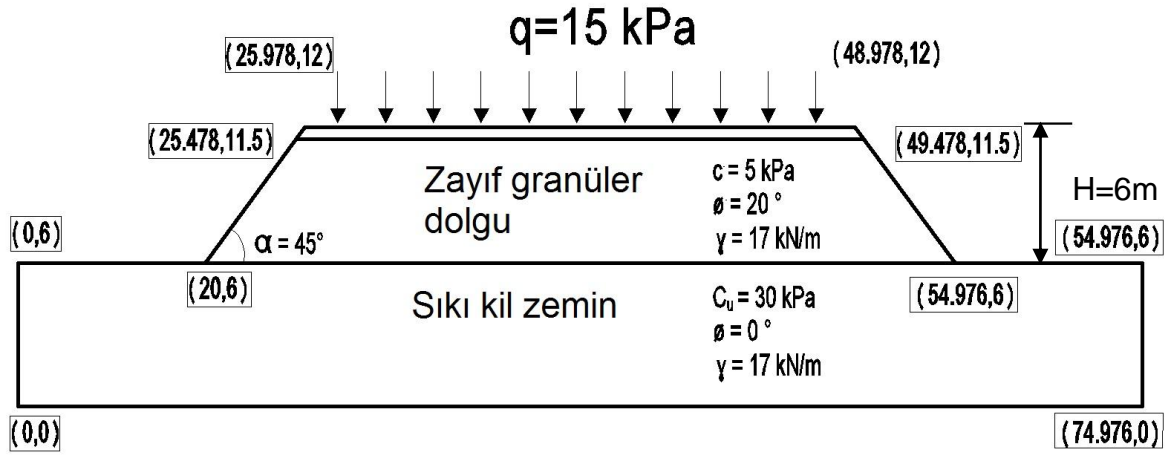
Yumuşak kil zemin üzerinde $\alpha=45^\circ$ şev açısıyla inşa edilecek dolgular için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridlerle yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları toplu halde Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Yumuşak kil zemine oturan granüler dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	284,50	284,50	Yetersiz	8	8	Yetersiz
150	184,00	217,00	Yetersiz	5	6	Yetersiz
200	147,50	144,50	Yetersiz	4	6	Yetersiz
250	109,50	128,00	Yetersiz	3	4	Yetersiz
300	109,50	128,00	Yetersiz	3	4	Yetersiz

6.2.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 13)

Sıkı kil zemin üzerine inşa edilecek zayıf granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.72'de verilmiştir.



Şekil 6.72. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya herhangi bir güçlendirme elemanı (geogrid) yerleştirilmeden yapılan çözümleme sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=0,812$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

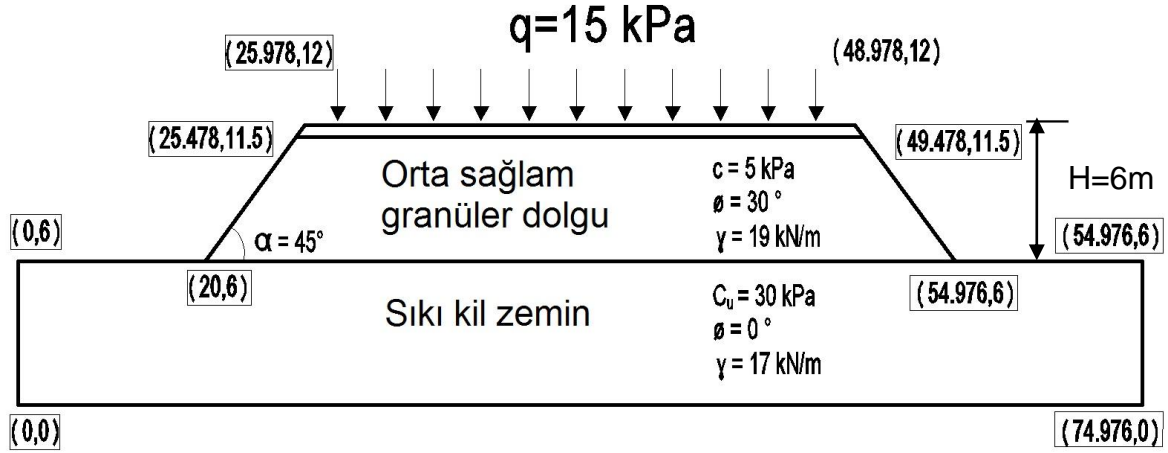
Dolguyu güçlendirmek amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,675	147,50
150	4	1,667	147,50
200	4	1,672	147,50
250	4	1,672	147,50
300	3	1,672	144,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümleme		0,812	-

6.2.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 14)

Sıkı kil zemin üzerine inşa edilecek orta sağlam granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.73'de verilmiştir.



Şekil 6.73. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu zemin parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya geogrid donatı yerleştirilmeden yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=1,067$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

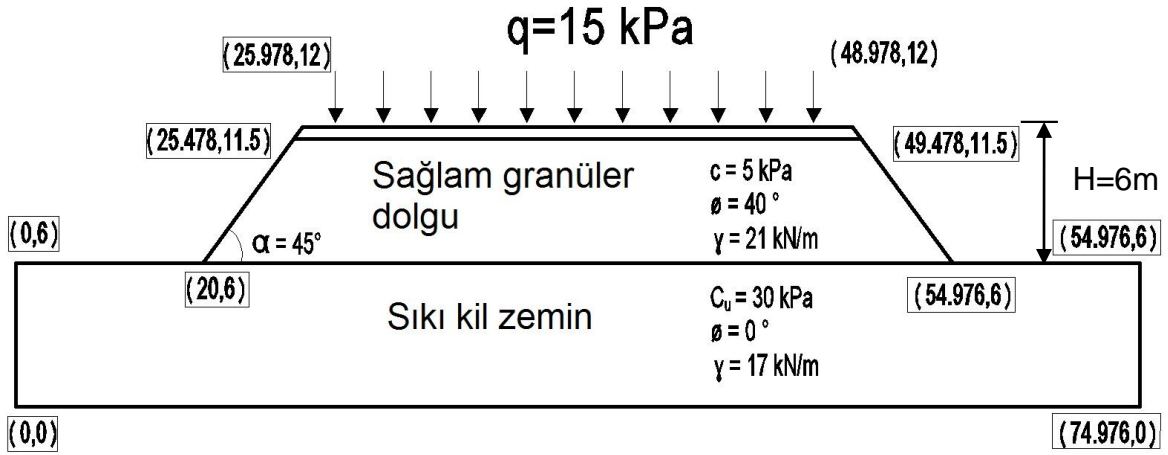
Dolguyu güçlendirmek amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümler sonucuları Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,678	147,50
150	3	1,749	109,50
200	3	1,852	109,50
250	3	1,880	109,50
300	3	1,874	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,067	-

6.2.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 15)

Sıkı kil zemin üzerine inşa edilecek sağlam granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.74'da verilmiştir.



Şekil 6.74. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya geogrid donatı yerleştirilmeden yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=1,168$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Dolguyu güçlendirmek amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,589	147,50
150	2	1,540	70,00
200	2	1,566	70,00
250	2	1,687	70,00
300	2	1,718	70,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,168	-

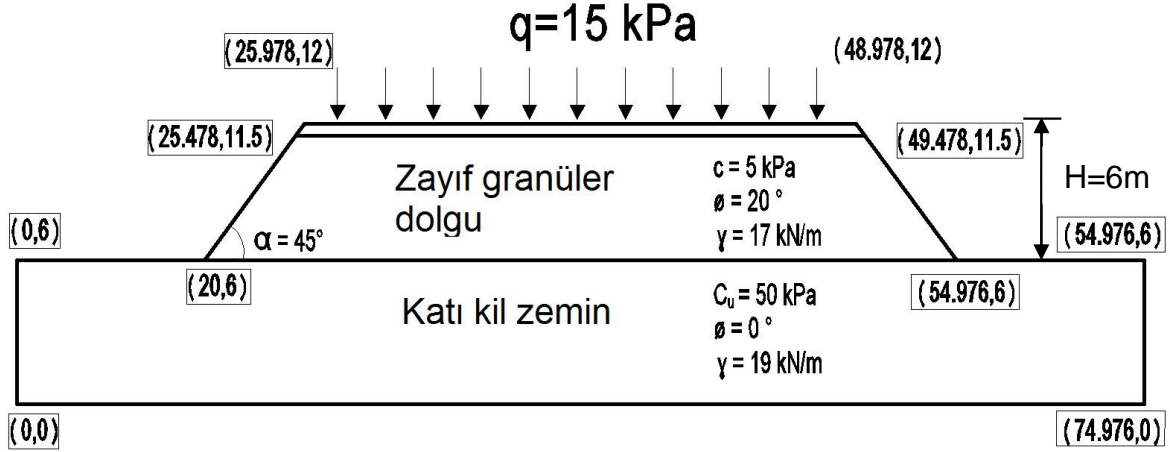
Sıkı kil zemin üzerine $\alpha=45^\circ$ şev açısıyla inşa edilecek granüler dolgular için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridlerle yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları toplu halde Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20. Sıkı kil zemine oturan granüler dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	147,50	147,50	147,50	4	4	4
150	147,50	109,50	70,00	4	3	2
200	147,50	109,50	70,00	4	3	2
250	147,50	109,50	70,00	4	3	2
300	147,50	109,50	70,00	3	3	2

6.2.7. Katı zemin – zayıf dolgu (senaryo 16)

Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu çözümlerinde dikkate alınan yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.75’de verilmiştir.



Şekil 6.75. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

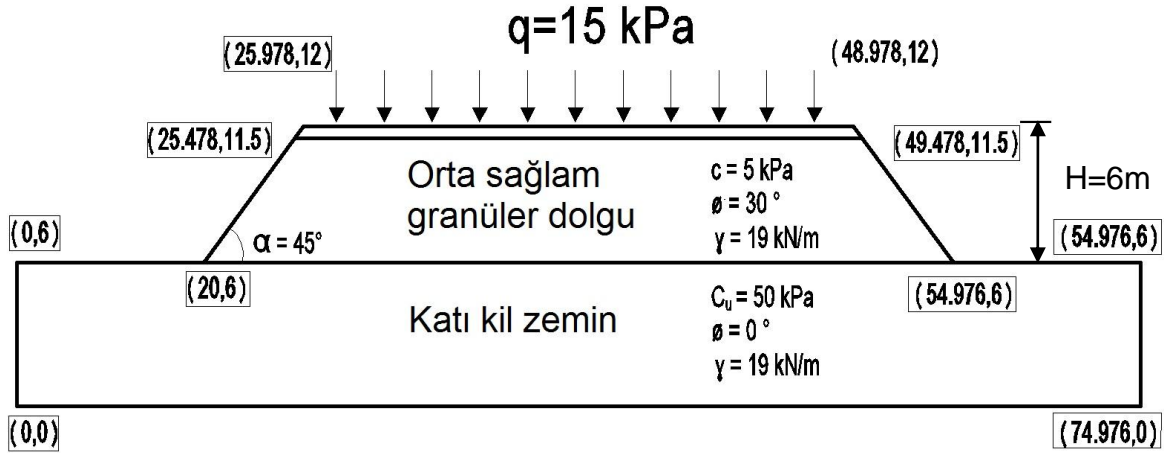
Güvenlik katsayısını arttırmak amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılmış ve önceki bölümlerde olduğu gibi bu çözümlerinde de geogrid donatıları en yüksek güvenlik katsayısını verecek yerlere yerleştirilmiştir. Böylece hedeflenen güvenlik katsayısına (G.K=1,5) en az geogrid donatısıyla ulaşılması amaçlanmıştır. Bu çözümlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.21’de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Katı zemine oturan zayıf dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	5	1,663	184,00
150	4	1,691	147,50
200	4	1,675	147,50
250	3	1,672	109,50
300	3	1,672	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,812	-

6.2.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 17)

Katı kil zemin üzerine inşa edilecek orta sağlam granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.76'da verilmiştir.



Şekil 6.76. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya geogrid donatı yerleştirilmeden yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=1,069$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

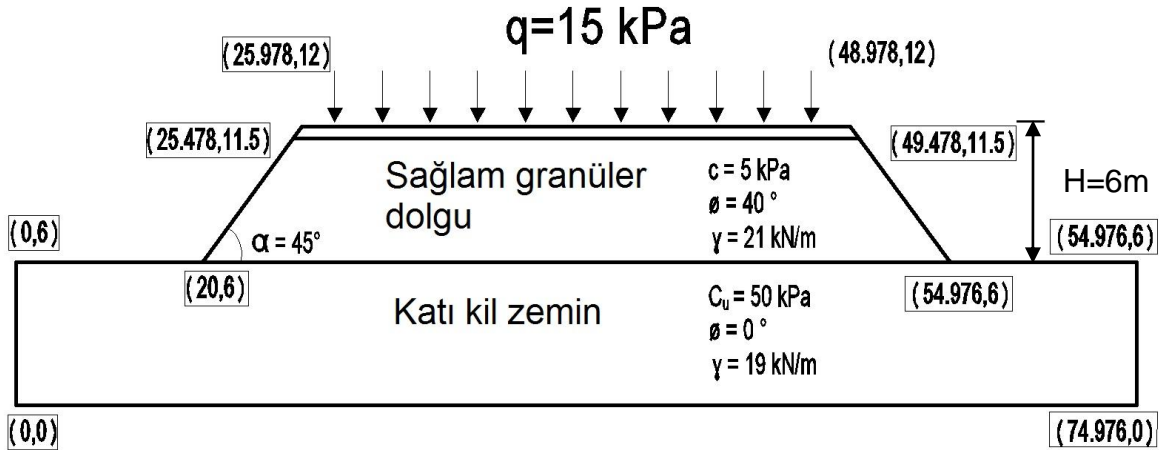
Dolguyu güçlendirmek amacıyla farklı çekme dayanımlarına sahip geogridler kullanılarak yapılan çözümler sonucuları Çizelge 6.22'de verilmiştir.

Çizelge 6.22. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	3	1,771	109,50
150	3	1,877	109,50
200	3	1,885	109,50
250	3	1,873	109,50
300	3	1,873	109,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		1,069	-

6.2.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 18)

Katı kil zemin üzerine inşa edilecek sağlam granüler dolgunun duraylılık çözümlerinde kullanılacak yol geometrisi ve parametreler Şekil 6.77’de verilmiştir.

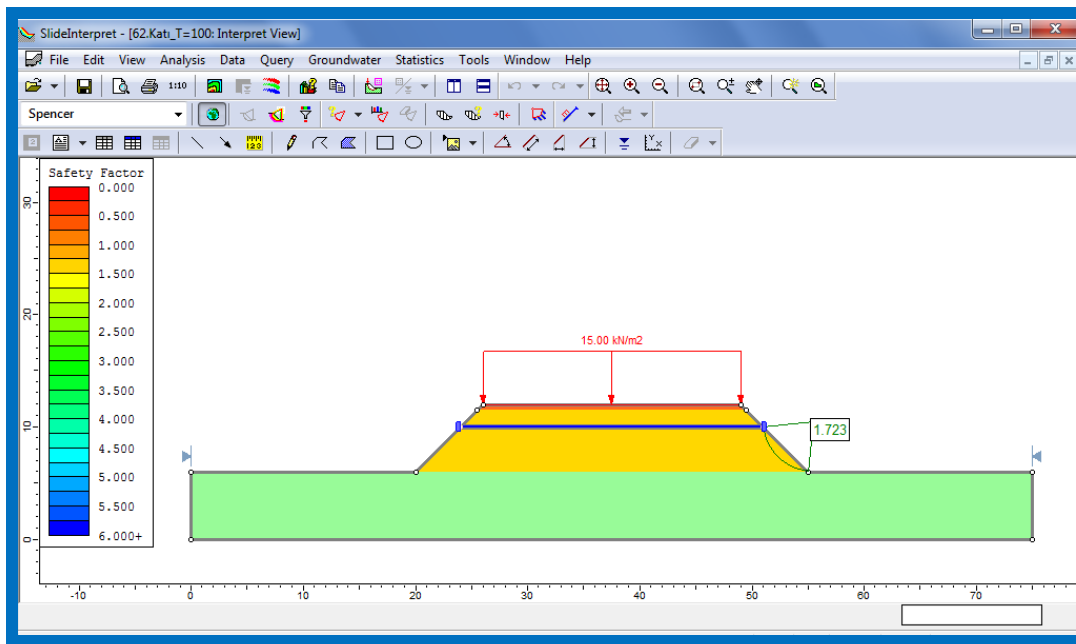


Şekil 6.77. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu parametreleri ve dolgu geometrisi

Dolguya geogrid donatı yerleştirilmeden yapılan çözümler sonucunda güvenlik katsayısı $G.K=1,366$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre dolgunun güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Dolguyu güçlendirmek amacıyla dolgu tabanına $T_a=100\text{kN/m}$ olan geogrid donatısı yerleştirildiğinde güvenlik katsayısı $G.K=1,366$ olarak elde edilmiştir.

Bu geogridin yeri değiştirilip dolgu tabanından 4,00 m yukarıya yerleştirildiğinde ise güvenlik katsayısı $G.K=1,723$ 'e yükselmiştir (Şekil 6.78). $T_a=100\text{ kN/m}$ olan tek sıra geogridle istenilen duraylılık sağlandığı için daha yüksek çekme dayanımına sahip geogridlerle çözümlene yapılmasına gerek kalmamıştır. Bir sıra geogridin 1m dolgu uzunluğu için alanı ise $29,00\text{ m}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.78. Katı kil zemine oturan sağlam granüler dolgunun bir sıra geogrid donatıyla ($T_a=100\text{ kN/m}$) çözümlenmesi

Katı zemin üzerine $\alpha=45^\circ$ şev açısıyla inşa edilecek dolgular için farklı çekme dayanımlarına sahip geogridlerle yapılan duraylılık çözümlenmelerinin sonuçları toplu halde Çizelge 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.23. Katı kil zemine oturan granüler dolgular için yapılan çözümlerinin sonuçları

Geogridin izin verilen çekme dayanımı (kN/m)	1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)			Geogrid donatı sayısı		
	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu	Zayıf dolgu	Orta sağlam dolgu	Sağlam dolgu
100	184,00	109,50	29,00	5	3	1
150	147,50	109,50	29,00	4	3	1
200	147,50	109,50	29,00	4	3	1
250	109,50	109,50	29,00	3	3	1
300	109,50	109,50	29,00	3	3	1

6.3. Şev Açısı, $\alpha = 60^\circ$ İçin Yapılan Çözümler

Bu bölümde 6 m yüksekliğindeki dolgunun şev açısı $\alpha = 60^\circ$ 'ye yükseltilmiş ve $\alpha = 34^\circ$ ve 45° için Bölüm 6.1'de ve Bölüm 6.2'de yapılan çözümlerinin aynısı $\alpha = 60^\circ$ için de yapılmıştır.

6.3.1. Yumuşak kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 19)

Yumuşak kil zemin üzerine inşa edilen zayıf granüler dolgu için yapılan çözümlerinden elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 6.24'de verilmiştir.

Çizelge 6.24. Yumuşak kil zemine inşa zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	11	1,400 (yetersiz)	365,99
150	11	1,400 (yetersiz)	365,99
200	11	1,400 (yetersiz)	365,99
250	11	1,400 (yetersiz)	365,99
300	11	1,400 (yetersiz)	365,99
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,619	-

Zemin yumuşakken şev açısı 60° olduğundan dolgu ne kadar sağlam olursa olsun güçlendirme elemanı olarak kullanılan geogrid donatısı yetersiz kalmıştır. Böyle bir durumda öncelikle zemin iyileştirilmelidir. Zemin sağlam olmadığı takdirde duraylılık sağlanamamaktadır.

6.3.2. Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 20)

Yumuşak kil zemin – orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.25’de verilmiştir.

Çizelge 6.25. Yumuşak kil zemine inşa edilen orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	10	1,647	341,00
150	11	1,290 (yetersiz)	365,99
200	11	1,279 (yetersiz)	365,99
250	11	1,279 (yetersiz)	365,99
300	11	1,279 (yetersiz)	365,99
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,635	-

6.3.3. Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 21)

Yumuşak kil zemin – sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge 6.26. Yumuşak kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	11	1,177 (yetersiz)	365,99
150	11	1,187 (yetersiz)	365,99
200	11	1,177 (yetersiz)	365,99
250	11	1,177 (yetersiz)	365,99
300	11	1,177 (yetersiz)	365,99
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,597	-

6.3.4. Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 22)

Sıkı kil zemin – zayıf granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.27’de verilmiştir.

Çizelge 6.27. Sıkı kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	5	1,544	180,00
150	3	1,747	105,50
200	3	1,678	105,50
250	3	1,897	105,50
300	3	1,927	105,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,619	-

6.3.5. Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 23)

Sıkı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.28’de verilmiştir.

Çizelge 6.28. Sıkı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,619	143,50
150	3	1,704	105,50
200	3	1,830	105,50
250	2	1,672	66,00
300	2	1,720	66,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,790	-

6.3.6. Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 24)

Sıkı kil zemin – sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.29’da verilmiştir.

Çizelge 6.29. Sıkı kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,547	143,50
150	2	1,533	66,00
200	2	1,592	66,00
250	2	1,629	66,00
300	2	1,657	66,00
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,985	-

6.3.7. Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu (senaryo 25)

Katı kil zemin – zayıf granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.30'da verilmiştir.

Çizelge 6.30. Katı kil zemine oturan zayıf granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	6	1,572	215,00
150	5	1,743	180,00
200	3	1,678	105,50
250	3	1,897	105,50
300	3	1,927	105,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,619	-

6.3.8. Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu (senaryo 26)

Katı kil zemin – orta sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.31'de verilmiştir.

Çizelge 6.31. Katı kil zemine oturan orta sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	4	1,599	143,50
150	3	1,711	105,50
200	3	1,936	105,50
250	3	1,980	105,50
300	3	1,980	105,50
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,791	-

6.3.9. Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu (senaryo 27)

Katı kil zemin – sağlam granüler dolgu için yapılan çözümler Çizelge 6.32’de verilmiştir.

Çizelge 6.32. Katı kil zemine oturan sağlam granüler dolguda yapılan duraylılık çözümlerinin sonuçları

Geogrid izin verilen çekme dayanımı, T_a (kN/m)	Gereken geogrid donatı sayısı	Güvenlik katsayısı	Kullanılan toplam geogrid alanı, A (m ² /m)
100	3	1,944	104,00
150	2	2,053	52,06
200	2	1,829	52,06
250	2	2,050	52,06
300	2	2,050	52,06
Desteksiz (geogridsiz) çözümler		0,985	-

7. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Drenajsız makaslama dayanımı $c_u = 15$ kPa'dan 50 kPa'ya kadar değişen farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerinde $\alpha = 34^\circ$, 45° ve 60° şev açılarıyla inşa edilen farklı dayanımlara sahip dolguların geogridle güçlendirilmesi üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki başlıca sonuçlara (geogrid alanı ve G.K) varılmıştır (Çizelge 7.1 – Çizelge 7.15). Ayrıca duraylılığı (G.K=1,5) sağlamak için zemin dayanımına göre gereken toplam geogrid alanları Şekil 7.1 – Şekil 7.5'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m^2/m)		
Tanım	c_u (kN/m^2)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	255,0	286,0	315,0
Sıkı	30	109,5	56,5	56,5
Katı	50	109,5	29,0	Gereksiz

Çizelge 7.2. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m^2/m)		
Tanım	c_u (kN/m^2)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	284,5	284,5	Yetersiz
Sıkı	30	147,5	147,5	147,5
Katı	50	184,0	109,5	29,0

Çizelge 7.3. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=100$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
Sıkı	30	180,0	143,5	143,5
Katı	50	215,0	143,5	104,0

Çizelge 7.4. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	255,50	190,00	223,50
Sıkı	30	70,00	56,50	53,50
Katı	50	70,00	29,00	Gereksiz

Çizelge 7.5. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	184,50	216,99	Yetersiz
Sıkı	30	147,50	109,50	70,00
Katı	50	147,50	109,50	Gereksiz

Çizelge 7.6. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=150$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
Sıkı	30	105,50	105,50	66,00
Katı	50	180,00	105,50	52,06

Çizelge 7.7. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	146,00	146,00	146,00
Sıkı	30	65,50	55,00	53,50
Katı	50	65,50	29,00	Gereksiz

Çizelge 7.8. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	147,50	144,50	Yetersiz
Sıkı	30	147,50	109,50	70,00
Katı	50	147,50	109,50	Gereksiz

Çizelge 7.9. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=200$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
Sıkı	30	105,50	105,50	66,00
Katı	50	105,50	105,50	52,06

Çizelge 7.10. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	109,50	109,50	137,00
Sıkı	30	65,50	29,00	27,50
Katı	50	65,50	29,00	Gereksiz

Çizelge 7.11. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	109,50	127,97	Yetersiz
Sıkı	30	147,50	109,50	70,00
Katı	50	109,50	109,50	Gereksiz

Çizelge 7.12. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=250$ kN/m)

Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
Sıkı	30	105,50	66,00	66,00
Katı	50	105,50	105,50	52,06

Çizelge 7.13. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)

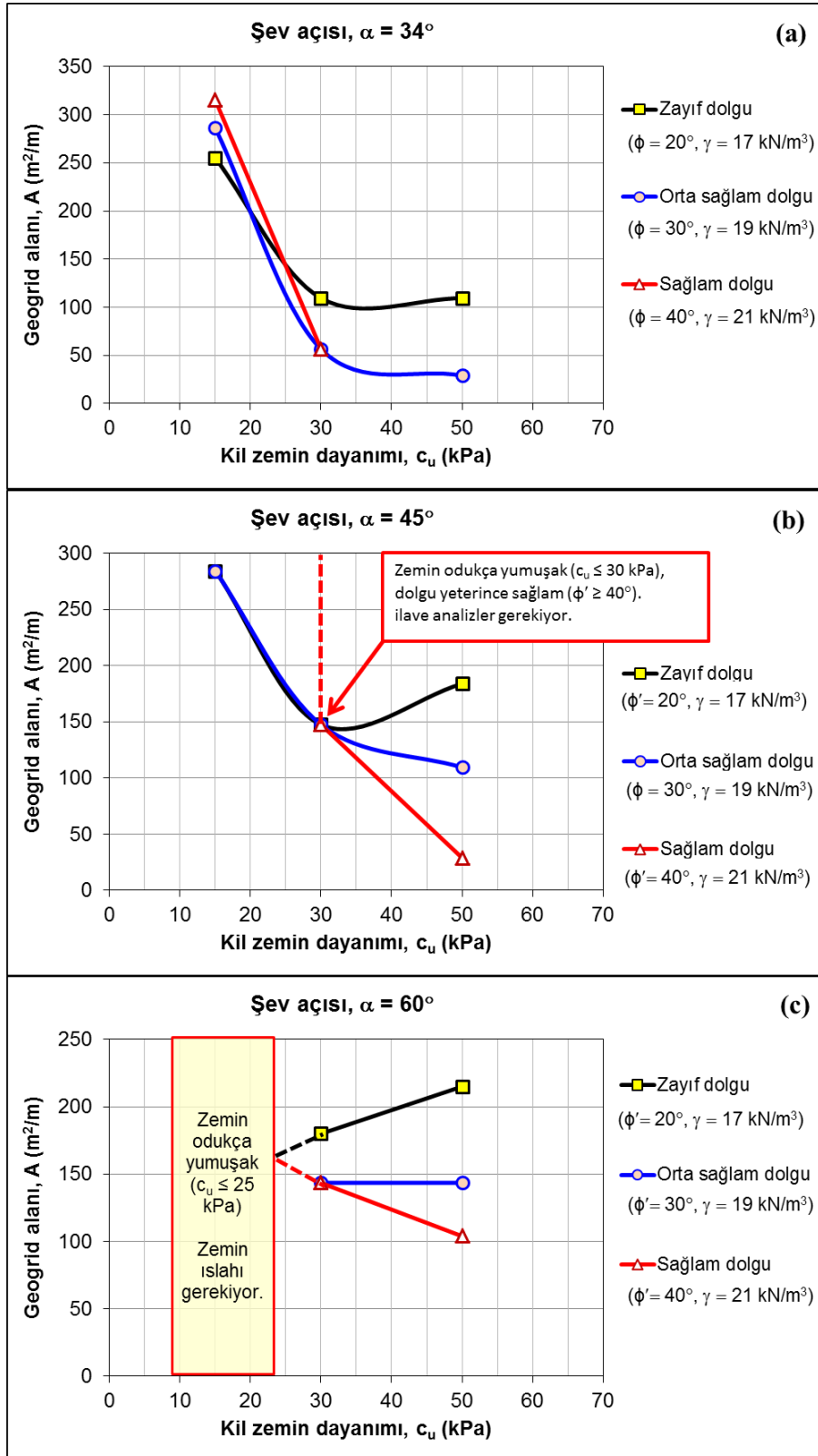
Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	109,50	109,50	109,50
Sıkı	30	29,75	29,00	26,00
Katı	50	59,50	29,00	Gereksiz

Çizelge 7.14. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)

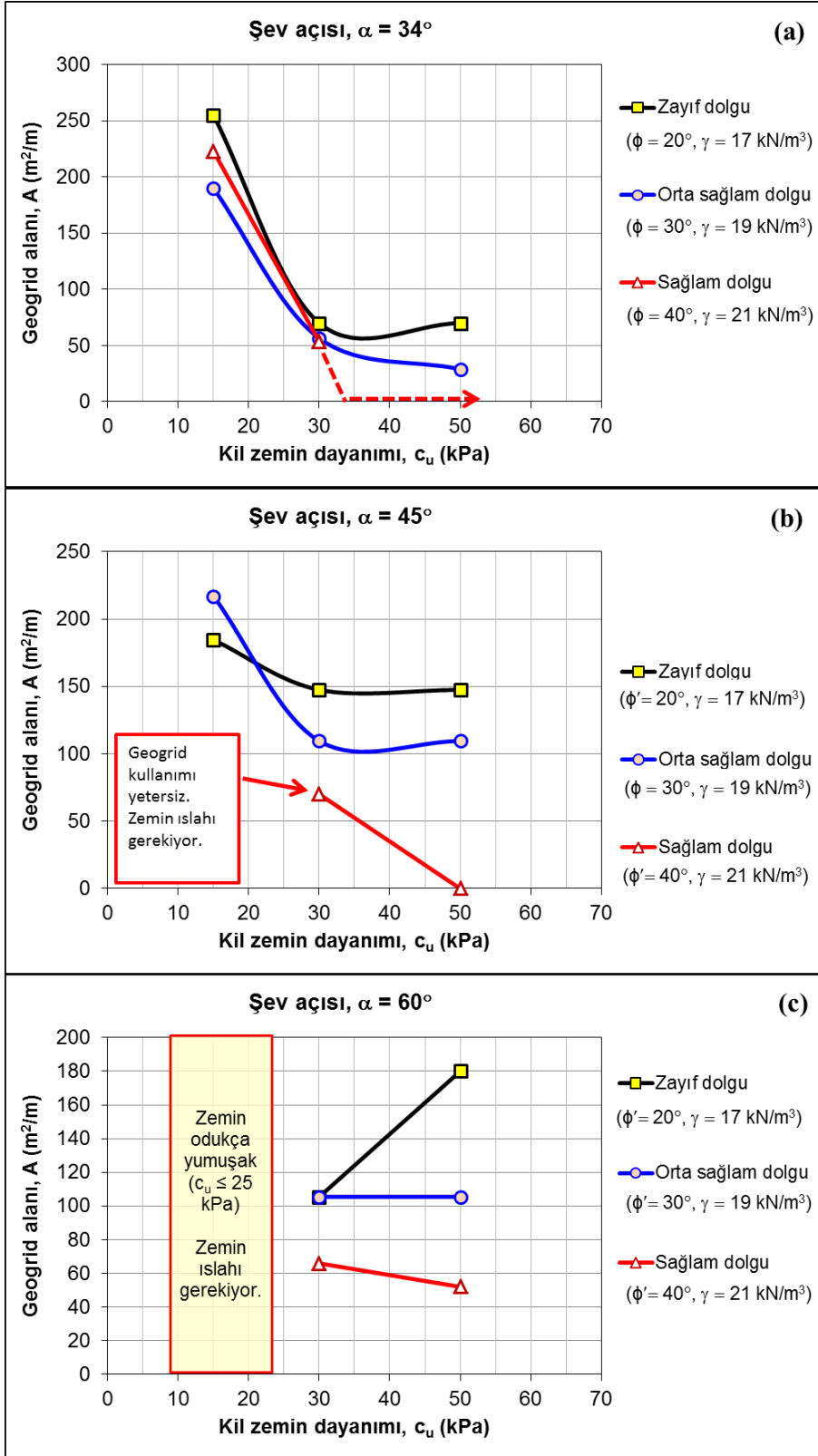
Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	109,50	127,97	Yetersiz
Sıkı	30	145,00	109,50	70,00
Katı	50	109,50	109,50	Gereksiz

Çizelge 7.15. Duraylılığı sağlamak için $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla gereken toplam geogrid alanı ($T_a=300$ kN/m)

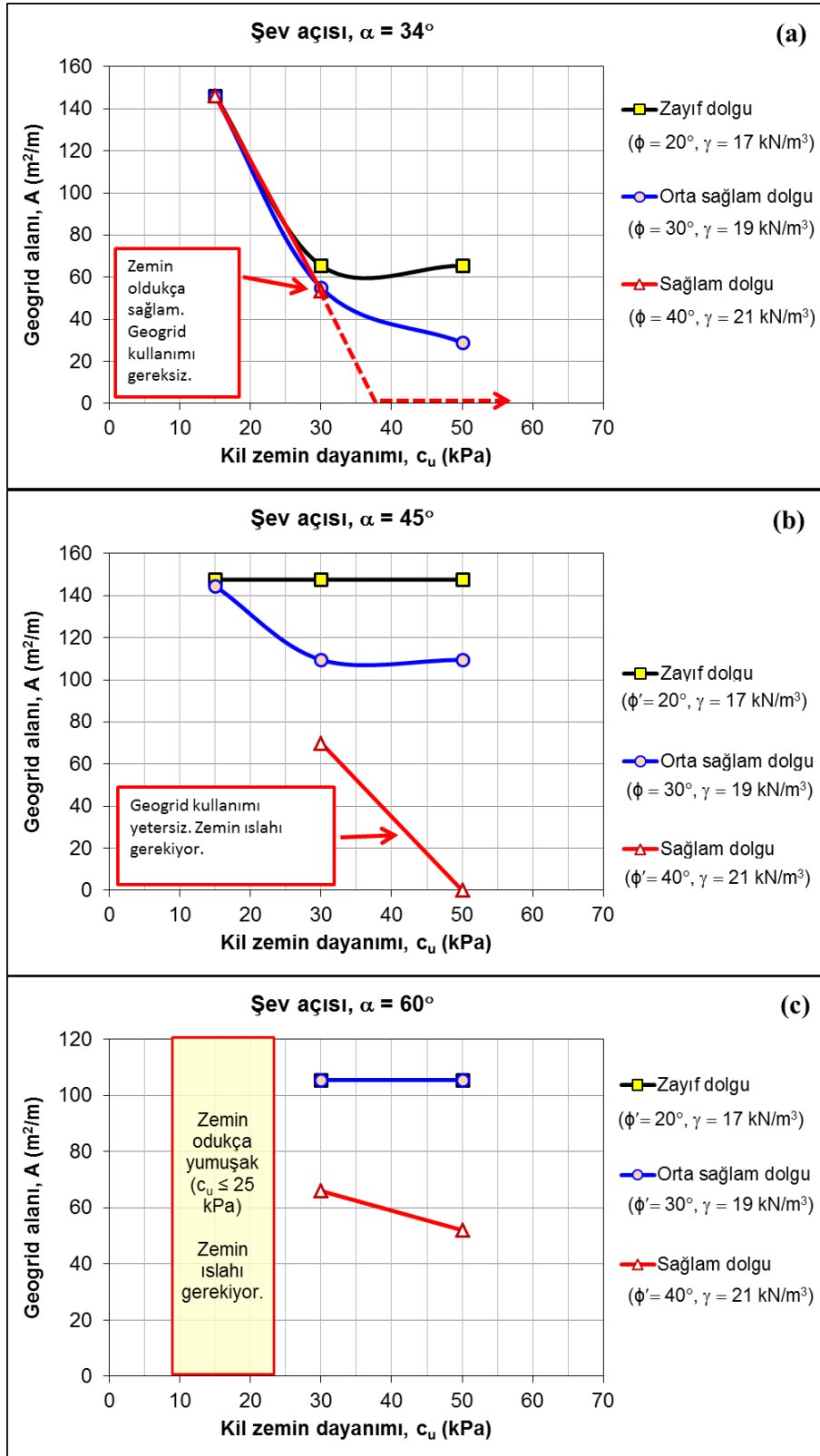
Dolgunun oturduğu zemin		1 m dolgu uzunluğu için geogrid donatı alanı, A (m ² /m)		
Tanım	c_u (kN/m ²)	Zayıf dolgu ($\phi=20^\circ$)	Orta sağlam dolgu ($\phi=30^\circ$)	Sağlam dolgu ($\phi=40^\circ$)
Yumuşak	15	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
Sıkı	30	105,50	66,00	66,00
Katı	50	105,50	105,50	52,06



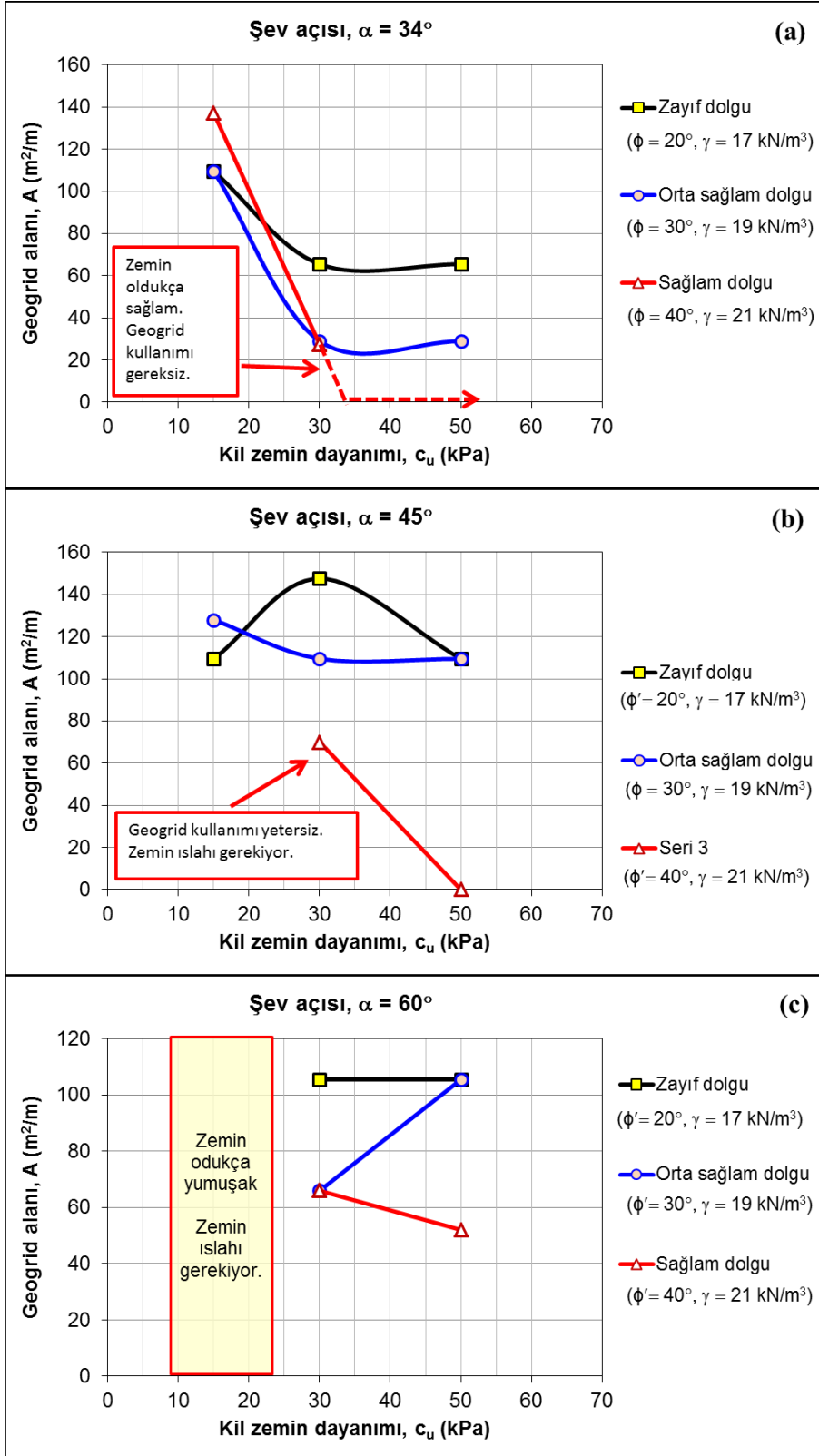
Şekil 7.1. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 100 \text{ kN/m}$ geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler



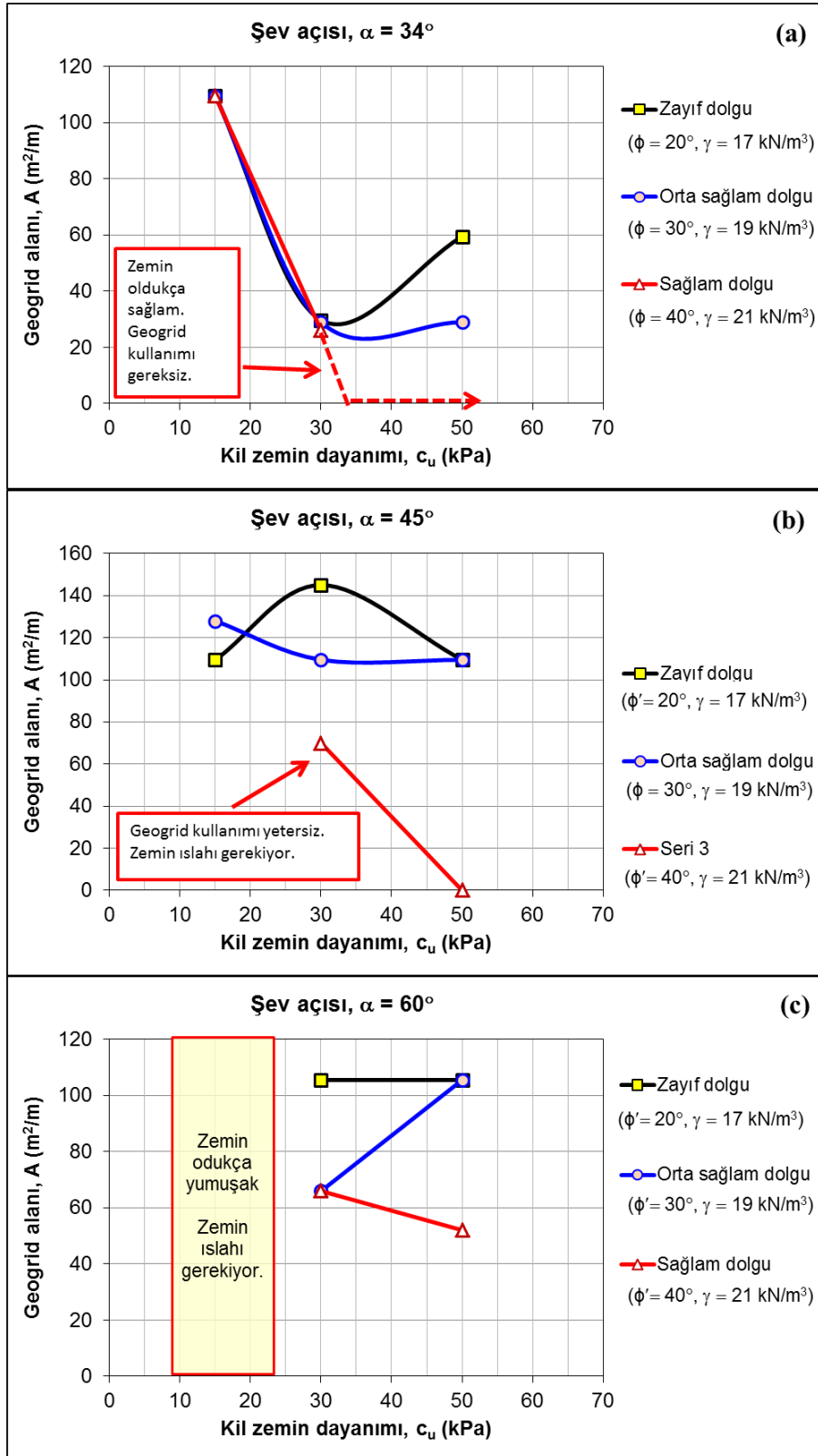
Şekil 7.2. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 150$ kN/m geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler



Şekil 7.3. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 200 \text{ kN/m}$ geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler



Şekil 7.4. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 250 \text{ kN/m}$ geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler



Şekil 7.5. Farklı dayanımlara sahip killi zeminler üzerine; a) $\alpha = 34^\circ$ şev açısıyla, b) $\alpha = 45^\circ$ şev açısıyla, c) $\alpha = 60^\circ$ şev açısıyla inşa edilen dolguların tasarım çekme dayanımı, $T_a = 300 \text{ kN/m}$ geogrid kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yapılan çözümler

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Geogrid donatı tabakasının dolgu içerisine yerleştirildiği yer (bulunduğu konum) güvenlik katsayısı üzerinde etkilidir. Donatı tabakasının yeri değiştirilerek daha yüksek veya daha düşük güvenlik katsayısı elde edilebilmektedir. En uygun geogrid konumu, dolgu tabanından başlayıp 50 cm arayla geogrid yerleştirilip yukarıya doğru tarama yapılarak belirlenebilir.
2. Belirli bir dolgu geometrisi, taban zemini ve dolgu malzemesi dayanım parametreleri için daha yüksek çekme dayanımına sahip geogrid kullanılarak daha az sayıda geogrid donatı tabakasıyla istenilen güvenlik katsayısına ulaşılabilmektedir.
3. Dolgunun şev açısı $\alpha = 34^\circ$ veya daha az, dolgunun oturduğu zeminin drenajsız makaslama dayanımı (c_u) yaklaşık 35 kPa'dan büyük ve dolguda kullanılan malzemenin içsel sürtünme açısı $\phi \geq 40^\circ$ ise, dolguyu veya oturduğu zemini geogrid veya başka bir elemanla güçlendirmeye gerek yoktur.
4. Dolgunun şev açısı $\alpha = 45^\circ$, dolgunun oturduğu zeminin drenajsız içsel sürtünme $c_u \leq 30$ kPa, dolguda kullanılan malzemenin içsel sürtünme açısı $\phi \geq 40^\circ$ ise, dolguya yerleştirilen geogrid donatılar dolguyu rijit bir yapı haline getirmekte ve duraylılık sorunları dolgunun kendisinde değil temel zemininde meydana gelmektedir. Bu tür durumlarda plastik deformasyonları ve oturmaları hesaplayabilen sayısal yöntemlerle ek çözümler yapılmalıdır.
5. Dolgunun şev açısı $\alpha \geq 60^\circ$, dolgunun oturduğu zeminin drenajsız makaslama dayanımı $c_u \leq 25$ kPa ise, dolgu imalatından önce dolgunun oturacağı zeminin uygun bir yöntemle iyileştirilmesi gerekmektedir.
6. Geogrid tabakasının dolgu içerisinde doğru yükseklikte kullanılması durumunda hem teknik hem de mali avantaj sağlamaktadır.
7. Geogridin çekme dayanımı arttıkça kullanılan geogrid donatı alanında azalma görülebilmektedir.

Bazı çözümlerinde güvenlik katsayısı 1,5'in üstüne çıkmıştır. Bu çözümlerinde geogrid donatı sayısı azaltıldığında ise, güvenlik katsayısı 1,5'in

altına dūŖmektedir. Böyle durumlarda çekme dayanımı daha dūŖk geogridler çekme dayanımı yüksek geogridlerle birlikte kullanılarak güvenlik katsayısının 1,5 deęerine yakın olması saęlanabilir. Böylece maliyetin biraz daha dūŖrlmesi saęlanabilir.

Bu alıŖma kurgusal vakalar üzerinde gerekleŖtirilmiŖ olup, sonuçlarının gerçek vakalar üzerinde doğrulanmasının yararlı olacağı dūŖnlmektedir.

KAYNAKLAR

Bağcı, F. (2007). Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin-Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Baykal, G. ve Dadaşbilge, O. (2000). Tek Yönlü-Geogrid-Kırmataş Arayüzey Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması: Sıyırılma Deneyi, Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 281-290, İstanbul.

Brown, S.F., Kwan, J., Thom, N.H. (2007). Identifying The Key Parameters That Influence Geogrid Reinforcement Of Railway Balast, UK.

Çelik, S. (1997). Jeogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Jeogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Das, B.M. (2009). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, CRC Pres LLC.

Demir, A. (2011). Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Farrag, K., Juran, I., Acar, Yalçın. (1993). Pull-out Resistance Of Geogrid Reinforcements, Geotextile And Geomembranes, Vol. 12, pp. 133-159.

Giroud, J.P. (1986). From Geotextiles To Geosynthetics: A Revolution In Geotechnical Engineering, 3rd Int.Conf.On Geotextiles, pp 1-18, USA.

Giroud, J.P. (1992). Geosynthetics in Dams: Two Decades of Experience. Geotechnical Fabrics Report, pp. 6–9, 22–28, USA.

GMA (The Geosynthetic Materials Association). (2002). Handbook Of Geosynthetics.

Hall, C. (1981). Polymer Materials, Macmillan Publisher, London.

Holtz, R.D., Christopher B.R., Berg, R.R. (1998). Geosynthetics Design and Construction Guidelines, Participant Notebook, US Federal Highway Administration, National Highway Institute, Publication No. FHWA HI-95-038, Washington, D.C., U.S.A.

IGS (International Geosynthetic Society). (2009). Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols, 5th Edition.

Işık, N.S., Orhan, M., Özer, M., Adil, F. (2009). Dairesel Kayma Türü Duraysızlıkların Güvenlik Katsayılarının Belirlenmesinde Kullanılan Başlıca

Yöntemler, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Geoteknik Eğitimi A.B.D, Sondaj ve Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi, Sayı 8, Ankara.

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

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, sayı 55183336 – 020 / 23789, Ankara.

Koerner, R. M. (1999). Designing With Geosynthetics, Third Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

Koerner, R.M., Koerner, G.R. (2007). Reduction Factors (RFs) Used in Geosynthetic Design, GSI White pp 4, Geosynthetic Institute, PA 19033-1208 USA.

Look, Burt G. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, Taylor & Francis Group, London, UK.

Özaydın, A. (2010). Arkasında Geotekstil İle Güçlendirilmiş Donatılı Kum Zemin Bulunan İstinat Duvarı Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Özkol, O. (2006). Geosentetik Donatılı İstinat Yapılarının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Shukla, S. K., and Yin, J-H. (2006). Fundamental of Geosynthetic Engineering Taylor & Francis Group, London, UK.

Staff, C.E. (1984). The foundation and growth of the geomembrane industry in the United States, Proceedings of the International Conference on Geomembranes, pp. 5–8, Denver, CO.

Slide, v.6.005. (2010). Rocscience Inc.

Şenol, A., Gümüşer, C., Bostancıoğlu, M. (2008). Kaplamasız Yollarda Geotekstil - Geogrid Kullanılması Durumunda Oluşan Fayda - Maliyet İlişkisinin İncelenmesi, Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı, 13-25, İstanbul.

Tenax Tools Cd., Tenax SpA. (2005). Milano.

Tensar International Limited. (2005). The Properties and Performance of Tensar Biaxial Geogrids, Sayı 4.

Tensar International Limited. (2009). Tensar TriAx jeogridlerinin özellikleri ve performans avantajları, Sayı 1.

Tensar International Limited. (2010). The properties and performance advantages of Tensar TriAx geogrids, Sayı 7.

Töremiş, E. İ. (2003). Geotekstiller ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TS EN 10318. (2006). Jeotekstiller – Terimler ve Tarifler, Türk Standardları Enstitüsü Bakanlıklar/ANKARA.

Yıldız, L. (2005). Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ADANA.

Yılmaz, H.R., Eskişar, T., Aklık, P. (2005). Geofoam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Bülten, s. 14-19, İzmir.

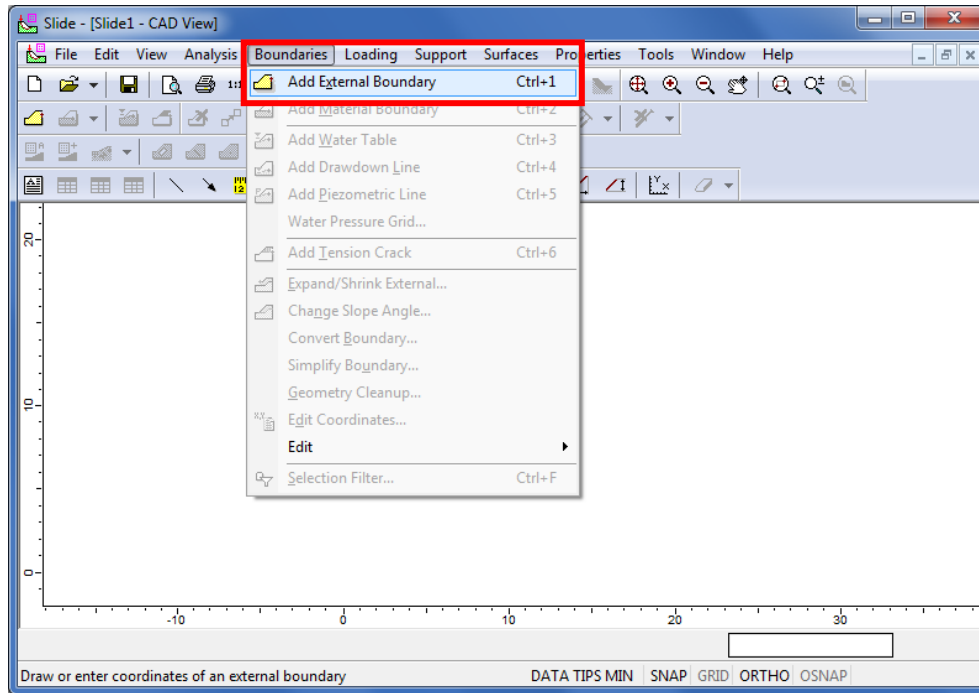
Vashi, J.M., Desai, A.K., Solanki, C.H. (2012). Assessment of reinforced embankment on soft soil with PET and PP Geotextile, International Journal Of Civil And Structural Engineering Volume 2, No 3, Italy.

EKLER

Ek – 1. Modelin Slide programı ile oluşturulması

1. Modelin oluşturulması

Çözümlemesi gerçekleştirilecek olan kesitin slide programına aktarılabilmesi için koordinat eksen takımına oturtulması gerekmektedir. Bunun için kesitin her hangi bir köşesinin (tercihan sol alt köşe) 0,0 koordinatı verilmiş ve kesitin ölçülerine göre diğer köşelerin koordinatları hesaplanmıştır. Daha sonra bu koordinatların slide programına aktarılabilmesi için “Boundaries” (Sınırlar) menüsünden veya araç çubuğundaki simgesinden “Add External Boundary” (Dış Sınır Ekle) komutuna tıklanmıştır (Şekil 1.1).

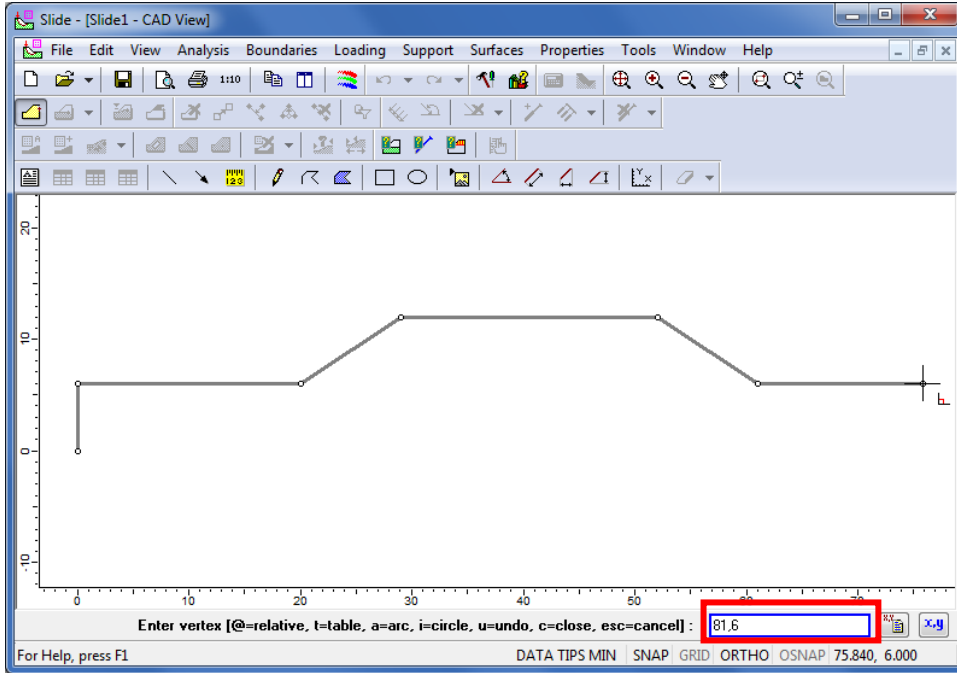


Şekil 1.1. “Add External Boundary” (Dış Sınır Ekle) komutunun çalıştırılması

Daha sonra, modelin (Şekil 1.2) sol alt köşe koordinatından (0,0) (veya herhangi bir koordinattan) başlanarak, tekrar ilk girilen koordinata gelinceye kadar bütün koordinatlar teker teker program penceresinin sağ alt köşesindeki koordinat girdi penceresinden girilmiştir (Şekil 1.2). Koordinatlar girilirken “x” ve “y” koordinat değerleri arasında virgül kullanılmış ve boşluk bırakılmamıştır. Her bir koordinat değeri girildikten sonra “enter” tuşuna basılmış ve bir sonraki koordinat değeri girilmiştir. İlk başlanan (0,0) noktaya gelinceye kadar bütün koordinat girişleri

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

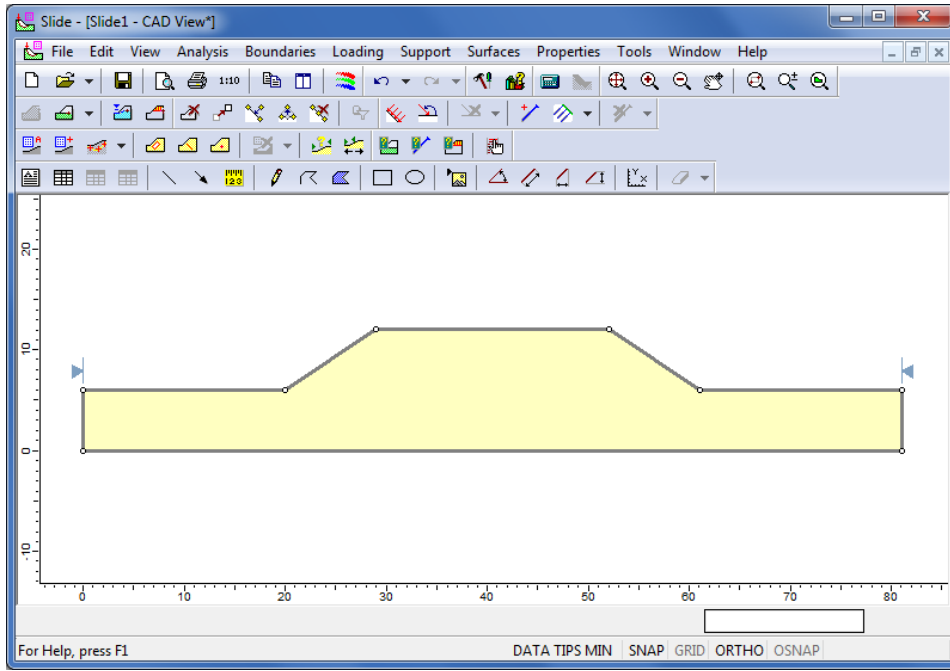
tamamlandıktan sonra koordinat girdi penceresine “c” harfi (veya 0,0) yazılıp enter tuşuna basılmak suretiyle dış sınır koordinat girişleri tamamlanmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Modelin dış sınır koordinatlarının girilmesi

Dış sınır ekleme işlemi tamamlandıktan sonra program, diğer malzemelerin sınırları henüz belirlenmediği için tüm modelin tek bir malzemedan meydana geldiğini kabul etmiş ve hafızasında “varsayılan” malzeme olarak yer alan “Material 1” (Malzeme 1)’in özelliklerini bu malzemeye atamıştır (Şekil 1.3).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

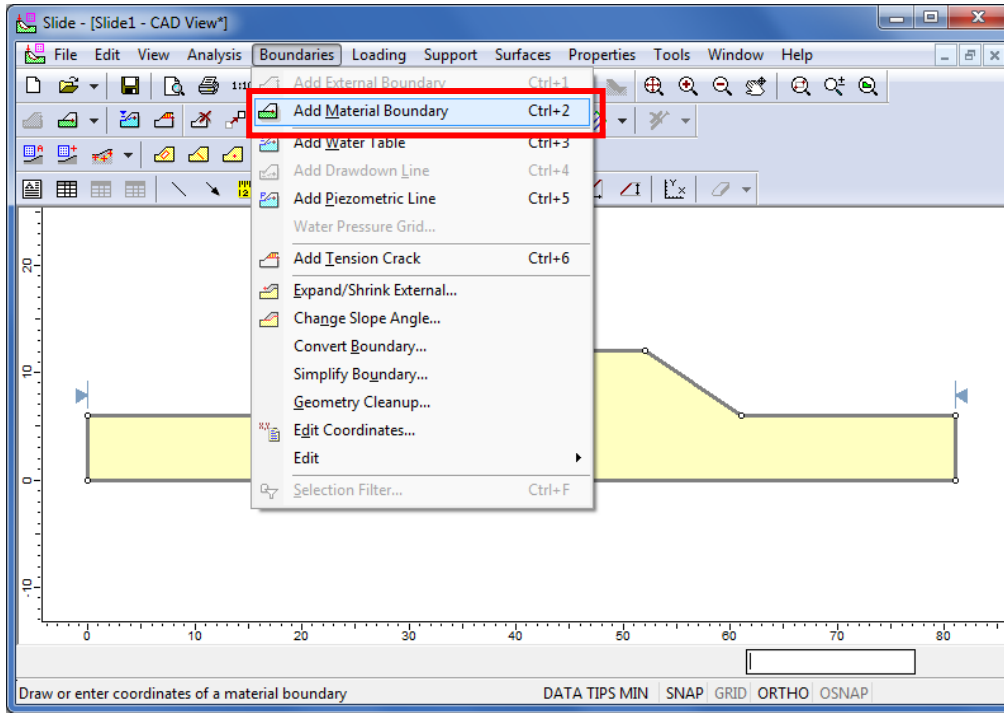


Şekil 1.3. Dış sınırları belirlenmiş modelin görüntüsü

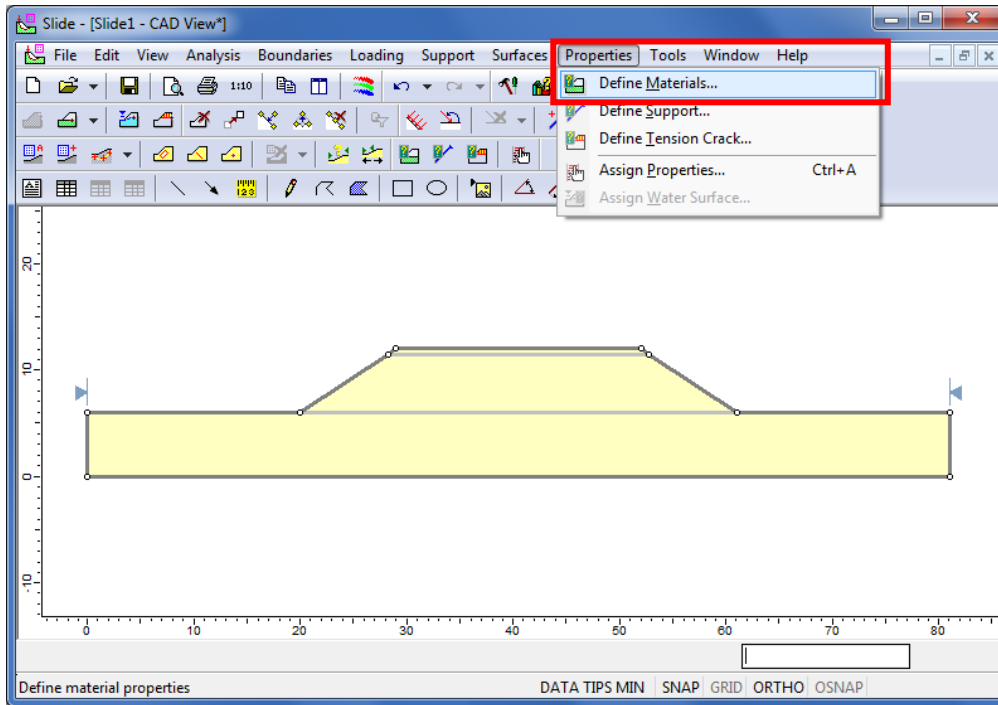
2. Malzeme sınırlarının belirlenmesi ve özelliklerinin atanması

Yol temeli, dolgu ve taban malzemelerinin sınırlarının belirlenmesi için “Boundaries” (Sınırlar) menüsünden “Add Material Boundary” (Malzeme Sınırı Ekle) komutu çalıştırılarak (Şekil 2.1) koordinat girme (ya da imleç ile tıklama) yöntemiyle bu malzemelerin sınırları belirlenmiştir (Şekil 2.2).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 2.1. “Boundaries” menüsünden “Add Material Boundary” (Malzeme Sınırı Ekle) komutunun çalıştırılması

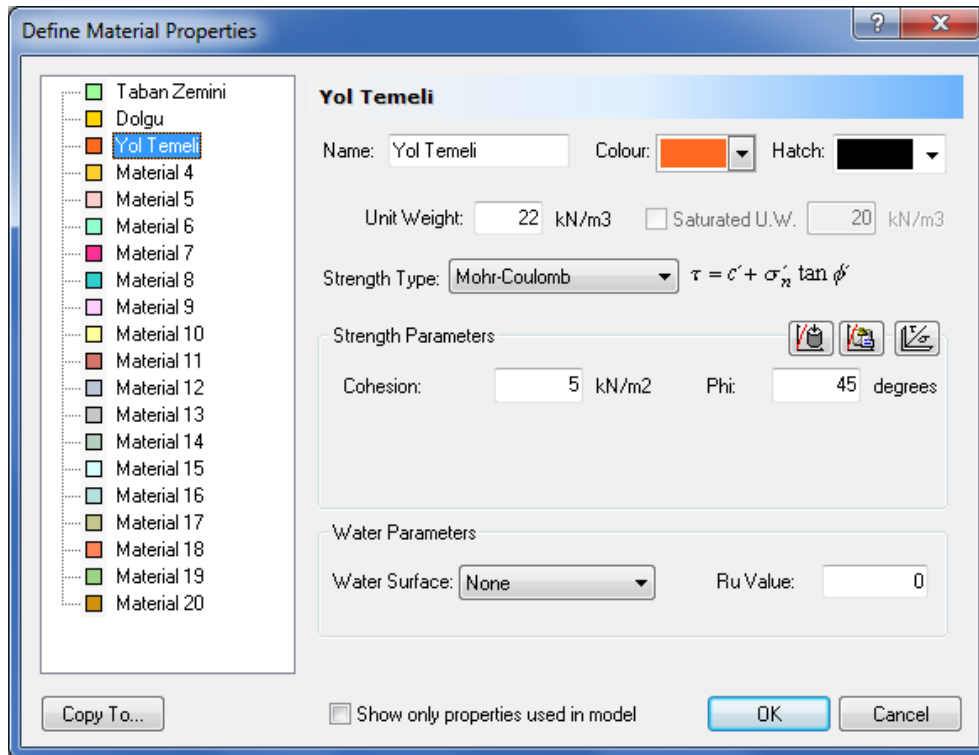


Şekil 2.2. Malzeme sınırları belirlenmiş modele “Properties” menüsünden “Define Materials” komutunu kullanarak malzeme özelliklerinin tanımlanması

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

Malzeme sınırlarının belirlenmesine rağmen henüz malzeme özellikleri belirlenip ilgili alanlara atanmadığı için bütün model halen tek bir malzemedan (Material 1'den) meydana gelmektedir (aynı renkte görünmektedir). Malzeme özelliklerinin belirlenmesi için "Properties" (Özellikler) menüsünden "Define Materials" (Malzeme Tanımla) komutuna girilmiştir (Şekil 2.2).

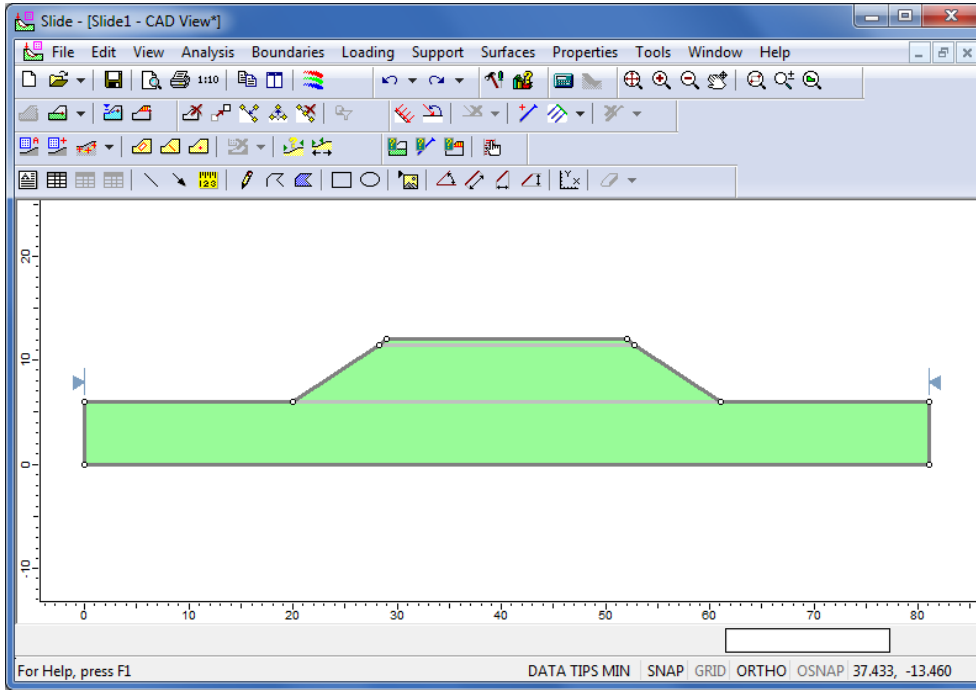
Ekrana gelen "malzeme özellikleri tanımlama" penceresinin sol tarafında bulunan listedeki "Material 1" in üzerine tıklanarak ismi "Zemin", rengi "yeşil", kohezyonu 15 kPa, içsel sürtünme açısı 0 (sıfır) derece, birim hacim ağırlığı ise 15 kN/m^3 olarak değiştirilmiştir. Bir alt satırda bulunan "Material 2" ve "Material 3" ün isimleri de sırasıyla "Dolgu" ve "Yol Temeli" olarak değiştirilmiş ve bu malzemelerin de kohezyonu, içsel sürtünme açısı ve birim hacim kütleleri ilgili alanlara girilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Modelde yer alan malzeme özelliklerinin programa girilmesi

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

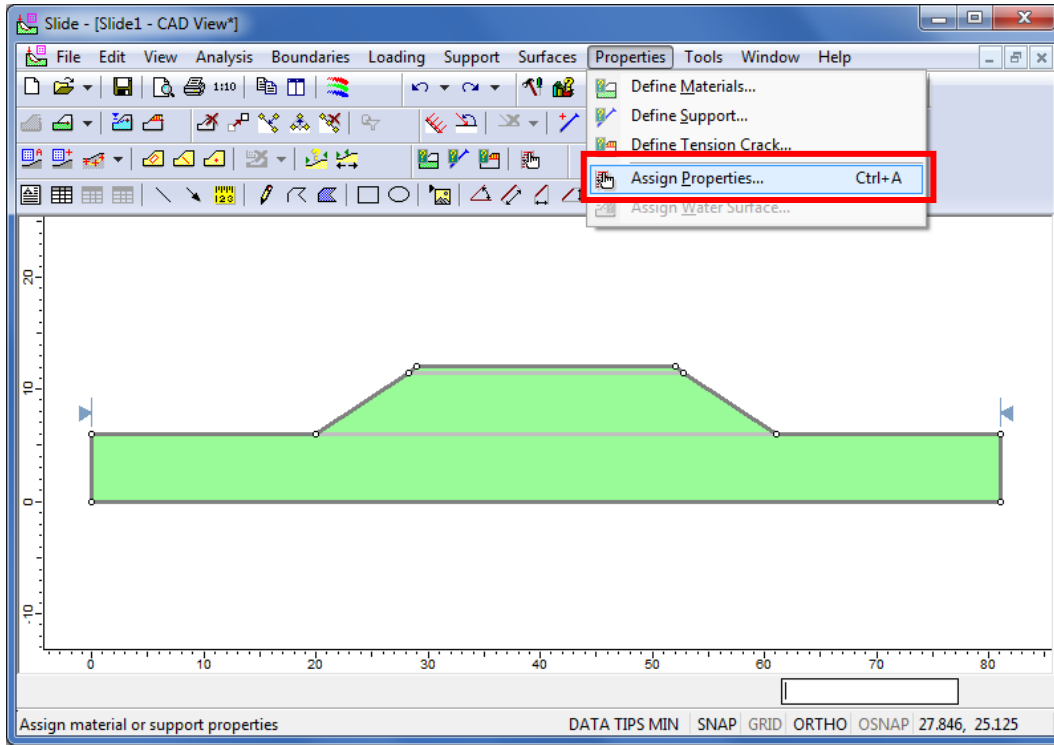
Veri girişleri tamamlandıktan sonra OK tuşuna basıldıktan sonra program otomatik olarak Material 1 yerine tanımlanan zeminin özelliklerini modelin tamamına atamıştır (Şekil 2.4).



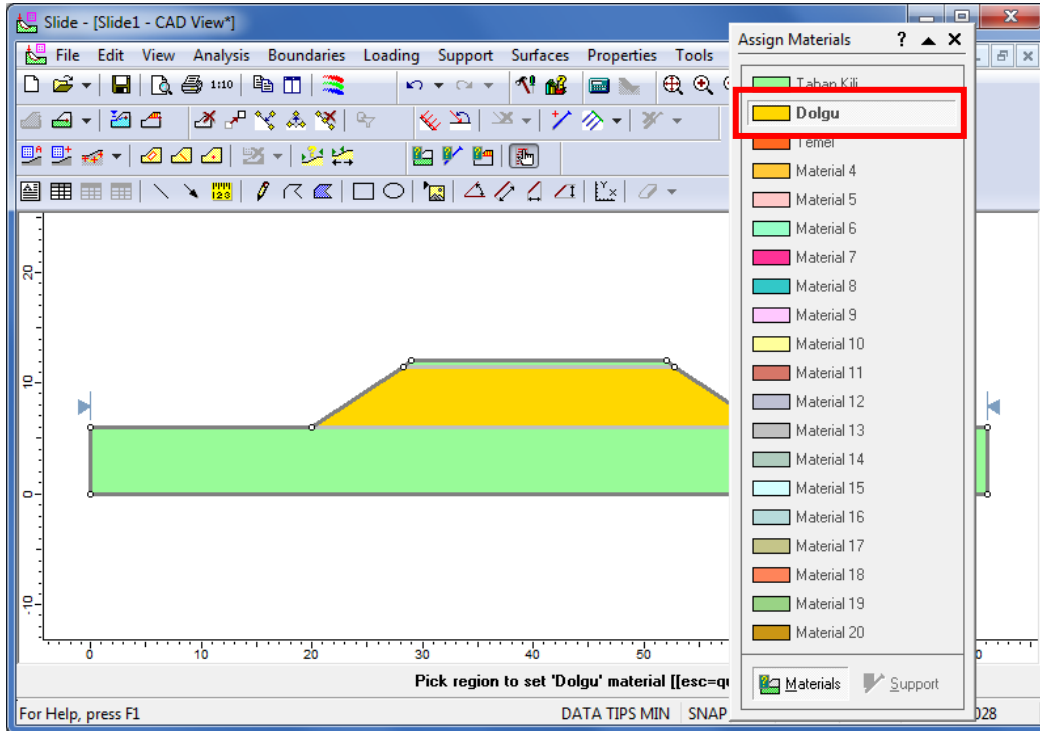
Şekil 2.4. Malzeme özellikleri belirlendikten sonra modelin görünümü

Tanımlanan malzeme özelliklerinin ilgili alanlara atanması için, yine “Properties” (Özellikler) menüsünden “Assign Properties” (Özellik Atama) komutuna girilmiş (Şekil 2.5), açılan listeden “Dolgu” malzemesinin üzerine tıklanmış (Şekil 2.6), daha sonra imleç çizim ekranına götürülerek model üzerinde dolgu malzemesinin bulunduğu alanda herhangi bir yere tıklanmış ve böylece atama işlemi gerçekleştirilmiştir (malzeme atama işlemi, ataması yapılacak olan malzemenin üzerine imleci getirip sağ tıklama yapıldıktan sonra çıkan menüden “Assign Material” komutuna tıklanıp listeden ilgili malzeme seçilerek de gerçekleştirilebilmektedir). Temel malzemesinin atama işlemi de gerçekleştirilerek malzeme tanımlama ve atama işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 2.7).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

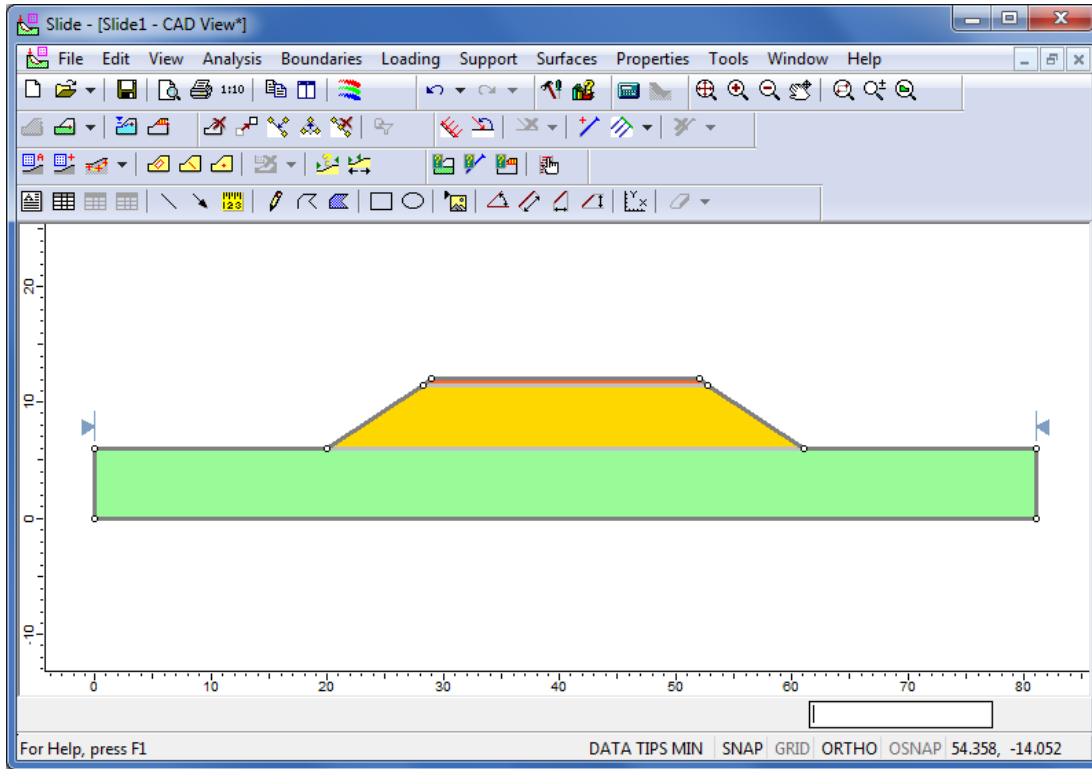


Şekil 2.5. Malzeme özelliklerinin atanması için "Properties" menüsünden "Assign Properties" komutunun çalıştırılması



Şekil 2.6. Malzeme özelliklerinin modele atanması

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 2.7. Malzeme özellikleri tanımlanmış ve atanması gerçekleştirilmiş modelin görünüşü

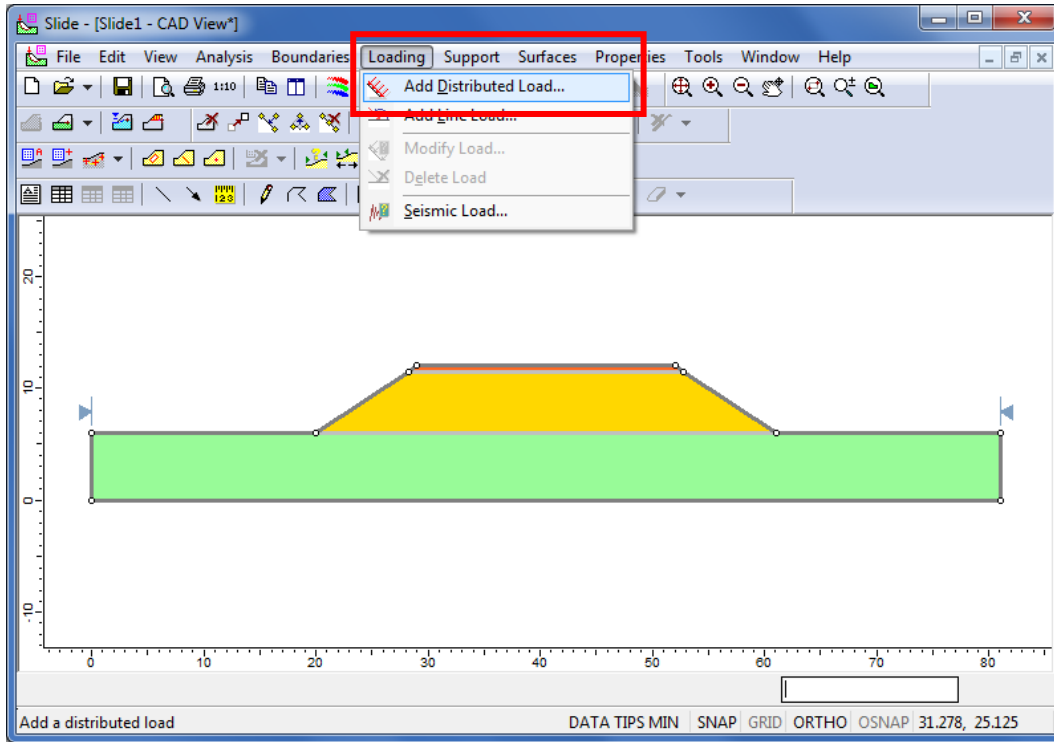
3. Sürşarj yükünün uygulanması

Dolgunun üzerinde bulunan 15 kPa'lık sürşarj yükünü uygulamak için "Loading" (Yükleme) menüsünden "Add Distributed Load" (Yayıllı Yük Ekle) komutuna tıklanmıştır (Şekil 3.1). Açılan pencereden "Normal to Boundary" (Yüzeye Dik) ve "Constant" (Sabit) seçenekleri seçilmiş ve "Magnitude" alanına 15 kPa değeri girilmiştir (Şekil 3.2).

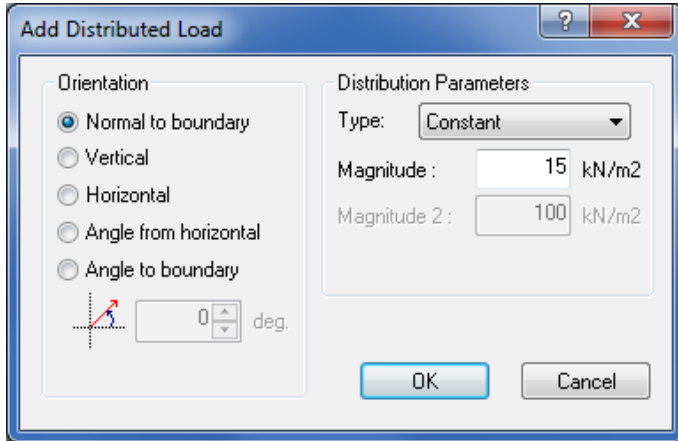
Yük tanımlama penceresi OK ile terkedildikten sonra imleç ile yük eklenecek olan köşelere tıklanmak suretiyle yük ekleme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.3).

Böylece model geometrisinin, malzeme özelliklerinin ve sürşarj yükünün programa girilmesi işlemleri tamamlanmıştır.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

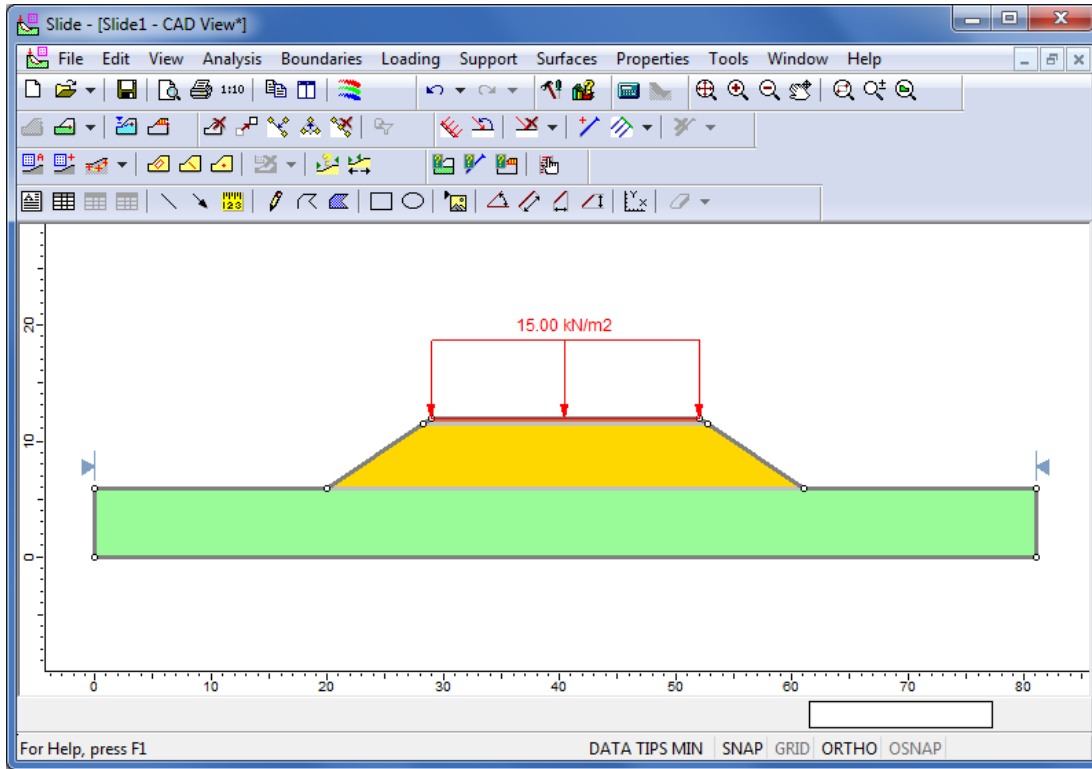


Şekil 3.1. Modele sürşarj yükünü eklemek için “Loading” menüsünden “Add Distributed Load” komutuna girilmesi



Şekil 3.2. Sürşarj yükü özelliklerinin programa girilmesi

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

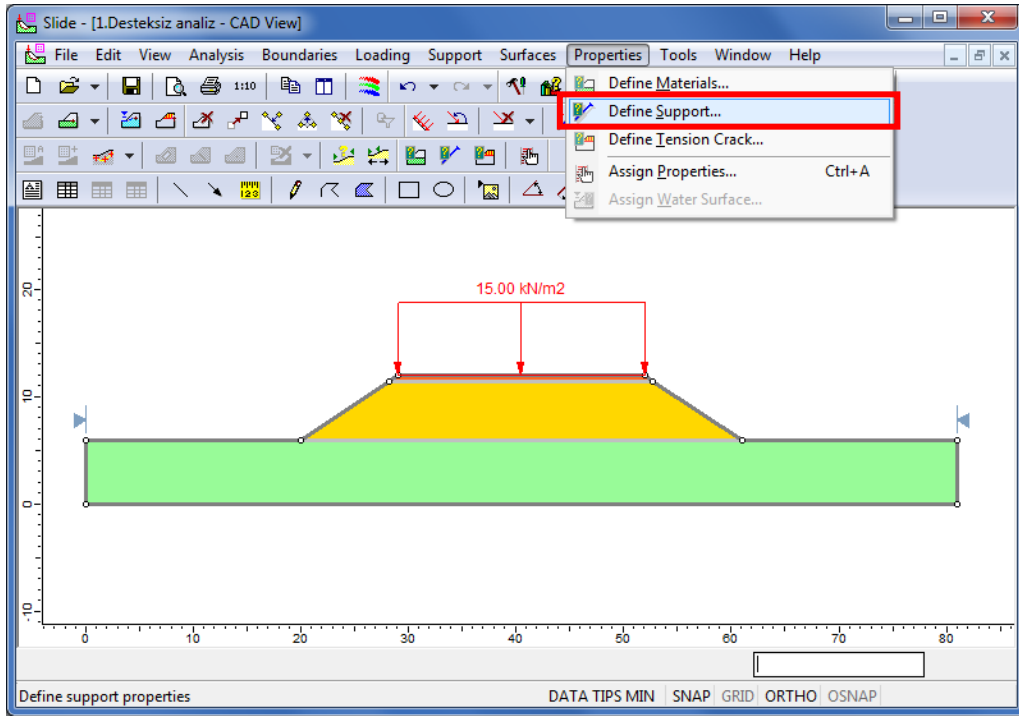


Şekil 3.3. Malzeme özellikleri atanmış ve sürşarj yükü uygulanmış model

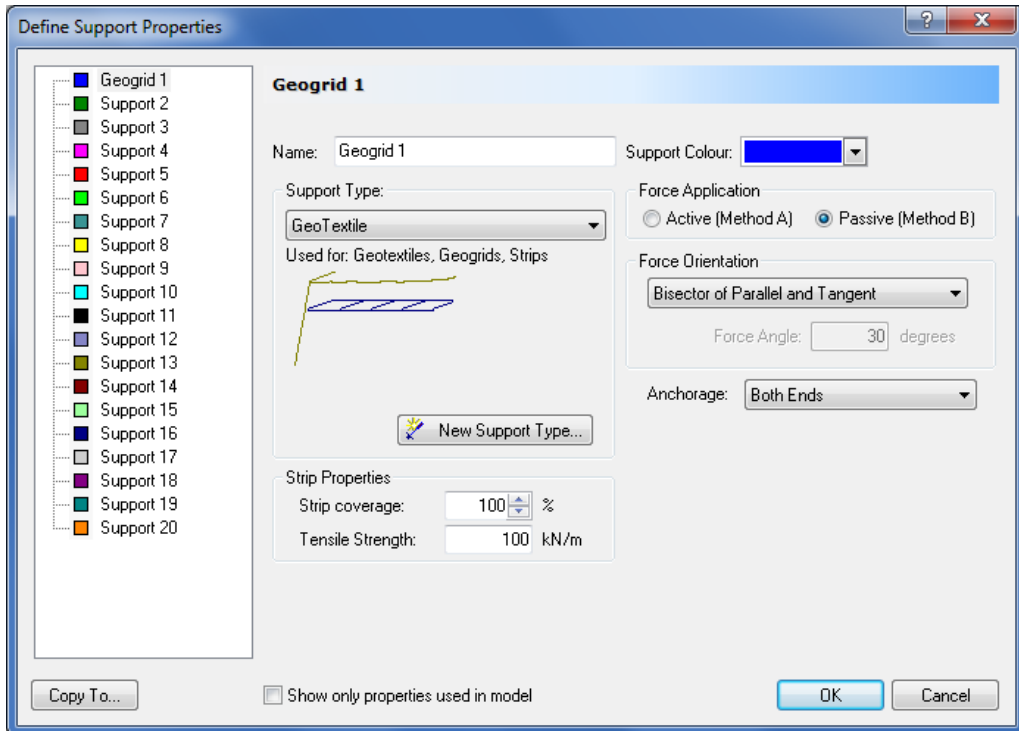
4. Geogrid özelliklerinin tanımlanması

Çözümlerlerde kullanılacak geogrid özelliklerinin programa tanımlanması için “Properties” (özellikler) menüsünden “Define Support” (destek tanımla) komutuna girilmiştir (Şekil 4.1). Komut çalıştığında destek elemanını seçebilecek ve özellikleri tanımlanabilecek bir pencere açılmıştır (Şekil 4.2). Bu pencerede geogridin tanımlanması için girilmesi gereken parametreler ve bunların açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 4.1. Geogrid özelliklerinin tanımlanması için “Define Support” (Destek Tanımla) komutunun çalıştırılması



Şekil 4.2. Destek elemanı özelliklerinin tanımlanması

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

4.1. “Destek Tipi” (Support Type)

Dolgu gibi yapıların geosentetikle güçlendirilmesinde, güçlendirme elemanı olarak geogridin yanı sıra geotekstil ve geohücre gibi diğer geosentetikler de kullanılabilir. Slide programında geogrid, geotekstil ve geosel gibi geosentetiklerin tümü de aynı şekilde modellenmekte ve güçlendirme elemanı olarak tümü “Geo Textile” olarak adlandırılmaktadır (Rocscience, 2010). Bu nedenle Şekil 4.2’de görülen penceredeki “Support Type” (destek tipi) sarkan menüsünden destek tipi olarak “Geo Textile” seçilmiş ve destek elemanının ismi “Geogrid 1” olarak değiştirilmiştir.

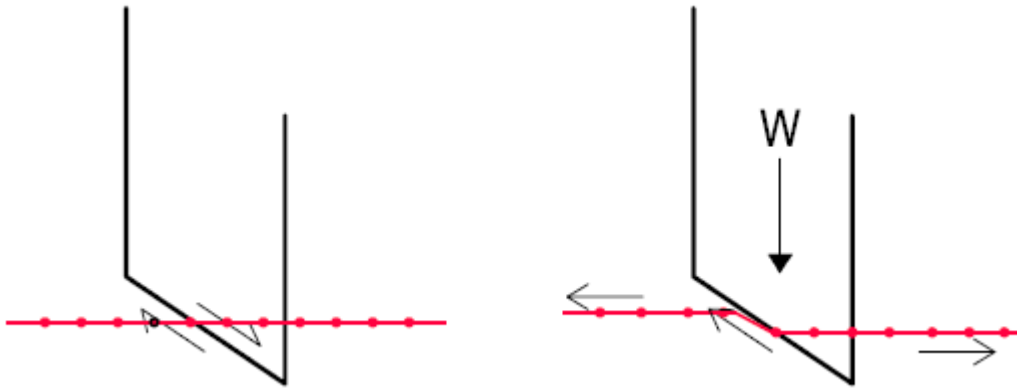
4.2. “Kuvvet Uygulanması” (Force Application)

Şev duraylılığı çözümlerinde güvenlik katsayısı “kaymaya karşı koyan kuvvetler/kaydırmaya neden olan kuvvetlerin oranı” şeklinde hesaplanmaktadır. Şevin duraylılığını arttırmak için sisteme eklenecek olan destek elemanı kaymaya karşı koyan kuvvetleri arttırarak, ya da kaydırmaya neden olan kuvvetleri azaltarak güvenlik katsayısının arttırılmasına katkı sağlar. Ankraj ve mini kazık gibi destek elemanları, kaydırmak isteyen kuvvetleri azaltırken, geogrid ve geotekstil gibi destek elemanları ise çekme elemanı gibi davranarak kaymaya karşı koyan kuvvetleri arttırmaktadırlar (Rocscience, 2010). Slide programında, kaymaya neden olan kuvvetleri azaltan destek elemanlarının kullanılması “Active (Method A)”, kaymaya karşı koyan kuvvetleri arttıran destek elemanlarının kullanılması ise “Passive (Method B)” olarak adlandırılmaktadır (Rocscience, 2010). Bu çalışmada destek elemanı olarak geogrid kullanılacağı için Şekil 4.2’de görülen penceredeki “Force Application” (kuvvet uygulanması) bölümünden “Passive (Method B)” seçeneği seçilmiştir.

4.3. “Kuvvet Yönelimi” (Force Orientation)

Geogrid ve geotekstil gibi malzemeler güçlendirme elemanı olarak kullanıldıklarında genellikle zemine paralel olarak yerleştirilirler (serilirler). Bu tip

malzemeler zemin içerisinde çekme elemanı gibi çalıştıklarından başlangıçtaki güçlendirme yönü (çekme gerilmelerinin yönü) geosentetiğin serilme yönüne paraleldir. Geogrid ve geotekstil gibi güçlendirme elemanları esnek yapıda oldukları için, herhangi bir şev hareketi başladığında kayma diliminin tabanına etki eden destek kuvvetinin yönelimi her zaman başlangıçtaki serilme (güçlendirme) yönüne paralel kalamayabilir. Dolgu hizmete açıldığında ve geosentetik çekme gerilmelerine maruz kaldığında kayan kütle (kayma dilimi) geogridi aşağı doğru çekmek isterken kaymayan kütle ise geogridi kendi konumunda (zeminine paralel) tutmak isteyecektir. Ancak şevdeki yer değiştirmeler belli bir mertebeye ulaştığında geogrid bu gerilmelerin etkisiyle belli bir açıyla bükülecektir (Şekil 4.3).

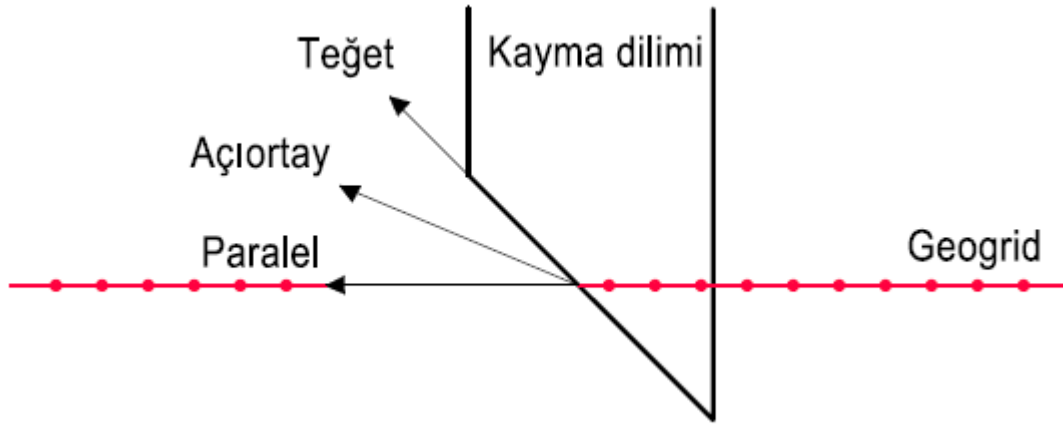


Şekil 4.3. Kayma diliminin altında şev hareketine ve çekme gerilmesine maruz kalmış geogridin konumu

Slide programında çekme gerilmelerine maruz kalmış ve yönelimi ilk yerleştirildiği konuma göre değişmiş geogridin durumunu temsil etmek için sunulan seçenekler Şekil 4.4'de gösterilmiş ve aşağıda açıklanmıştır;

- Kayma diliminin tabanına teğet,
- Güçlendirme elemanına (yönüne) paralel,
- Paralel ve teğet yönlerin açıortayı (kayma diliminin tabanından ve güçlendirme elemanının yüzeyinden geçen açının açıortayı),
- Kullanıcı tarafından belirlenen bir açı.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 4.4. Geogrid (Geo Textile) destek kuvvetinin yönelimi için seçenekler
(Rocscience , 2010)

Çekme gerilmelerine maruz kalmış ve konumu değişmiş bir geogridin gerçek açısını tam olarak tahmin etmek güç olduğundan bu durumu en iyi yansıtan seçenek olarak Slide programındaki Force Orientation” (kuvvet yönelimi) alanından “Bisector of Parallel and Tangent” (paralel ve teğet yönlerin açıortayı) seçeneği seçilmiştir.

4.4. “Sabitleme” (Anchorage)

Geogrid ve geotekstil gibi malzemeler güçlendirme elemanı olarak kullanıldıklarında (çekme gerilmelerine maruz kaldıklarında) buldukları yerden sıyrılmalarını ve çekilmelerini önlemek için uygun bir yöntemle sabitlenmeleri (ankrajlanmaları) gerekmektedir. Bunun için Slide programında bulunan seçenekler ve etkileri şöyledir:

- *Şev yüzeyi (Slope Face)*: Sadece çekme gerilmesi yenilmesi ve çekilme meydana gelebilir (sıyrılmaya meydana gelemez),
- *Gömülü uç (Embedded End)*: Sadece çekme gerilmesi/yenilmesi ve sıyrılmaya mümkündür (çekilme meydana gelemez)

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

- *Her iki uç (Both Ends)*: Sadece çekme gerilmesi/yenilmesi mümkündür. Çekilme ve sıyırılma meydana gelemez. Bu durumda çekilme dayanımı parametreleri pasif (veri girişine kapalı) hale gelir.
- *Hiçbiri (None)*: Hiçbir sabitleme etkisinin olmadığı durumdur. Her üç yenilme mekanizmasının da (çekme, çekilme ve sıyırılma) gerçekleşmesi mümkündür.

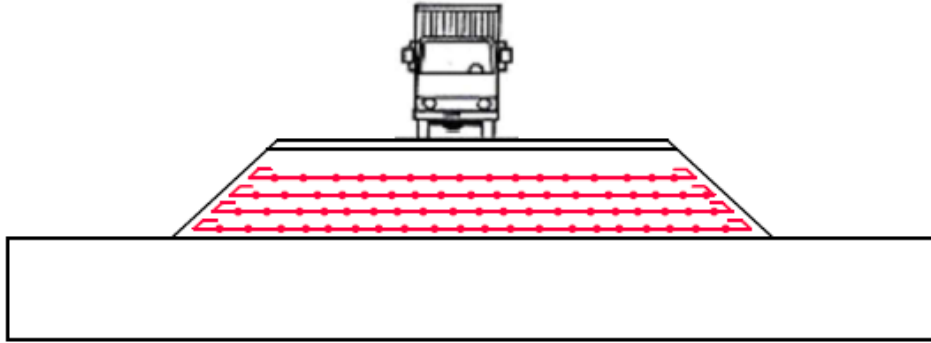
Geogrid ve geotekstil gibi elemanlar dolgu güçlendirilmesinde kullanıldığında, bu elemanların şev yüzeyine denk gelen uçları belli bir miktar uzatılır ve geosentetiğin üzerine uygun bir kalınlıkta dolgu malzemesi serilip sıkıştırıldıktan sonra uzatılan bu uç katlanarak tekrar dolgunun üzerine, şevin içine doğru serilir (Şekil 4.5). Uygulamada bu işlem “bohçalama” olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4.5. Bohçalama uygulaması yapılmış bir dolgu şev yüzeyi (İnternet 12)

Her iki tarafında da şev bulunan dolguların imalatında geosentetiğin her iki ucunun da bohçalanması gerekmektedir (Şekil 4.6). SLIDE programında geosentetiğin her iki ucunun da şev yüzeyine ankrajlanması durumu, “Anchorage” seçeneklerinin içerisinde “Both Ends” seçeneği seçilerek gerçekleştirilmiştir.

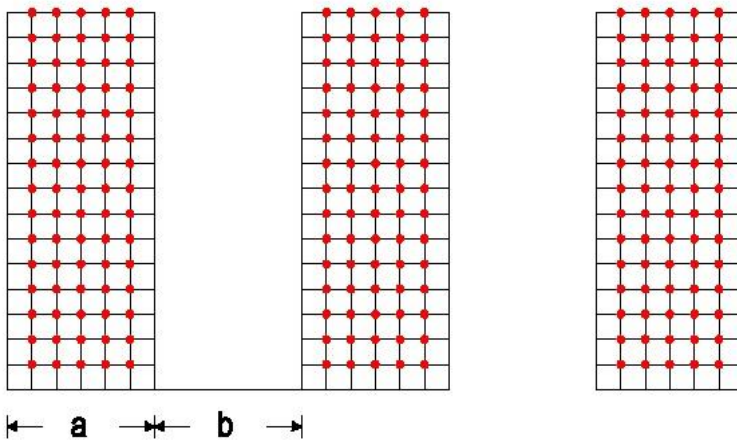
Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 4.6. Her iki tarafında da şev bulunan dolgularda geosentetiğin bohçalanması

4.5. “Şerit Kaplama Yüzdesi” (Strip Coverage)

Bilindiği gibi, geogrid ve geotekstil gibi polimerler belirli bir genişlikte şeritler şeklinde üretilmektedirler. Şerit kaplama yüzdesi (Strip Coverage), uygulama esnasında bu şeritlerin arasında bırakılan boşluğu ifade eden bir kavramdır. Herhangi bir güçlendirme çalışmasında geogrid veya geotekstil malzemeler şeritler şeklinde serilerek uygulanmaktadır. Eğer bu şeritler, aralarında boşluk bırakılmadan yerleştirilirse şerit kaplama yüzdesi %100, aralarında boşluk bırakılarak yerleştirilirse %100'den az olacaktır. Örneğin 4 m genişliğine sahip geogrid şeritleri aralarında 2 m boşluk bırakılarak serilecek olursa, şerit kaplama yüzdesi yaklaşık %67 ($4/(4+2)$) olur (Rocscience, 2010) (Şekil 4.7).



$$\text{Şerit kaplama yüzdesi} = (a/(a+b)) \times 100$$

Şekil 4.7. Şerit kaplama yüzdesinin hesaplanması için örnek geogrid yerleşim planı yardımcı şekil (Rocscience, 2010)

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

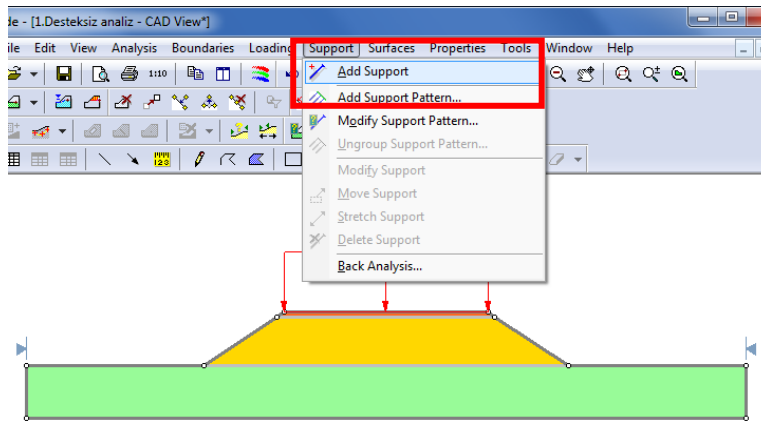
Bu çalışmada, geogrid şeritleri aralarında boşluk bırakılmadan serileceği için şerit kaplama yüzdesi alanına (%) 100 değeri girilmiştir.

4.6. “Çekme dayanımı” (Tensile strength)

“Tensile Strength” yani geogridin çekme dayanımı alanına geogrid için Bölüm 3.4’de anlatılan mümkün bütün dayanım azaltma faktörleri uygulandıktan sonra geriye “kalan dayanım” girilmiştir. Dayanım azaltma faktörleri uygulanmış dayanıma “izin verilen dayanım” veya “tasarım dayanımı” da denilmektedir. Bu çalışmada zemin mekaniği terminolojisiyle de uyumlu olması bakımından “izin verilen çekme dayanımı” ifadesi benimsenmiş ve “ T_a ” simgesiyle gösterilmiştir. Bu çalışmada, izin verilen çekme (tasarım) dayanımı (T_a) 100 kN/m, 150 kN/m, 200 kN/m, 250 kN/m ve 300 kN/m olan ekstrüde yöntemle üretilmiş tek yönlü geogridler kullanılmıştır.

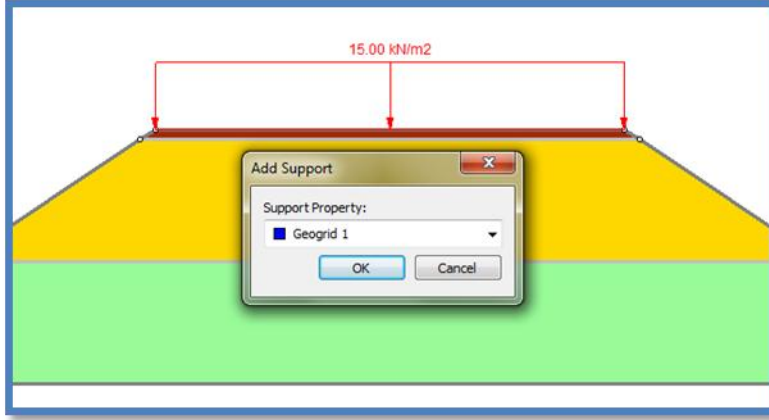
5. Geogridin modele eklenmesi

Bütün özellikleri programa tanıtılmış olan geogridin modele eklenmesi için menü çubuğundaki “Support” (destek) menüsünden “Add Support” (destek ekle) komutuna tıklanmıştır (Şekil 5.1). Eklenecek desteğin seçilmesi için ekrana gelen penceredeki listeden “Geogrid 1” seçilmiştir (Şekil 5.2).



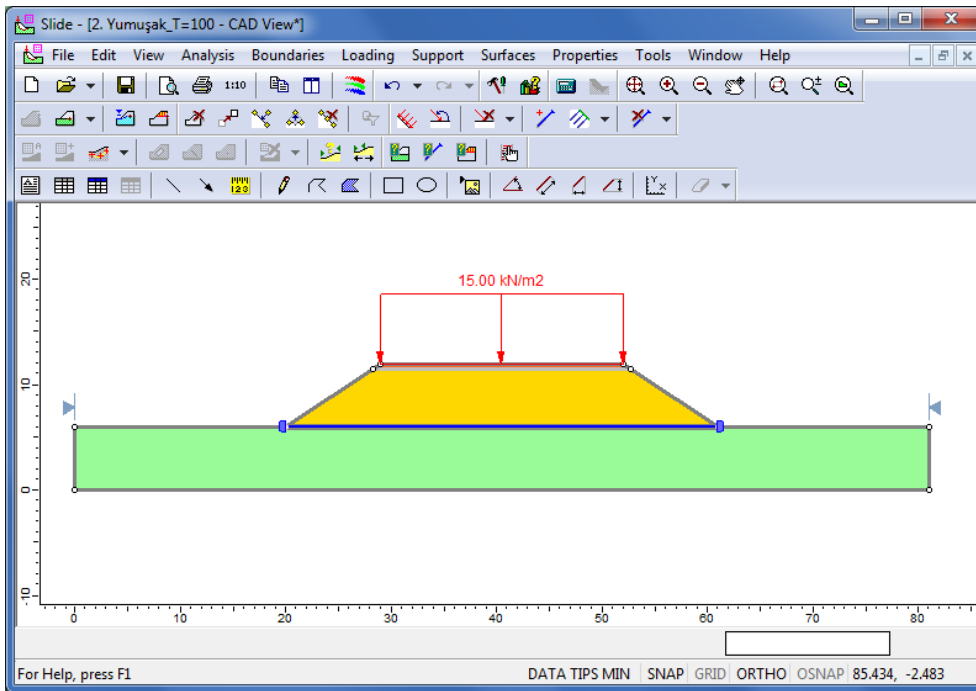
Şekil 5.1. Geogridin modele eklenmesi için “Add Support” komutuna girilmesi

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 5.2. Modele eklenecek olan geogridin listeden seçilmesi

Daha sonra farenin imleci kullanılarak veya sağ alt köşeden koordinat girme penceresi kullanılarak seçilen geogrid modele yerleştirilmiştir (Şekil 5.3). Bütün çözümlenelerde ilk geogrid daima dolgu tabanına (dolguyla zeminin ara yüzeyine) eklenmiş, çözümlenme sonucunda elde edilen güvenlik katsayısına göre, ya geogridin yeri değiştirilmiş ya da üstüne ikinci bir geogrid tabakası eklenmiştir. İki geogrid tabakası arasındaki mesafe en az 50 cm alınmıştır.

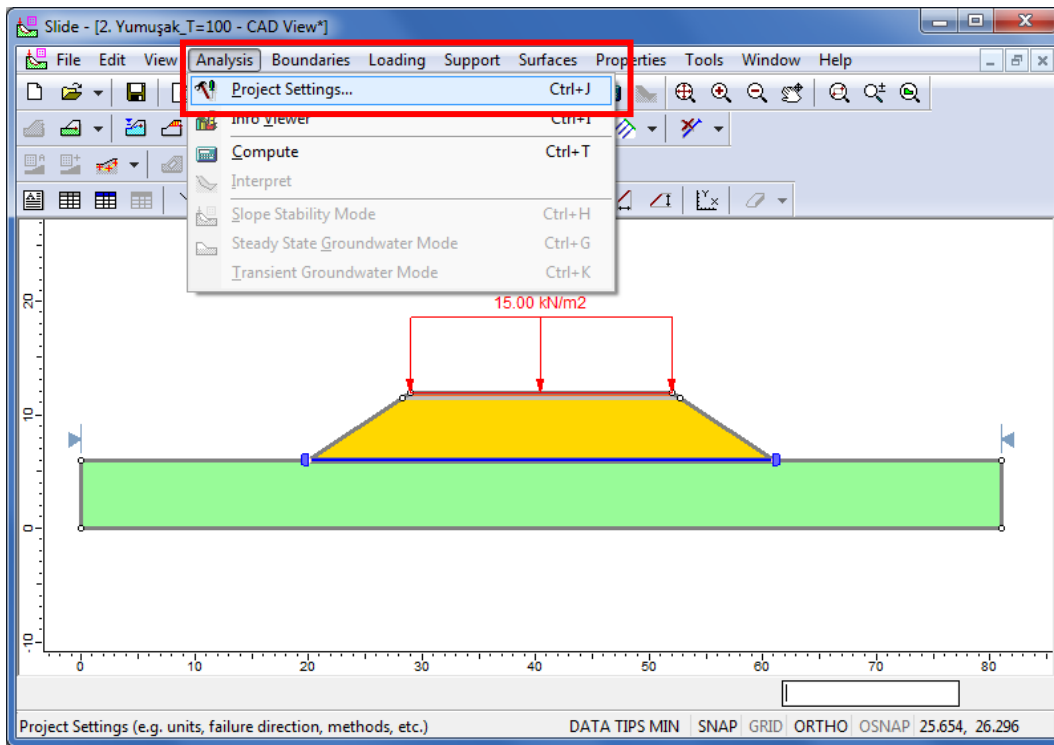


Şekil 5.3. Geogrid eklenmiş model

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

6. Çözümleme değişkenlerinin girilmesi

Çözümleme değişkenlerinin seçilmesi için “Analysis” menüsünden “Project Settings” komutuna girilmiştir (Şekil 6.1). Bu komut çalıştırıldığında açılan pencerenin sol tarafında liste halinde bulunan komut sekmelerinden bu çalışmada kullanılanların açıklamaları şöyledir;

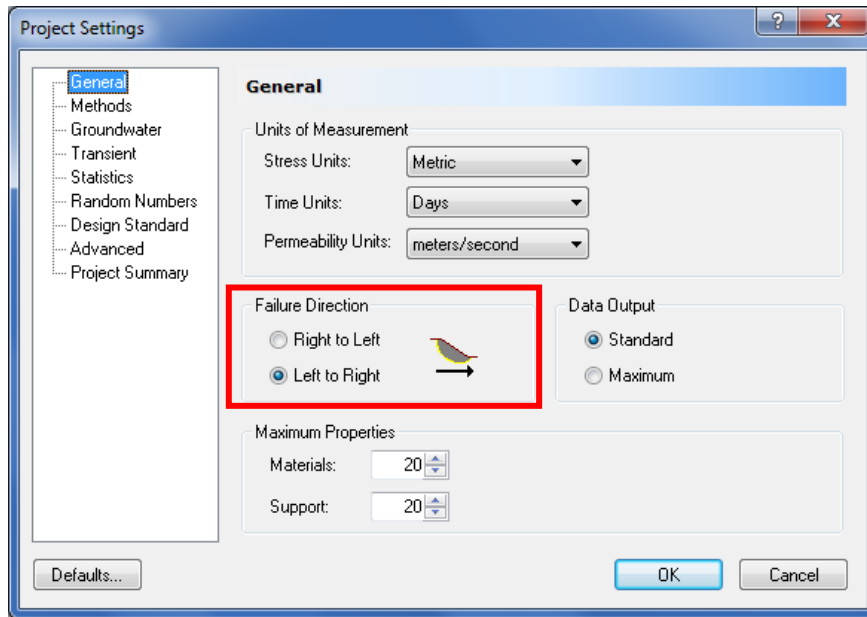


Şekil 6.1. Analiz yöntemi ve değişkenlerin seçilmesi için “Project Settings” komutuna girilmesi

6.1. “Genel” (General) Sekmesi

“Units of Measurement” (Ölçüm Birimleri) bölümünden “Stress Units” (gerilme birimi) “metrik” olarak değiştirilmiştir (Şekil 6.2). “Time Units” (zaman birimi) ve “Permeability Units” (permeabilite birimi) sonlu elemanlar kullanılarak yeraltı suyu çözümlenmesi yapılacağına gerekli olan parametreler olduğu için ve bu çalışmada bu tür çözümlenmeler yapılmayacağı için herhangi bir seçim yapılmamıştır.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 6.2. Analiz değişkenlerin seçilmesi

“Failure Direction” çözümlene yönü; çözümlenmenin “sağdan-sola” mı yoksa “soldan-sağa” mı yapılacağına belirlendiği bir seçenektir. Esasında simetrik bir modellerde çözümlene yönünün soldan sağa ya da sağdan sola olmasının sonuçlar açısından bir etkisi bulunmamaktadır (Rocscience, 2010). Bu çalışmada, çözümlene yönü için “soldan-sağa” (Left to Right) tercih edilmiştir.

“Data Output” (çıkış dosyası) alanındaki “Standard” ve “Maximum” seçenekleri, çözümlene bittikten sonra programın oluşturacağı çıkış dosyasıyla ilgilidir. “Standard” seçeneği seçilirse, program tarafından çıkış dosyasına sadece en küçük güvenlik katsayısını veren (global minimum) kayma dairesiyle ilgili bilgiler (kesme gerilmeleri, boşluk suyu basınçları, dilimler arası kuvvetler vb.), “Maximum” seçeneği seçilirse her bir grid noktasına karşılık gelen en küçük (yerel minimum) kayma dairesine ait bilgiler yazılmaktadır. Bu çalışmada çıkış dosyaları kullanılmayacağı için ve zaten en küçük güvenlik katsayısını veren en kritik durumdaki kayma dairesi dikkate alınacağından “Data Output” (çıkış dosyası) alanından “Standard” seçeneği seçilmiştir.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

“Maximum Properties” (en fazla özellik) alanı bir modelde en fazla kaç farklı malzeme ve destek elemanı kullanılacağına belirlendiği bir alandır. Varsayılan değeri 20’dir ve birçok proje için yeterlidir. Slide programı bir modelde en fazla 500 farklı malzeme ve destek elemanı kullanımını desteklemektedir. Bu çalışmada 3 farklı malzeme ve 5 farklı geogrid kullanılacağı için varsayılan değer olan 20 sayısı zaten yeterlidir. Bu nedenle bu alanda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

6.2. “Yöntemler” (Methods) sekmesi

“Methods” (yöntemler) bölümünde Slide programında bulunan limit denge yöntemlerinin listesi bulunmaktadır. Slide programında güvenlik katsayısının hesaplanması için bir ya da birden fazla yöntem seçilebilmektedir (Şekil 6.3). Çoğu durumda birbirine yakın sonuçlar veren bu yöntemleri birbirinden ayıran en önemli özellik dilimler arası kuvvetleri hesaba katış şekilleridir. Bazı limit denge yöntemleri güvenlik katsayısının hesaplanmasında sadece dilimlere etkiyen yatay ve düşey kuvvetlerin dengesini değerlendirmeye alırken, bazı yöntemler ise yatay ve düşey kuvvetlerin dengesini hesaplamakla birlikte belirli bir noktaya göre alınan moment denkleğini de hesaba katmakta ve iterasyonla bu iki denklemden elde edilen güvenlik katsayılarının eşitlenmesini sağlamaktadır (Işık vd., 2009). Slide programında sunulan yöntemlerden Spencer ve GLE (General Limit Equilibrium)/Morgenstern-Price yöntemleri hem kuvvetlerin dengesini hem de moment denkleğini dikkate alan ve bunlardan bulunan güvenlik katsayılarının iterasyonla eşitlenmesini sağlayan yöntemlerdir (Işık vd., 2009). GLE/Morgenstern-Price yönteminde dilimler arası kuvvet fonksiyonunun kullanıcı tarafından seçilmesine, ya da yeni bir fonksiyon girilmesine de olanak tanınmaktadır. Bu çalışmada, GLE/Morgenstern-Price yöntemiyle hemen hemen aynı sonucu verdiği için (Işık vd., 2009) ve kullanımı GLE/Morgenstern-Price yöntemine göre daha kolay olduğu için Spencer yöntemi tercih edilmiştir.

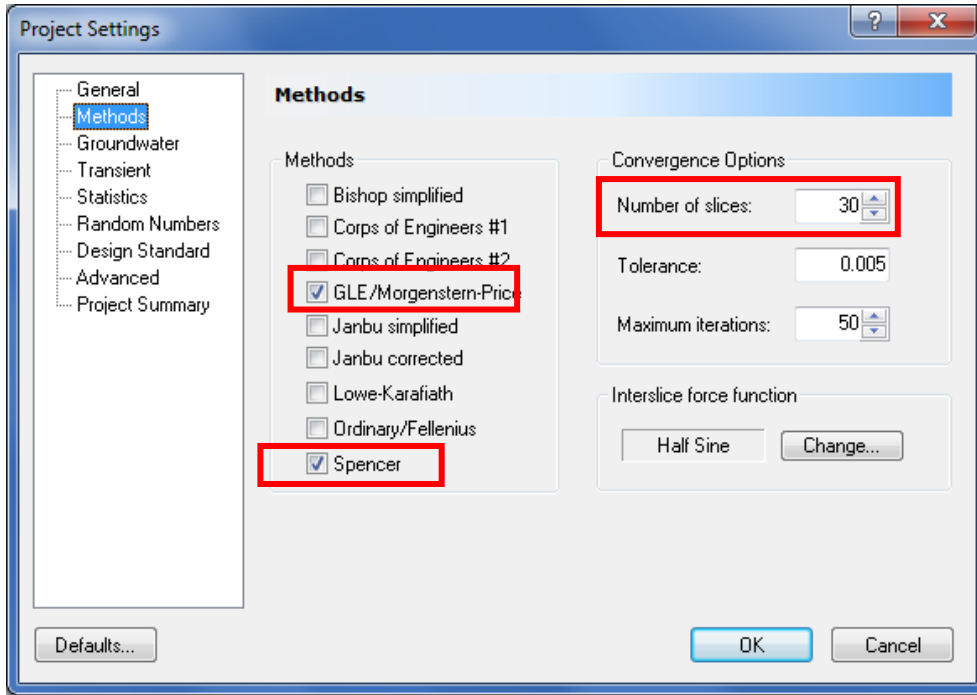
“Convergence Options” (Yakınsama seçenekleri) bölümünde güvenlik katsayısının hesaplanmasıyla ilgili seçenekler bulunmaktadır. Bunlardan “Number of slices” (dilim sayısı) güvenlik katsayısı hesaplanacak her bir kayma dairesi için kayan

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

kütlenin bölüneceği düşey dilim sayısının girileceği bir alandır. Varsayılan değer 25 olup çoğu problem için yeterli doğrulukta çözüm elde edilmesini sağlamaktadır (Rocscience, 2010). Çözüm hassasiyetinin artırılması için çok fazla (örneğin 100'den fazla) dilim sayısının girilmesi tavsiye edilmemektedir (Rocscience, 2010). "Tolerance" (müsaade edilen fark payı); iterasyon işleminin son bulması için kabul edilen hata payıdır. Herhangi bir kayma dairesi için ard arda yapılan iki iterasyonda güvenlik katsayıları arasındaki fark "Tolerance" değerine ulaştığında (ya da altına düştüğünde) güvenlik katsayılarının eşitlendiği kabul edilir ve o kayma dairesi için iterasyona son verilir. Rocscience (2010) tarafından, çok küçük tolerans değerlerinin hesaplama süresini uzatacağı ve yakınsama (convergence) sorunları meydana getireceği belirtilmekte ve "Tolerance" için varsayılan değer olan 0.005'in kullanılması tavsiye edilmektedir. "Maximum iterations"; her bir kayma dairesi için izin verilen en fazla iterasyon sayısıdır. Slide programında varsayılan değer 50 olmasına rağmen, birçok tipik problemde yakınsama için 3-4 iterasyon yeterli olmaktadır. Eğer herhangi bir kayma dairesi (örneğin) 20'den fazla iterasyon gerektiriyorsa, bu durum muhtemelen malzeme özelliklerinin programa hatalı girildiği anlamına gelmekte ve bu parametrelerin kontrol edilmesini gerektirmektedir (Rocscience, 2010).

Bu çalışmada "Convergence Options" alanındaki "Number of slices" (dilim sayısı) 30 yapılmış ve diğer seçenekler için program tarafından sunulan varsayılan değerler kabul edilmiştir (Şekil 6.3).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



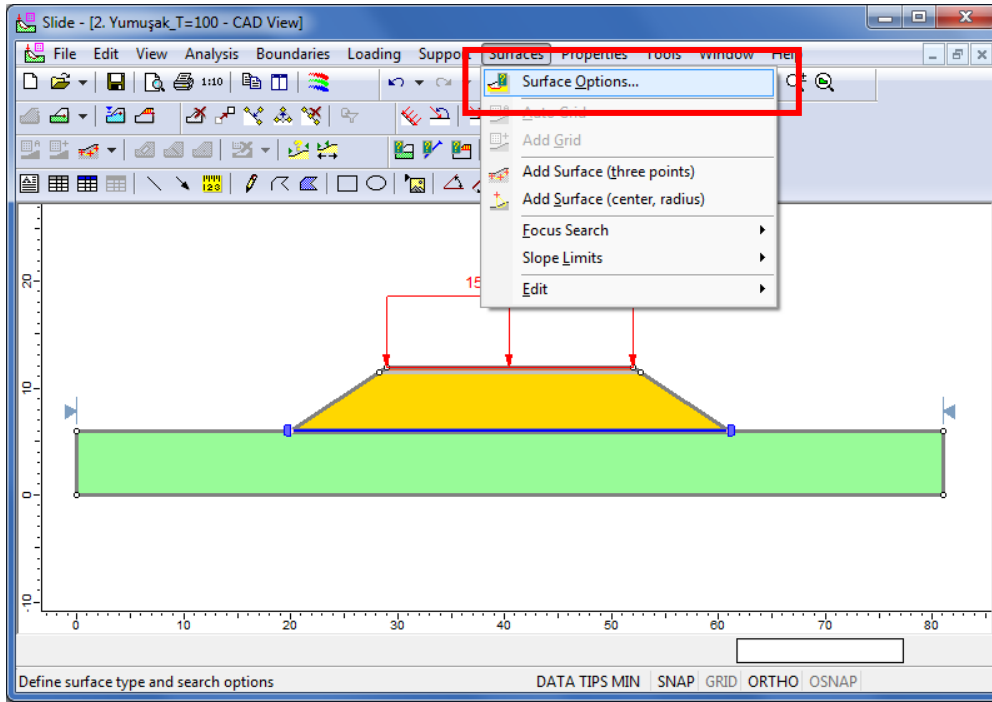
Şekil 6.3. Limit denge yönteminin ve ilgili parametrelerin seçilmesi

“Project Settings” penceresinin (Şekil 6.3) sol tarafındaki diğer komut sekmelerinin içinde bu çalışmada yapılan modellemeyle ilgili herhangi bir veri girişi ya da seçim yapılmasını gerektiren başka bir komut sekmesi bulunmadığından bu komut sekmelerinden bahsedilmemiştir.

6.3. Kayma yüzeyi özelliklerinin seçilmesi

Hesaplama aşamasına geçmeden önce son aşama olarak programa kayma yüzeyiyle ilgili değişkenlerin de girilmesi gerekmektedir. Bunun için ana menü çubuğunda bulunan “Surfaces” (yüzeyler) komutuna, buradan da “Surface Options” (yüzey özellikleri) komutuna tıklanmıştır (Şekil 6.4).

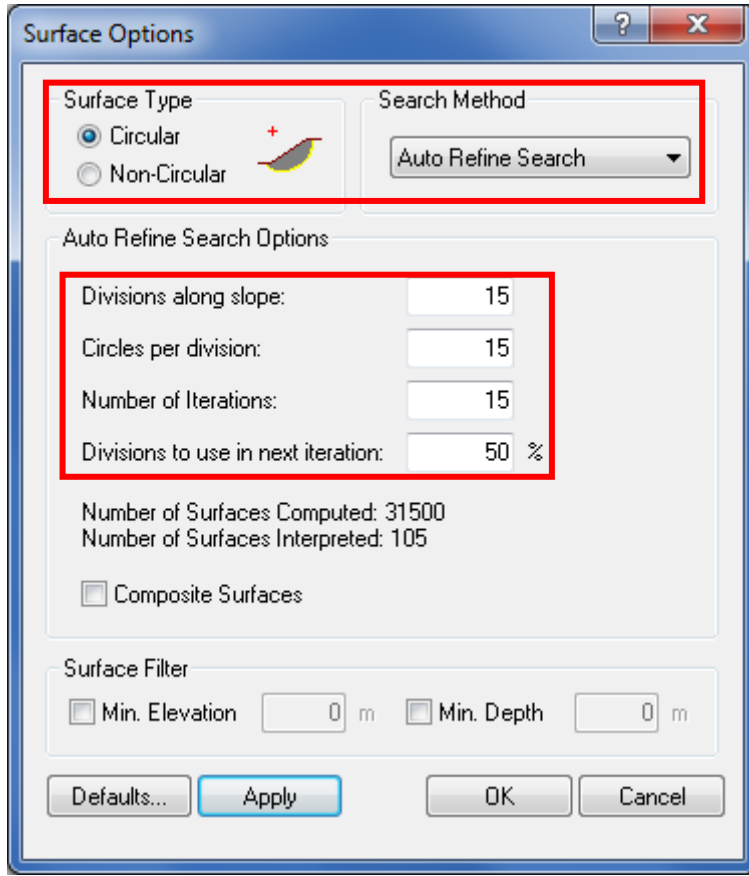
Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 6.4. Kayma yüzeyi ile ilgili özelliklerin belirlenmesi için “Surface Options” komutuna girilmesi

“Surface Options” (yüzey özellikleri) penceresindeki “Surface Type” (yüzey tipi) bölümünden kayma yüzeyinin şekli için “Circular” (dairesel), seçilebilmekte ya da “Non-Circular” (dairesel olmayan) seçeneği seçilerek farklı bir geometriye sahip kayma yüzeyi tanımlanabilmektedir (Şekil 6.5). Homojen malzemelerden oluşan ortamlarda genellikle dairesel kayma türü duraysızlık beklendiği için bu çalışmada Surface Type” (yüzey tipi) bölümünden “Circular” (dairesel) seçeneği seçilmiştir (Şekil 6.5).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 6.5. Kayma yüzeyi özelliklerinin seçilmesi

“*Search Method*” bölümünde en küçük güvenlik katsayısına sahip kayma dairesinin aranması için “*Grid Search*”, “*Slope Search*” ve “*Auto Refine Search*” olmak üzere üç yöntem bulunmaktadır. *Grid Search* seçeneğinde kayma dairelerinin merkezlerinin yer alacağı gridin yeri, büyüklüğü ve sıklığı kullanıcı tarafından tanımlanmakta ve merkezi bu grid noktalarında yer alan mümkün bütün dairelerin güvenlik katsayıları hesaplanmaktadır. *Slope Search* yönteminde şev içerisinde kayma dairelerinin geçeceği alan kullanıcı tarafından belirlenmektedir. “*Auto Refine Search*” yönteminde ise, en küçük güvenlik katsayısına sahip kayma dairesi program tarafından otomatik olarak aranmaktadır. *Auto Refine Search* yöntemi seçildiğinde kullanıcı tarafından girilmesi gereken bazı seçenekler bulunmaktadır. Bunlardan *Divisions along slope* her bir arama iterasyonunda şev yüzeyinin kaç parçaya bölüneceğini, *Circles per division* her bir parça çiftinin arasında kaç adet kayma dairesi oluşturulacağını, *Number of iterations* her bir aramada kaç iterasyon yapılacağını, *Divisions to use in next iteration* her bir parça

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

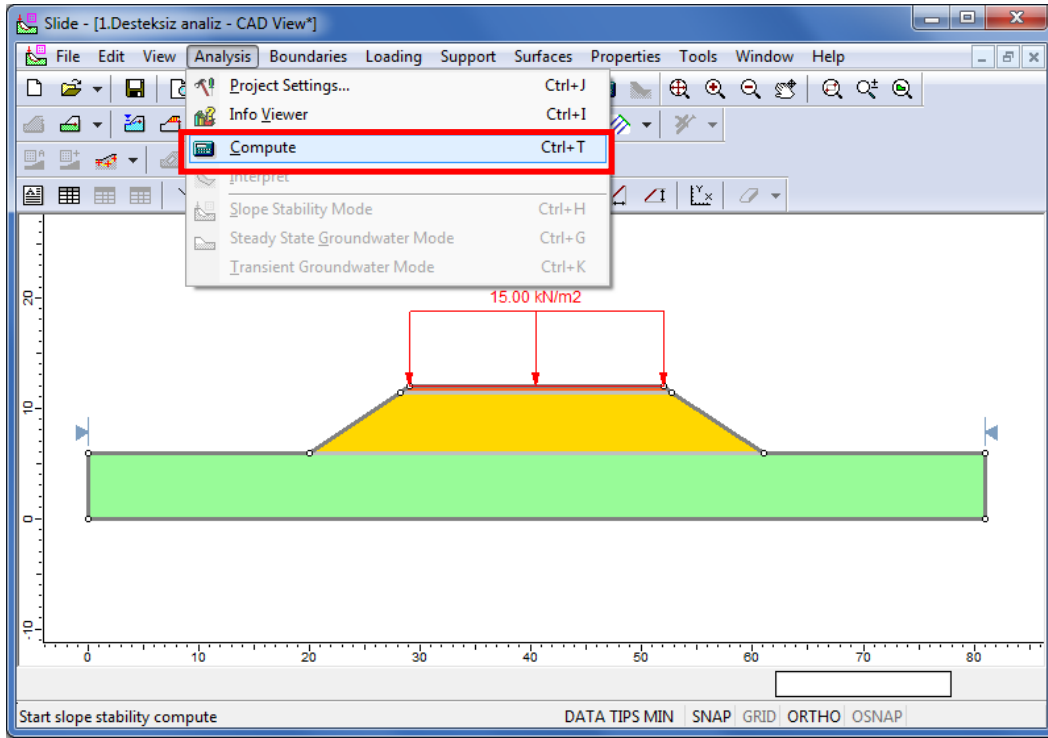
için ayrı ayrı güvenlik katsayısı hesaplandığında bu parçalardan en düşük güvenlik katsayısına sahip kaç parçanın bir sonraki iterasyonda kullanılacağını ifade eden seçeneklerdir.

Bu çalışmada program tarafından sunulan varsayılan değerler bir miktar artırılarak *Divisions along slope* için 15, *Circles per division* için 15, *Number of iterations* içinse 15 girilmiş, *Divisions to use in next iteration* için varsayılan değer %50 kabul edilmiştir (Şekil 6.5).

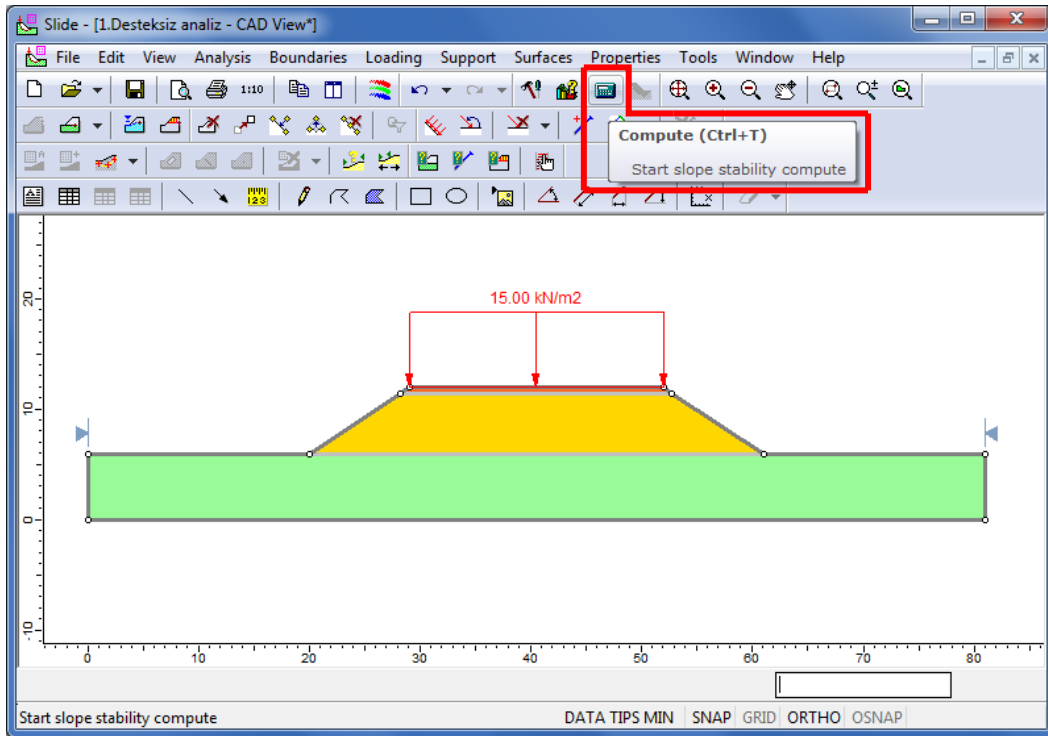
7. Sonuçların hesaplanması

Bu işlemler tamamlandıktan sonra ana menü çubuğunda bulunan “Analyses” (Analizler) menüsü içerisindeki “Compute” (Hesapla) komutuna tıklanmıştır (Şekil 6.6) (“*Compute*” Hesapla komutu araç çubuğundaki hesap makinesi simgesine (Şekil 6.7) tıklanarak da çalıştırılabilmektedir). Komut çalıştırıldığında değişikliklerin kaydedilip kaydedilmeyeceğini sormak için ekrana gelen penceredeki “Save” (Kaydet) veya “tamam” düğmesine tıklanarak hesaplama işlemi başlatılmıştır.

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 6.6. “Compute” (hesapla) komutunun “Analysis” menüsünden çalıştırılması

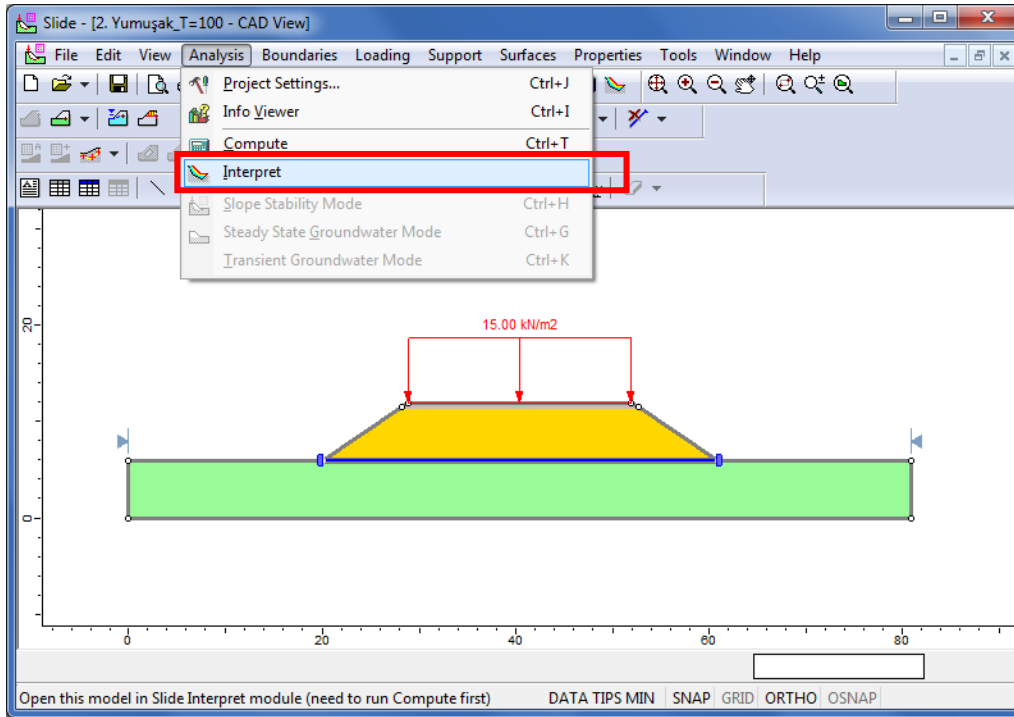


Şekil 6.7. “Compute” (hesapla) komutunun araç çubuğundaki simgesine tıklanarak çalıştırılması

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

8. Sonuçların görüntülenmesi ve yorumlanması

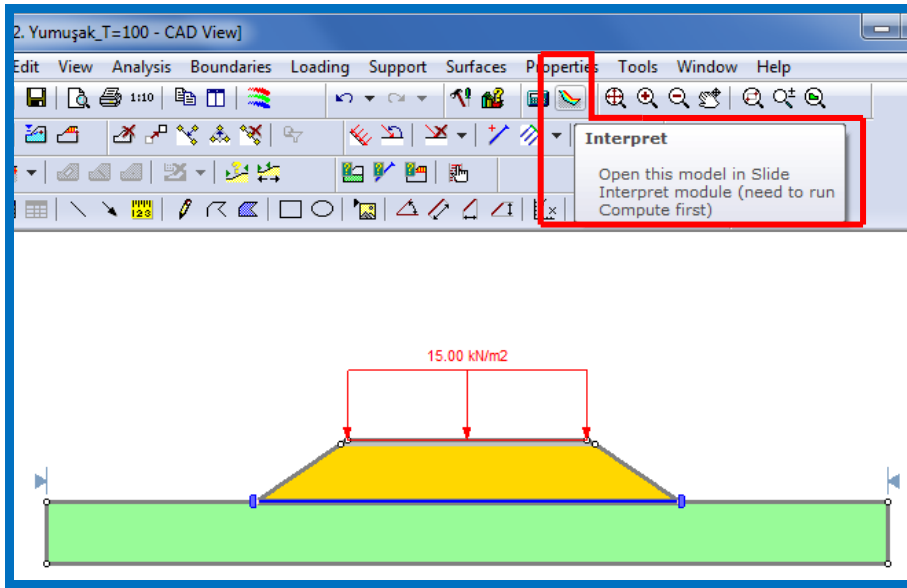
Slide programında sonuçların görüntülenmesi ve değerlendirilmesi “*interpret*” adı verilen farklı bir arabirim kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu arabirimin çalıştırılması için, “*Analyses*” (çözümlenmeler) menüsünde bulunan “*Interpret*” (yorumlama) komutuna (Şekil 8.1) veya araç çubuğunda bulunan *interpret* simgesine (Şekil 8.2) tıklanması gerekmektedir.



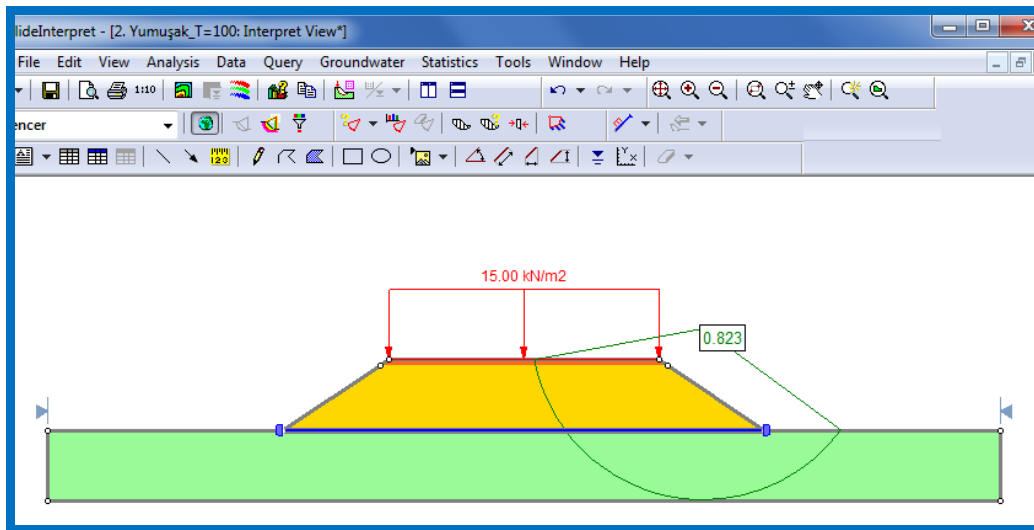
Şekil 8.1. “*interpret*” (yorumlama) komutunun “*Analysis*” menüsünden çalıştırılması

Interpret komutuna tıklandıktan sonra program tarafından farklı bir sayfa (arabirim) açılmış ve bu sayfa üzerinden çözümlenme sonuçları görüntülenmesi sağlanmıştır. Slide programı *interpret* sayfasında varsayılan olarak en küçük güvenlik katsayısını veren kayma dairesini görüntülemektedir (Şekil 8.3).

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 8.2. “interpret” (yorumlama) komutunun araç çubuğundaki simgesine tıklanarak çalıştırılması

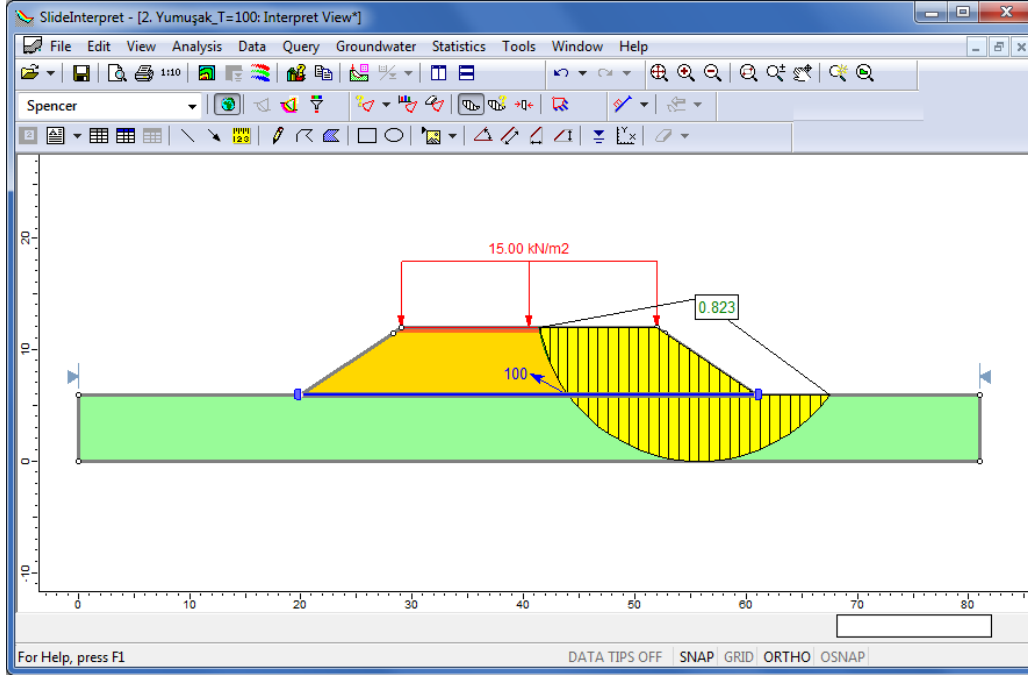


Şekil 8.3. *Interpret* sayfasından en küçük güvenlik katsayısına sahip kayma dairesinin görüntülenmesi

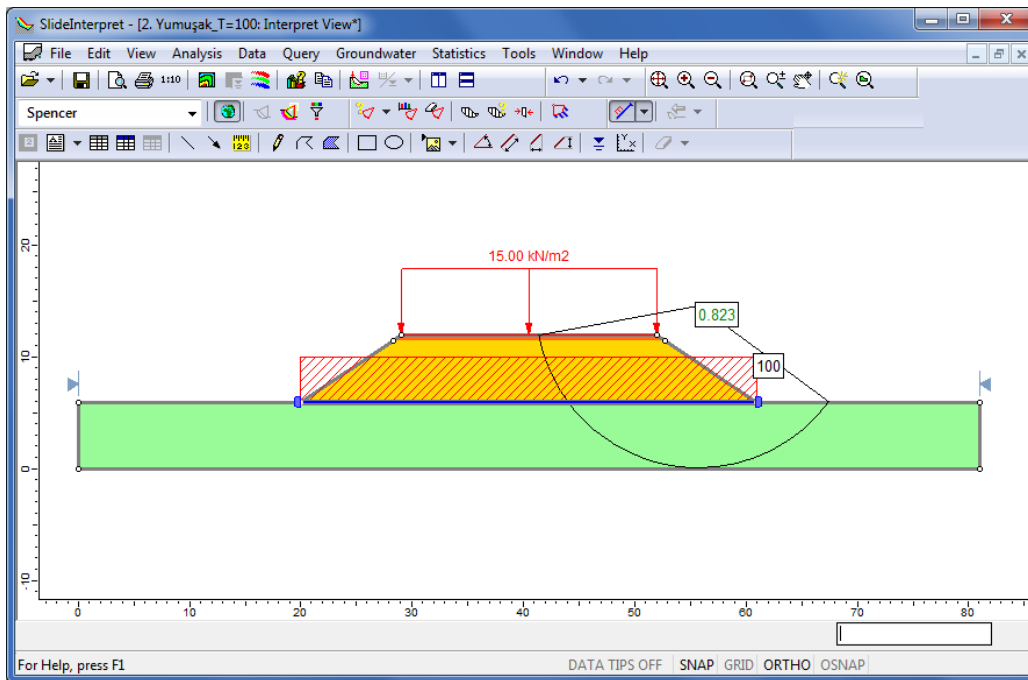
Interpret sayfasından kayma kütesinin bölündüğü dilimleri (Şekil 8.4), geogride etki eden kuvvetleri (Şekil 8.5), Slide tarafından çözümlenmesi yapılan tüm kayma dairelerini (Şekil 8.6), filtreleme seçenekleri uygulayarak programa girilen belli bir güvenlik katsayısından küçük kayma dairelerini (Şekil 8.7) vd. başka özellikleri de görüntülemek ve yorumlamak mümkündür. Bu çalışmada en küçük güvenlik

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması

katsayısına sahip kayma dairesi dikkate alındığı için diğer seçeneklere başvurulmamıştır.

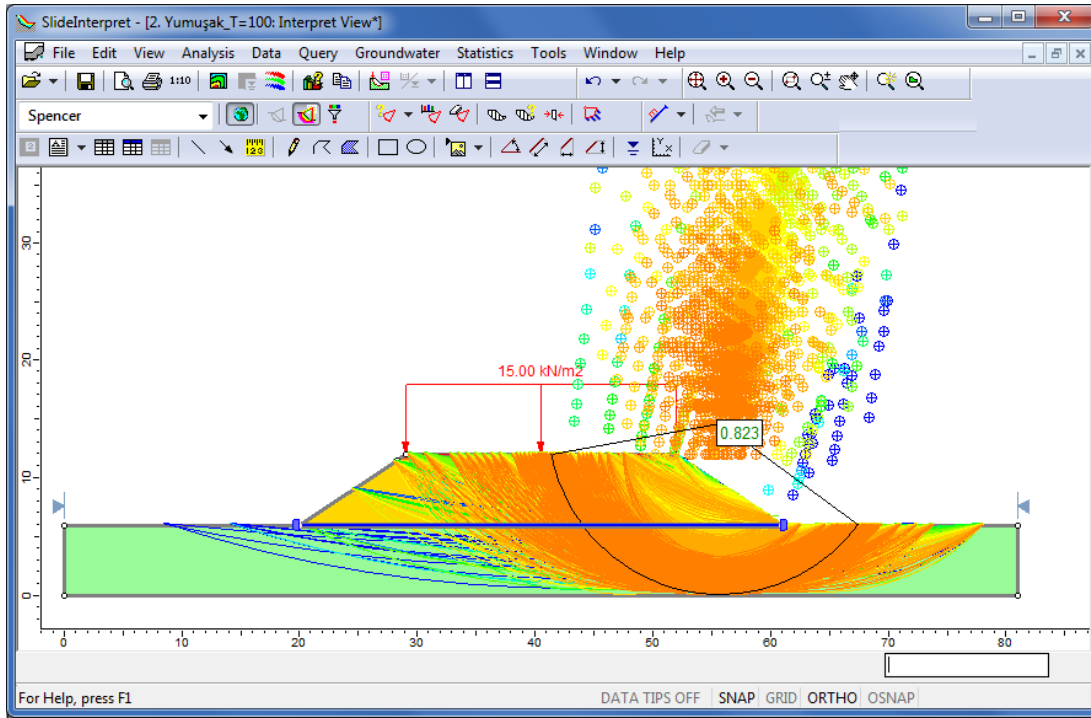


Şekil 8.4. *Interpret* sayfasından dilimlerin görüntülenmesi

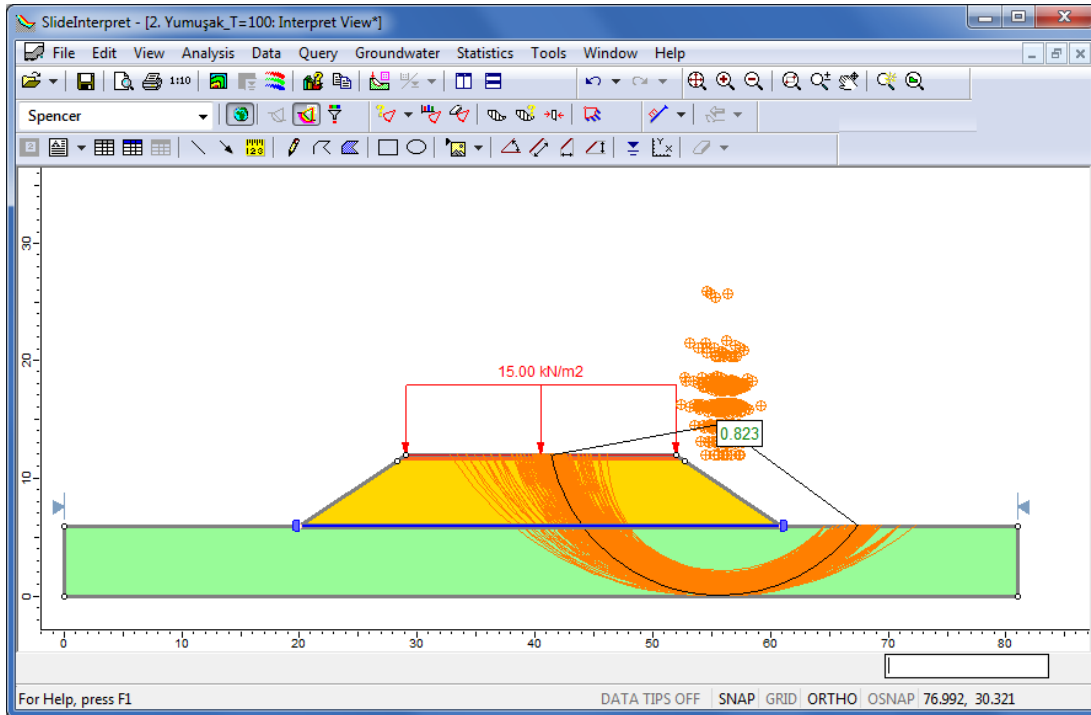


Şekil 8.5. *Interpret* sayfasından geogride gelen kuvvetlerin görüntülenmesi

Ek – 1. (devam) Modelin Slide programı ile oluşturulması



Şekil 8.6. *Interpret* sayfasından çözümlenmesi gerçekleştirilen bütün kayma dairelerinin görüntülenmesi



Şekil 8.7. *Interpret* sayfasından belli bir güvenlik katsayısından küçük kayma dairelerinin görüntülenmesi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇİÇEK, Cahit
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.02.1980, Kars
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 313 85 34
Faks : 0 (312) 313 85 25
e-mail : cahit_cicek34@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi	2007
Lise	Bağcılar Endüstri Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Devam ediyor	Türk Telekom	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Çiçek, C. ve Özer, M. (2014). Yol Dolgu Şevlerinin Geogrid Kullanılarak Güçlendirilmesi, *G6 Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul.

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol



GAZİ GELECEKTİR..