ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Zayıf Kayaçlar Üzerine Oturan Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Geçirimsizlik Hattının Analizi

Şerife Duygu BABACAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

Zayıf Kayaçlar Üzerine Oturan Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Geçirimsizlik Hattının Analizi

---

Şerife Duygu BABACAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 30/10/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / ~~Oy Çokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Recep YURTAL (Danışman) ……

: Prof. Dr. Hatice ÇAĞATAY ……

: Prof. Dr. Neslihan SEÇKİN ……

: Doç. Dr.Evren TURHAN ……

: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR ……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
SİMGELER VE KISALTMALAR XII
1.GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
2.1. Sentez ve Boşluk 3
2.2. Tezin Konumu 3
2.3. Fliş Serisi Sedimanter Zayıf Kayalar Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 3
2.3.1. Baraj Tasarım ve Güvenliği 4
2.3.2. Şev Stabilitesi/Duraylılığı 5
2.3.3. Jeomekanik Sınıflandırma Zorlukları ve Mukavemet Özellikleri 5
2.3.4. Tünel Açılması Sırasında Karşılaşılan Güçlükler 6
2.4. Beton Ağırlık Barajlarda Sızma Kontrolü Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 7
2.4.1 Baraj Gövdesinden Meydana Gelen Sızmalar 7
2.4.2. Baraj Temelinden Meydana Gelen Sızmalar 9
2.5. Geçirimsizlik Perdelerinde Bulamaç Hendeği Yöntemi ve Plastik Beton Kullanımı Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 10
2.5.1. Hendek Stabilitesi 10
2.5.2. Geri Dolgu Malzemesinin Özellikleri ve Davranışı 10
2.5.3. Sayısal ve Saha Tabanlı Yaklaşımlarla Sızma Analizi 11
2.5.4. Barajlarda Kullanımına Yönelik Uygulama Örnekleri 12
2.6. Geçirimsizlik Yapılarının Optimum Tasarımı ve Sayısal Modelleme Teknikleri Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 12
3. MATERYAL VE METOT 15
3.1. Sızma Analizinin Esasları 15
3.1.1. Darcy Kanunu 15
3.1.2. Laplace Denklemi 16
3.2. Tabakalı Zeminlerde Akım Ağı 18
3.3. Sınır Şartları 19
3.4. Sayısal Model 19
3.5. Sızma Analizi Metotları 20
3.5.1. Genel 20

3.5.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi 20
3.5.3. Sonlu Eleman Akım Denklemleri 21
3.5.4. Nümerik İntegrasyon 22
3.5.5. Hidrolik İletkenlik Matrisi 23
3.5.6. Akımın Sınır Vektörü 23
3.6. Sayısal Analiz Çalışmaları 25
3.7. Kavramsal Baraj Modeli 26
3.8. Sınır Şartları 26
3.9. Fliş Serisi Zayıf Sedimanter Ana Kaya Tabakalanması 27
3.10. Başlangıç Perde Derinliği 28
3.11. Hendek Genişliğinin Belirlenmesi 29
3.12. Malzeme Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi 30
3.12.1. Fliş Serisi Zayıf Sedimanter Kayayı Oluşturan Silttaşı ve Kumtaşının Hidrolik İletkenlik Değerleri 30
3.12.2. Plastik Beton Hidrolik İletkenlik Değeri 32
3.12.3. SSB Baraj Gövdesinin Hidrolik İletkenlik Değeri 33
3.13. Parametre Özet Tablosu 33
3.14. Analizlerde Kullanılan Farklı Tabaka Kalınlıklarına ve Silttaşı Yüzdelerine Ait Kesitler 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 43
4.1. Geostudio 12 ve Slide 6.0 ve Programından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçlarının Karşılaştırması 43
4.2. Senaryo-1 Sızma Analizi Sonuçları 43
4.2.1. Senaryo-1a Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları 43
4.2.2. Senaryo-1b Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları 52
4.2.3. Senaryo-1c Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları 61
4.3. Senaryo-2 Sızma Analizi Sonuçları 70
4.3.1. Senaryo-2a Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları 70
4.3.2. Senaryo-2b Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları 80
4.3.3. Senaryo-2c Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları 89
4.4. Optimum Perde Derinliğini Belirleme Kriterleri 98

4.5. Sızma Debisi Verimi Ortalamasına Ait Tablolar 99
4.5.1. Senaryo-1a 99
4.5.2. Senaryo-1b 100
4.5.3. Senaryo-1c 101
4.5.4. Senaryo-2a 102
4.5.5. Senaryo-2b 103
4.5.6. Senaryo-2c 104
4.6. 1. Kritere (Debi Verimliliği) Göre Perde Boyunun Belirlenmesi 105
4.6.1. Senaryo-1a 105
4.6.2. Senaryo-1b 106
4.6.3. Senaryo-1c 106
4.6.4. Senaryo-2a 107
4.6.5. Senaryo-2b 107
4.6.6. Senaryo-2c 108
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 111
5.1. Sonuçlar 111
5.2. Öneriler 114
5.2.1. Mühendislik Uygulamalarına Yönelik Öneriler 114
5.2.2. Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler 114
KAYNAKLAR 117
ÖZGEÇMİŞ 129
EKLER 131
EK-A1 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perde Derinliğindeki Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 133
EK-A2 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perde Derinliğindeki Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 134
EK-A3 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 135
EK-B1 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 136
EK-B2 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 137

EK-B3 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 138
EK-B4 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 139
EK-B5 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 140
EK-B6 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 141
EK-B7 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 142
EK-B8 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 143
EK-B9 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 144
EK-B10 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 145
EK-B11 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 146
EK-B12 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 147
EK-B13 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 148
EK-B14 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 149

EK-B15 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 150
EK-B16 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 151
EK-B17 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 152
EK-B18 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 153
EK-B19 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 154
EK-B20 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 155
EK-B21 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 156
EK-B22 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 157
EK-B23 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 158
EK-B24 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 159
EK-C1 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 160
EK-C2 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 161

EK-C3 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 162
EK-C4 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 163
EK-C5 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 164
EK-C6 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 165
EK-C7 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 166
EK-C8 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 167
EK-C9 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 168
EK-C10 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 169
EK-C11 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 170
EK-C12 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 171
EK-C13 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 172
EK-C14 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 173

EK-C15 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 174
EK-C16 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 175
EK-C17 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 176
EK-C18 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 177
EK-C19 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 178
EK-C20 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 179
EK-C21 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 180
EK-C22 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 181
EK-C23 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 182
EK-C24 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 183
EK-D1 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 184
EK-D2 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 185

EK-D3 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 186
EK-D4 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 187
EK-D5 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 188
EK-D6 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 189
EK-D7 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 190
EK-D8 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 191
EK-D9 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 192
EK-D10 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 193
EK-D11 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 194
EK-D12 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 195
EK-D13 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 196
EK-D14 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 197

EK-D15 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 198
EK-D16 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 199
EK-D17 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 200
EK-D18 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 201
EK-D19 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 202
EK-D20 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 203
EK-D21 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 204
EK-D22 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 205
EK-D23 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 206
EK-D24 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 207
EK-E1 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 208
EK-E2 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 209

EK-E3 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 210
EK-E4 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Goestudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 211
EK-E5 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 212
EK-E6 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 213
EK-E7 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda GeostudioProgramı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 214
EK-E8 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 215
EK-E9 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 216
EK-E10 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 217
EK-E11 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 218
EK-E12 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 219
EK-E13 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 220
EK-E14 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 221

EK-E15 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 222
EK-E16 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 223
EK-E17 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 224
EK-E18 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 225
EK-E19 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 226
EK-E20 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 227
EK-E21 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 228
EK-E22 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 229
EK-E23 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 230
EK-E24 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri 231

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Zayıf Kayaçlar Üzerine Oturan Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Geçirimsizlik Hattının Analizi

Şerife Duygu BABACAN

Danışman: Prof. Dr. Recep YURTAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Baraj temellerinde sızma kontrolü, hem güvenlik hem de işletme açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle fliş serisi gibi zayıf sedimanter kayaların oluşturduğu heterojen temel koşullarında geçirimsizlik yapılarının tasarımı daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu nedenle, baraj mühendisliğinde temel koşullara uygun ve güvenilir sızma analizleri ile geçirimsizlik sistemlerinin performansını değerlendirmek büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, fliş serisi sedimanter zayıf kaya üzerine oturan silindirle sıkıştırılmış beton barajlarda bulamaç hendeği yöntemiyle oluşturulacak geçirimsizlik hattı boylarının sonlu elemanlar analizleri aracılığıyla analizi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, sızma analizleri CAD tabanlı sonlu elemanlar yöntemine dayalı SEEP/W ve SLIDE paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı litolojik oranlar, tabaka kalınlıkları ve malzeme geçirimlilikleri dikkate alınarak geçirimsizlik perdesi boyu alternatifleri değerlendirilmiş; elde edilen sonuçlar her iki program özelinde karşılaştırılarak birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. %10 silttaşı oranına sahip kesitlerde geçirimliliğin ve toplam sızma debisinin diğer oranlara göre daha yüksek, %50 ile %70 silttaşı oranına sahip kesitlerde ise hem teknik hem de ekonomik açıdan perdelerin büyük oranda yeterli olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fliş formasyonu, sızma analizi, silindirle sıkıştırılmış beton ağırlık baraj, bulamaç hendeği, plastik beton.

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PhD THESIS

Analysis of the Seepage Impermeability Line of Roller-Compacted Concrete Dams Founded on Weak Rock Formations

Şerife Duygu BABACAN

Advisor: Prof. Dr. Recep YURTAL

Department of Civil Engineering

ABSTRACT

Seepage control in dam foundations is of critical importance for both safety and operational considerations. In particular, the design of impermeable structures becomes more complex under heterogeneous foundation conditions created by weak sedimentary rocks, such as those of the flysch sequence. Therefore, in dam engineering, it is essential to perform reliable seepage analyses and evaluate the performance of seepage control systems in accordance with the foundation conditions. This thesis aims to analyze the cutoff wall lengths to be constructed using the slurry trench method in roller-compacted concrete dams founded on weak sedimentary flysch formations through finite element analyses. In this context, seepage analyses were conducted using the CAD-based finite element programs SEEP/W and SLIDE. Different lithological ratios, layer thicknesses, and material permeabilities were considered to evaluate alternative cutoff wall lengths, and the results obtained from both programs were compared, showing close agreement. Sections with a 10% silt content exhibited higher permeability and total seepage, whereas sections with 50% to 70% silt content demonstrated that the cutoff walls were largely adequate from both technical and economic perspectives.

Keywords: Flysch formation, seepage analysis, rolled compacted concrete dam, slurry trench, plastic concrete.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgilerini benimle paylaşan değerli danışmanım Prof. Dr. Recep YURTAL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında yardımlarını ve zamanını benden esirgemeyen Arş. Gör. Seda SEVER'e ve manevi desteklerinden dolayı çalışma arkadaşım Y. İnş. Müh. Aynur Şafak ARİF'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan ve hayatımın her evresinde her türlü desteklerini ve sonsuz sevgilerini yanımda hissettiğim anneme, babama ve kardeşime en kalbi teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürde kullanılan yaklaşımların güçlü/zayıf yönleri ve bu tezin konumlanışı..... 3
Çizelge 3.1. Tek nokta üçgen eleman için örnek nokta konumları ve ağırlıklandırma..... 22
Çizelge 3.2. Üç noktalı üçgen eleman için örnek nokta konumları ve ağırlıklandırmaları..... 22
Çizelge 3.3 Kabul edilebilir eleman entegrasyon sıralamaları..... 22
Çizelge 3.4. Tabaka, silttaşı, kumtaşı kalınlıkları özet tablosu..... 28
Çizelge 3.5. Analizlerde kullanılan malzeme parametreleri özet tablosu..... 33
Çizelge 4.1. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 43
Çizelge 4.2. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 44
Çizelge 4.3. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 45
Çizelge 4.4. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 45
Çizelge 4.5. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 46
Çizelge 4.6. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 47
Çizelge 4.7. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 48
Çizelge 4.8. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 48
Çizelge 4.9. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 49
Çizelge 4.10. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 50
Çizelge 4.11. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 51
Çizelge 4.12. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 51
Çizelge 4.13. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 52
Çizelge 4.14. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 53

Çizelge 4.15. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 54
Çizelge 4.16. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 54
Çizelge 4.17. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 55
Çizelge 4.18. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 56
Çizelge 4.19. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 57
Çizelge 4.20. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 57
Çizelge 4.21. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 58
Çizelge 4.22. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 59
Çizelge 4.23. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 60
Çizelge 4.24. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 60
Çizelge 4.25. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 61
Çizelge 4.26. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 62
Çizelge 4.27. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 63
Çizelge 4.28. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 63
Çizelge 4.29. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 64
Çizelge 4.30. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 65
Çizelge 4.31. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 66
Çizelge 4.32. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 66

Çizelge 4.33. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 67
Çizelge 4.34. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 68
Çizelge 4.35. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 69
Çizelge 4.36. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 69
Çizelge 4.37. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 71
Çizelge 4.38. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri tablosu ve debi verimliliği tablosu..... 71
Çizelge 4.39. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 72
Çizelge 4.40. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 73
Çizelge 4.41. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 74
Çizelge 4.42. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 74
Çizelge 4.43. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 75
Çizelge 4.44. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 76
Çizelge 4.45. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 77
Çizelge 4.46. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 77
Çizelge 4.47. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 78
Çizelge 4.48. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 79
Çizelge 4.49. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 80
Çizelge 4.50. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 80

Çizelge 4.51. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 81
Çizelge 4.52. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 82
Çizelge 4.53. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 83
Çizelge 4.54. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 83
Çizelge 4.55. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 84
Çizelge 4.56. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 85
Çizelge 4.57. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 86
Çizelge 4.58. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 86
Çizelge 4.59. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 87
Çizelge 4.60. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 88
Çizelge 4.61. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 89
Çizelge 4.62. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 89
Çizelge 4.63. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 90
Çizelge 4.64. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 91
Çizelge 4.65. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 92
Çizelge 4.66. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 92
Çizelge 4.67. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 93
Çizelge 4.68. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu..... 94

Çizelge 4.69. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu 95
Çizelge 4.70. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu 95
Çizelge 4.71. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu 96
Çizelge 4.72. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu 97
Çizelge 4.73. Senaryo-1a ortalama debi verimliği tablosu 99
Çizelge 4.74. Senaryo-1b ortalama debi verimliği tablosu 100
Çizelge 4.75. Senaryo-1c ortalama debi verimliği tablosu 101
Çizelge 4.76. Senaryo-2a ortalama debi verimliği tablosu 102
Çizelge 4.77. Senaryo-2b ortalama debi verimliği tablosu 103
Çizelge 4.78. Senaryo-2c ortalama debi verimliği tablosu 104
Çizelge 4.79. Senaryo-1a perde boyu tablosu 106
Çizelge 4.80. Senaryo-1b perde boyu tablosu 106
Çizelge 4.81. Senaryo-1c perde boyu tablosu 107
Çizelge 4.82. Senaryo-2a perde boyu tablosu 107
Çizelge 4.83. Senaryo-2b perde boyu tablosu 108
Çizelge 4.84. Senaryo-2c perde boyu tablosu 108
Çizelge 5.1. Senaryo-1b optimum perde boyu tablosu 112
Çizelge 5.2. Senaryo-1c optimum perde boyu tablosu 112
Çizelge 5.3. Senaryo-2a optimum perde boyu tablosu 113
Çizelge 5.4. Senaryo-2b optimum perde boyu tablosu 113
Çizelge 5.5. Senaryo-2c optimum perde boyu tablosu 113
Çizelge 5.6. Geçirimsizlik perdesi tasarım kriterleri 115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Zeminde Geçirimlilik Deneyi 16
Şekil 3.2. Doymuş Geçirimli Zeminde X ve Z Yönlerindeki Akım Hız Bileşenleri 16
Şekil 3.3. Akım Çizgilerinin Farklı Hidrolik İletkenliğe Sahip Zeminlerden Geçişi..... 18
Şekil 3.4. SSB Barajda Sınır Şartlarının Gösterimi 19
Şekil 3.5. Hidrolik İletkenlik Matrisi Parametreleri..... 23
Şekil 3.6. Elementlerin Birim Kalınlığı 24
Şekil 3.7. Asimetrik Elementin Birim Radyan Kalınlığı 25
Şekil 3.8. Silindirle Sıkıştırılmış Baraj Geometrisi (uzunluklar m cinsindendir) 26
Şekil 3.9. Arazide ve Laboratuvarda Farklı Kumtaşı ve Siltaşı Oranlarındaki Heterojen Fliş Numuneleri 27
Şekil 3.10. Baraj Yüksekliğine Göre Enjeksiyon Perdesi Derinliği..... 29
Şekil 3.11. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 34
Şekil 3.12. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 34
Şekil 3.13. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 34
Şekil 3.14. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 35
Şekil 3.15. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 35
Şekil 3.16. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 35
Şekil 3.17. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 36
Şekil 3.19. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 36
Şekil 3.20. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 37
Şekil 3.21. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 37
Şekil 3.22. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 37
Şekil 3.23. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 38
Şekil 3.24. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 38
Şekil 3.25. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 38
Şekil 3.26. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 39
Şekil 3.27. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 39
Şekil 3.28. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 39
Şekil 3.29. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 40
Şekil 3.30. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 40
Şekil 3.31. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 40
Şekil 3.32. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 41
Şekil 3.33. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 41
Şekil 3.34. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)..... 41

Şekil 4.1. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 44
Şekil 4.2. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 46
Şekil 4.3. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 47
Şekil 4.4. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 49
Şekil 4.5. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 50
Şekil 4.6. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 52
Şekil 4.7. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 53
Şekil 4.8. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 55
Şekil 4.9. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 56
Şekil 4.10. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 58
Şekil 4.11. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 59
Şekil 4.12. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 61
Şekil 4.13. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 62
Şekil 4.14. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 64
Şekil 4.15. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 65
Şekil 4.16. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 67
Şekil 4.17. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 68
Şekil 4.18. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 70
Şekil 4.19. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 72
Şekil 4.20. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 73
Şekil 4.21. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 75
Şekil 4.22. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 76
Şekil 4.23. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 78
Şekil 4.24. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 79
Şekil 4.25. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 81
Şekil 4.26. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 82
Şekil 4.27. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 84
Şekil 4.28. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 85
Şekil 4.29. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 87
Şekil 4.30. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 88
Şekil 4.31. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 90
Şekil 4.32. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 91
Şekil 4.33. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 93
Şekil 4.34. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 94
Şekil 4.35. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 96
Şekil 4.36. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması 97
Şekil 4.37. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında) 100

Şekil 4.38. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 100
Şekil 4.39. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 100
Şekil 4.40. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında) 101
Şekil 4.41. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 101
Şekil 4.42. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 101
Şekil 4.43. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında) 102
Şekil 4.44. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 102
Şekil 4.45. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 102
Şekil 4.46. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında) 103
Şekil 4.47. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 103
Şekil 4.48. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 103
Şekil 4.49. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10 Tabaka Kalınlıklarında) 104
Şekil 4.50. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 104
Şekil 4.51. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 104
Şekil 4.52. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında) 105
Şekil 4.53. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında) 105
Şekil 4.54. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında) 105

SİMGELER VE KISALTMALAR

GSI : Geological Strength Index (Jeolojik Dayanım İndeksi)
DEM : Discrete Element Method (Ayrışık Elemanlar Yöntemi)
RMR : Rock Mass Rating (Kaya Kütle Oranı)
TBM : Tunnel Boring Machine (Tünel Açma Makinesi)
Q : Debi (m^3/s)
EM : Engineering Manual (Mühendislik Klavuzu)
SSB : Silindirle Sıkıştırılmış Beton
SEEP/W : Seepage Analysis
SLIDE : Slope Stability Limit Equilibrium
FLAC : Fast Lagrangian Analysis of Continua
PLAXIS : Plane Strain and Axial Symmetry
AUTOCAD : Computer Aided Design(Bilgisayar Destekli Tasarım)
USBR : United States Bureau of Reclamation (ABD Islah Bürosu)
FEM : Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
FEMA : Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
ICOLD : International Commission on Large Dams (Uluslarasası Büyük Barajlar Komisyonu)
USSD : United States Society on Dams(Amerikan Barajlar Birliği)
ACI : Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute).
3D : Three Dimension (Üç boyutlu)
q : Seepage Rate (Sızma oranı)
K : Coefficient of Hydraulic Conductivity (Hidrolik İletkenlik Katsayısı)
H : Water Head (Su Yüksekliği)

1.GİRİŞ

Barajlar, vadilerin kapatılması yoluyla yüzey sularının depolanmasını sağlayan büyük ölçekli mühendislik yapılarıdır. Barajların sulama suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi, içme, kullanma ve endüstri su ihtiyacının karşılanması ile yerleşim alanları ve tarım arazilerinin taşkın riskine karşı korunması gibi pek çok işlevi bulunmaktadır. Barajlar, gövde inşasında kullanılan malzeme türüne bağlı olarak dolgu barajlar, beton barajlar ve karma tip barajlar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Sızma en basit şekliyle rezervuardaki suyun barajın memba kısmından mansap tarafına doğru zemin içerisindeki hareketi olarak tanımlanır. Tüm baraj tiplerinde gövde, temel, yamaçlar ve rezervuardan meydana gelen sızmaların önüne geçilememesi veya kabul edilebilir sınırlara çekilememesi durumunda yapı güvenliği tehlikeye düşecek ve rezervuarda barajın yapılma amacına uygun yeterli miktarda su depolanamayacaktır. Bu nedenlerle henüz projelendirme aşamasında iken sızmaların en aza indirilmesi ve yapıya zarar vermeden uzaklaştırılması için gerekli tedbirlerin alınmasına çalışılmalıdır.

Toprak dolgu barajlarda şev stabilite analizleri öncesinde işletme ve ani boşalma durumları için freatik hattı belirlemek için dolguda, baraj temelinin sızma durumunun incelenmesi amacıyla da temelde sızma analizleri yapılır. Beton barajlarda ise perde enjeksiyonu inşasındaki amaçlar baraj temelindeki tabakalanma, eklem, çatlak, makaslanma ve fay gibi zayıflık düzlemleri vasıtasıyla oluşabilecek kaçak miktarını azaltmak, kaçakların neden olacağı erozyonu kabul edilebilir düzeye indirmek, alttan kaldırma basıncını azaltmak oturmalara mani olmak şeklinde sıralanabilir (2. Barajlar Kongresi, Beton Barajlar Tasarım İlkeleri, 2014). Sızma analizleri genellikle sonlu elemanlar metodunu kullanan ve suyun akışını modelleyebilen yazılımlar ile yapılır (2. Barajlar Kongresi, Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, 2014). Bu analizlerde arazide yapılan jeolojik ve jeoteknik çalışmalar sonucu elde edilen veya literatürde yer alan malzeme parametreleri kullanılır.

Baraj temelinde meydana gelen sızmanın önlenmesi için saplama hendekleri (bulamaç hendekleri, palplanş kazık perdeleri, memba kil örtüleri, yatay drenaj halıları ve filtreler, topuk drenleri ve drenaj hendekleri, basınç kırıcı kuyular ve mansapta sızma palyeleri, enjeksiyon perdeleri, geçirimsiz örtüler, drenaj ve enjeksiyon galerileri gibi birçok yöntem bulunmaktadır (Sungur, 1997). Sızma miktarının azaltılması için hangi yöntemin kullanılacağına emniyet ve maliyet açısından gerekli değerlendirilme yapılmak suretiyle karar verilir.

Bu tez çalışmasında fliş serisi sedimanter zayıf kaya üzerine oturan beton ağırlık barajda slurry wall (bulamaç plastik beton duvar) ile teşkil edilecek geçirimsizlik hattı boylarının optimizasyonu sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan Geostudio 12 ve Slide 6.0 paket programlarıyla iki boyutlu kararlı durum analizleri yapılmış ve farklı perde boylarında temelde meydana gelen sızma miktarları birbiri ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyum içerisinde olduğu gösterilmiş ve literatürdeki kabul edilebilir sızma değerlerini sağlayan optimum

perde boyu belirlenmiştir. Tez kapsamında temel kayanın tabakalanması (silttaşı-kumtaşı ardalanması) silttaşı-kumtaşı farklı oranlarda (1:5, 1:1, 3:1, 5:1'e eşit) alınarak modellenmiş ve 1728 adet analiz yapılmıştır. Sonuç olarak fliş formasyonundaki litolojik oran, tabaka kalınlığı ve malzeme geçirgenliğinin değişimine bağlı olarak optimum perde boyları tespit edilerek literatüre katkıda bulunulmuştur.

Özetle bu tez çalışması aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- 2. bölümde, tez konusunu oluşturan fliş formasyonu, beton baraj, bulamaç hendeği ve sayısal analiz yöntemlerini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.
- 3. bölümde, sırasıyla kararlı halde sızma problemini idare eden denklemler açıklanmış, paket programlar tanıtılmış ve analizlerin yapılması için izlenilen yöntem anlatılmış gerekli olan malzeme parametreleri ile model kesitlerine yer verilmiştir. Devamında sonlu elemanlar yöntemini kullanılan iki farklı paket programla analiz yapılarak kavramsal model üzerinde kararlı halde temel kayasının farklı silttaşı-kumtaşı oranları, tabaka kalınlıkları ve geçirimlilik parametrelerinde ve perde derinliklerinde baraj temelinde meydana gelen sızma miktarı hesaplanmıştır.
- 4. bölümde; sonuçlar karşılaştırmalı olarak çizelgelerle sunulmuştur. Farklı silttaşı-kumtaşı oranları, tabaka kalınlıkları ve geçirimlilik parametrelerinde zayıf fliş serisi sedimanter temel kayasında uygulanacak optimum perde boyları belirlenmiştir.
- 5. bölümde ise analizlerden elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Sentez ve Boşluk

Mevcut çalışmaların önemli kısmı ya tekil saha vakalarına ya da homojen zemin varsayımına dayanmakta olup fliş gibi ardalanmalı kaya ortamlarında parametrik derinlik analizi nadiren ele alınmıştır. Bu tez, söz konusu boşluğu çok senaryolu sonlu elemanlar analizleri ve genelleştirilebilir tasarım kriterleri ile doldurmayı amaçlamaktadır.

2.2. Tezin Konumu

Literatürde, fliş formasyonlarında litolojiye bağlı perde derinliği ile plastik betonun hidrolik iletkenliğinin perde boyuna etkisini birlikte inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Bu tez, parametrik sonlu eleman analizleriyle bu etkileşimi değerlendirerek, fliş serisi sedimanter zayıf kayaçlarda geçirimsizlik performansını etkileyen başlıca parametreleri ortaya koymaktadır. Literatürde kullanılan yaklaşımların zayıf/güçlü yönleri ve bu tezin konumlanışı Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürde kullanılan yaklaşımların güçlü/zayıf yönleri ve bu tezin konumlanışı

Yaklaşım	**Tipik Kullanım**	**Güçlü Yön**	**Sınırlılık**	**Bu Tezle İlişki**
Analitik çözümler	Basitleştirilmiş sızma problemleri	Hızlı ve açıklayıcı	Heterojen kaya için yetersiz	Parametrik FEM sonuçlarını kontrol amaçlı
2B FEM (SEEP/W vb.)	Kesit bazlı sızma	Senaryo çeşitliliği	3B süreksizlik ağını tam temsil etmez	Çoklu litoloji–iletkenlik kombinasyonlarında ana araç
3B FEM/DEM	Karmaşık jeoloji	Gerçekçi geometri	Yüksek veri/hesap maliyeti	Gelecek çalışmalar için öneri
Makine Öğrenmesi	Hızlı öngörü	Anında kestirim	Veri ihtiyacı yüksek	Hızlı tasarım için potansiyel

Bu bölümde, literatürdeki boşlukların belirlenmesi ve tez konusunu oluşturan temel bileşenlere ilişkin güncel çalışmaların ortaya konulması amacıyla, özgün uygulamaları da kapsayan bir literatür taraması yapılmış ve elde edilen bulgular tematik başlıklar altında özetlenmiştir.

2.3. Fliş Serisi Sedimanter Zayıf Kayalar Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Fliş, kumtaşı ve ince daneli (pelitik) katmanların ardalanmasıyla karakterize edilir ve ayrıca konglomera tabakası içerebilir (Marinos ve Hoek, 2001). Fliş formasyonları genel olarak aşırı derecede makaslanmış ve kaotik kütleler üretebilen, düşük mukavemetli ve tektonik olarak örselenmiş yapıların varlığında güçlü heterojenlik ile temsil edilir. Fliş kaya kütleleri, kumtaşı ve

silttaşı katmanlarından (bozulmamıştan kıvrımlıya kadar) ve kaya kütlesinin orijinal yapısının artık fark edilemediği güçlü kesmeye maruz kalan, doğası gereği zayıf malzemelerden oluşabilir (Marinos, 2014). Genellikle zayıf özellikleri ve jeoteknik karakterizasyonuyla ilgili belirsizlikler nedeniyle fliş, mühendislik projelerinin tasarımı ve inşası konusunda sıklıkla sorunlara veya zorluklara neden olur (Marinos,2020).

Mevcut literatür incelendiğinde, fliş serisi kayaların mekanik ve hidrojeoteknik davranışının baraj yapılarına etkilerinin oldukça sınırlı şekilde ele alındığı görülmüştür. Bununla birlikte fliş formasyonlarının mühendislik özelliklerine dair çalışmaların ağırlıklı olarak şev stabilitesi problemleri, jeomekanik sınıflandırma zorlukları ve tünel açılması esnasındaki davranışları bağlamında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

2.3.1. Baraj Tasarım ve Güvenliği

Dounias ve Papageorgiou (2001) çalışmalarında fliş kaya üzerine oturtulan, kil çekirdekli ve gövde dolgusu fliş kayadan oluşan 126 m yüksekliğindeki Evinos dolgu barajının davranışını, inşaat sürecinde ve sonrasındaki üç yıllık dönemde ölçüm aletleriyle izlemiş ve baraj dolgusunun kararlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Marinos ve ark (2011) kumtaşı ağırlıklı (%70–90), silttaşı ağırlıklı (%70–90) ve kumtaşı ile silttaşının yaklaşık eşit oranda (%50–50) bulunduğu üç farklı litolojideki fliş serisi sedimanter kayada, geçirimliliğin derinlikle değişimini ve bu durumun perde boyuna etkisini incelemişlerdir. Formasyonun farklı litolojik tipleri için geçirgenliğin ortalama değerlerindeki farkların önemsiz olduğu, kumtaşı ağırlıklı litolojinin diğer iki litolojiye göre daha geçirimli olduğu ve formasyonun jeolojik geçmişinin bir sıkıştırma tektonik sürecini içermesi durumunda perde boyunun iki katına çıkabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Marinos (2022) çeşitli baraj projelerinde enjeksiyon perdesi derinliğinin, temel kayasını oluşturan fliş birimlerinin litolojik bileşimi ve tabakalanma özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini belirtmiştir. Örneğin, eşit kalınlıktaki silttaşı–kumtaşı ardalanmasına sahip 126 m yüksekliğindeki Mornos Barajı'nda perde derinliği 100 m'yi aşarken, aynı özellikteki temele oturan 97 m yüksekliğindeki Kastraki Barajı'nda 50 m; daha kalın kumtaşı ve ince silttaşı katmanlarından oluşan 107 m yüksekliğindeki Pournari Barajı'nda 60 m, yüksek oranda kil şistleri içeren 67 m yüksekliğindeki Gadouras Barajı'nda ise yalnızca 10 m olarak uygulandığını açıklamıştır.

Bu örnekler, geçirimsizlik perdesi derinliğinin yalnızca baraj yüksekliğine bağlı olmadığını; aynı zamanda temel kayaçların litolojik bileşimi, tabaka kalınlığı, yapısal bozulma durumu ve geçirimlilik özellikleriyle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, geçirimsizlik perdesi tasarımında, fliş serisi sedimanter kayaların tabaka özellikleri ve katmanların litolojik yapısı gibi parametrelerin ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi, perde boyunun doğru şekilde optimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2.3.2. Şev Stabilitesi/Duraylılığı

Fliş formasyonları, tabakalı yapıları ve zayıf litolojik bileşenleri nedeniyle özellikle yüzeysel şevlerde ve kazı alanlarında stabilite sorunlarına neden olabilmektedir. Kumtaşı, silttaşı ve şeyl gibi litolojilerin ardalanmasıyla oluşan bu formasyonlar, dayanım parametrelerinde değişkenlik sergilemekte ve süreksizlik yüzeyleri boyunca akma eğilimleri göstermektedir. Bu durum, şev stabilitesinin sağlanmasında mühendislik açısından önemli zorluklar yaratmaktadır.

Literatürde birçok araştırmacı, özellikle eğimli arazilerde yer alan fliş birimlerinin, yüksek yağış dönemlerinde geçici ya da sürekli şev stabilite problemlerine neden olabileceğini vurgulamıştır (Tavoularis ve ark., 2017; Zydroń ve ark., 2022). Fliş litolojilerinde gerçekleştirilen şev stabilitesi çalışmalarında; aşınma, heterojenlik, zemin parametrelerinin dağılımı ve yeraltısuyu seviyesinin dikkate alınması gerektiğine çeşitli araştırmacılar dikkat çekmiştir. Bu kapsamda, (Sestonović ve ark., 1994; Azañón ve ark., 2010; Cano ve Thomas, 2015; Sattler ve Paraskevopoulou, 2019; Ersöz ve Topal, 2018; Klimeš ve ark., 2009; Peranić ve ark., 2019; Peranić ve ark., 2020; Prodan ve ark., 2016; Prodan ve Arbanas, 2020; Ersöz, 2019; Del Fabbro ve ark., 2024; Djerbal ve ark., 2024) tarafından yapılan çalışmalar bu durumu ortaya koymaktadır. Bazı çalışmalar, güçlendirilmiş fliş kaya şevlerine yönelik destekleme sistemlerinin sayısal analizlerine odaklanmıştır. Yürüttükleri sayısal analizleri sahadan elde edilen izleme verileriyle karşılaştırarak şev stabilitesine yönelik mühendislik önerileri sunmuşlardır (Arbanas ve ark., 2008; Kogut ve ark., 2018).

Petkovšek ve Majes (2012) fliş formasyonlarının geri dolgu malzemesi olarak kullanıldığı sahalarda, sert kil/yumuşak kaya karakterindeki zeminlerin davranışını değerlendirmişlerdir. Yerinde ve laboratuvar testlerine dayalı olarak gerçekleştirdikleri istinat yapısı analizlerinde, özellikle kil içeriği yüksek dolgularda su içeriğinin deformasyon üzerinde belirleyici bir parametre olduğunu ve bu durumun beklenenden daha büyük deformasyonlara yol açtığını ortaya koymuşlardır.

Schuster (2006) ise çeşitli baraj projelerinden sunduğu vaka incelemelerinde, yumuşak kaya şevlerinde karşılaşılan stabilite problemlerini ve uygulanan iyileştirme yöntemlerini ele almıştır. Örneğin, Çek Cumhuriyeti'ndeki Slezská Harta Barajı'nda şeyl birimlerine ait şevlerde meydana gelen hareketlerin kazı, drenaj ve destekleme uygulamalarıyla kontrol altına alındığı; ABD'deki Fruitgrowers Barajı'nda sol sahilde gelişen şist kaynaklı hareketlerin izlenmesine rağmen stabilite açısından ciddi bir sorunun tespit edilmediği; Oahe Barajı'nda ise inşaat sürecinde meydana gelen şeyl kökenli kaymaların kayan malzeme ile oluşturulan topuk dolgusu aracılığıyla kontrol altına alındığı raporlanmıştır. Bu örnekler, baraj yapılarında yumuşak sedimanter kaya birimlerine sahip şevlerde stabilite problemlerinin yaygın olduğunu ve uygun mühendislik önlemleriyle bu durumun yönetilebilirliğini ortaya koymaktadır.

2.3.3. Jeomekanik Sınıflandırma Zorlukları ve Mukavemet Özellikleri

Fliş serileri, yapısal ve litolojik olarak yüksek heterojenlik içermesi nedeniyle geleneksel kaya kütle sınıflandırma sistemlerinde ciddi belirsizlikler yaratmaktadır. Bu formasyonların aynı

alanda hem sert kumtaşı hem de zayıf şeyl gibi farklı dayanımlara sahip litolojileri içermesi, örnekleme, tanımlama ve sınıflandırma süreçlerinde zorluklar meydana getirmektedir.

Marinos ve Hoek (2000, 2001) çalışmalarında fliş gibi heterojen kayaçların tek bir jeolojik dayanım indeksi (GSI) değeriyle temsil edilmesinin jeoteknik olarak riskli olduğunu ve mühendislik analizlerinde güvenilirliğin düşebileceğini belirtmişlerdir. Pepe ve ark (2014) İtalya'da yaygın olarak görülen oldukça heterojen olan Sanremo Flişinin kaya kütlesi parametrelerini tahmin etmek için Hoek-Brown yenilme kriteriyle birlikte jeolojik dayanım indeksi (GSI yöntemini kullanarak mühendislik jeolojisi haritalarını hazırlamışlardır. Berti ve ark (2017), Berisavljevic´ ve ark (2014) yaptıkları çalışmada fliş serisi sedimanter kayanın tahmin edilen kayma dayanım parametrelerini geri analiz yaparak bulmuş ve kaya sınıflandırma parametreleri ile karşılaştırarak seçilen yöntemin uygunluğunu ortaya koymuşlardır. Marinos ve ark (2015) zayıf kaya kütlelerinin sınırları hakkında çeşitli tanımlar ve tartışmalar sunmuş; tünel kazıları ve baraj temellerinde zayıf kaya kütlelerinin sorunlu davranışını değerlendirerek, mühendislik projesinin türüne göre farklı yaklaşımlar kullanarak sınıflandırmalar yapmışlardır.

Literatürde fliş serilerinin mukavametini belirlerken litolojik oranlara dayalı numuneler kullanılmıştır. Zainab ve ark (2007) farklı su içeriğinde ve farklı oranlarda kumtaşı ve şeylden oluşan kompozit kaya örneklerinin mukavemetini ve davranışını deneysel çalışma ile belirlemişlerdir. Taziallas ve ark (2013) laboratuvarda farklı oranlarda silttaşı-kumtaşı tabakalanmasından oluşan fliş formasyonlarının kaya kütlesi mukavemetini tahmin etmek için bir metodoloji önermişlerdir.

2.3.4. Tünel Açılması Sırasında Karşılaşılan Güçlükler

Fliş kayalarda yapılan tünel kazıları, gerek gevşek ve zayıf litolojiler, gerekse suya duyarlılık gibi etmenler nedeniyle mühendislik açısından ciddi zorluklar barındırmaktadır. Özellikle şeyl ve silttaşı tabakalarının yumuşak, şişebilir ve düşük kohezyonlu yapısı, kazı sırasında çökme, tavan kapanması ve deformasyon risklerini artırmaktadır.

Floria ve ark (2009) fliş serisini oluşturan kumlu tabakalarda tünel açma makinesi (TBM) ile ilerleme sırasında büyük su girişleri ve breşlerde aşırı deformasyonları önlemek amacıyla, sayısal analiz sonuçlarına dayalı olarak alınacak önlemler hakkında önerilerde bulunmuşlardır.

Bondarenko ve ark (2018) Kuzeybatı Kafkasya'daki tünel inşası sırasında fliş kütlelerinin mukavemet özelliklerini belirlemek için jeolojik dayanım indeksi (GSI) metodik yaklaşımının uygulanması deneyimini ve yapının olası deformasyon türlerini açıklamıştır. Marinos (2014) fliş serinin jeolojik özelliklerini belirleyerek yeraltı kazılarındaki davranışını değerlendirmiş ve fliş tabakası için birincil destek sistemlerine ilişkin ilkeleri ortaya koyarak öneriler sunmuştur. Tajdus ve Tajdus (2002) Karpat Flişlerindeki tünel kazısında kaya kütlelelerinin davranışını değerlendirdikleri çalışmalarında, deformasyonları, yer değiştirmeleri ve destek sistemlerini analiz ederek tasarım aşamasındaki hataları ortaya koymuşlardır. Fleetwood ve ark (2020) çalışmalarında tünel kazısında

karşılaştıkları oldukça heterojen fliş yataklarını karakterize etmek için jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve kaya kütlesi derecesi (RMR) kullanmış; ayrıca kaya kütlesinin heterojen doğasının kaya mühendisliği tasarımında dikkate alınması ve tasarım parametrelerine belirsizliklerin dahil edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Ramoni ve Anagnostou (2008) fliş serisi zayıf kayalarda sıkışma olgusuna vurgu yaparak tünel açma makinesi (TBM) ilerlemesiyle ilgili sorunları analiz etmişlerdir.

Aygar (2022) Bolu Tüneli'nin fliş serisi sedimanter kaya içinden geçen bölümünde kazı aşamasında meydana gelen deformasyonları ve göçmeyi üç boyutlu olarak sayısal analizlerle incelemiş ve iki tünelin birbirine olan etkisini ortaya koyarak destekleme sistemi ile ilgili önerilerde bulunmuştur. Terron-Almenera ve Panthi (2025), Arnavutluk'taki zayıf ve deforme olabilen fliş kaya kütlesinde kazılan tünellerdeki plastik deformasyonların değerlendirilmesinde en sık kullanılan yöntemlerin performansını ve sınırlamalarını değerlendirmeyi amaçladığı çalışmaları sonucunda optimum kalıcı tünel desteğinin tasarımını belirlemişlerdir.

2.4. Beton Ağırlık Barajlarda Sızma Kontrolü Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Beton ağırlık barajlar kütle ağırlığı ile su basıncına karşı koyan rijit yapılardır. Beton barajlar için geleneksel yerleştirilmiş kütle betonu ve silindirle sıkıştırılmış beton olmak üzere iki beton inşaat yöntemi bulunmaktadır (EM-1110-2-2200, 1995). Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB) şekil olarak klasik beton dökümü ile yapılmış beton ağırlık barajlara tıpatıp benzemekle birlikte konvansiyonel beton barajlara göre hızlı inşa edilebilmesi ve maliyetinin düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Silindirle sıkıştırılmış beton barajlarda dikkat edilecek en önemli konular barajın oturacağı kayanın tamamında taşıma gücünün yeterli olması, farklı oturmaya neden olabilecek zeminlerin bulunmaması ve suyun tutulabilmesi için geçirimsizliğin sağlanmasıdır (Güman ve Sert, 2019). Sızma tüm hidrolik yapılarında olduğu gibi silindirle sıkıştırılmış beton barajlarda da kritik bir öneme sahiptir. Sızma fazla olursa yapısal stabilite yönünden, barajın uzun dönem mukavemeti açısından, mansap tarafında oluşacak olumsuz görüntü ve kontrol edilemeden giden suyun ekonomik maliyeti durumundan birçok zarar oluşur (Sürmeli, 2002).

Literatürde silindirle sıkıştırılmış beton barajlarda sızma kontrolü ve geçirimsizlik ile ilgili yapılan çalışmalar baraj gövdesi ve baraj temeli olmak üzere suyun sızabileceği yollar dikkate alınarak iki kategori altında açıklanmıştır.

2.4.1 Baraj Gövdesinden Meydana Gelen Sızmalar

Güncel literatür sızmaların beton baraj yapılarında, mikro çatlaklar, soğuk derzler, inşaat derzleri ve birleşim bölgeleri gibi zayıf zonlardan veya gövde–temel arayüzünden ve SSB malzemeden meydana geldiğini ortaya koymaktadır.

SSB barajların gövdelerindeki çatlaklar genellikle hidro-mekanik ve termo-mekanik etkiler sonucu meydana gelmektedir. Çatlak gelişimini tahmin etmek için tasarım aşamasında gerilme gelişiminin sayısal simülasyonları değerlendirilmelidir. Khanzaei (2017) ve Gu ve ark (2005) gövdeyi oluşturan tabakaların eşleştirilmiş sızma-gerilme analizlerini yapmış; tabakalara ait kalınlık ve fiziksel-mekanik parametreleri hesaplamak için yöntemler önermiş ve sızma analizi için bu parametrelere dayalı üç boyutlu bir sonlu elemanlar yöntemi geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemi tipik bir SSB barajının analiz edilmesiyle doğrulamışlardır. Ayrıca Junrui ve ark (2005) tabakalar boyunca oluşan akışın meydana getirdiği normal sızma basıncı ve teğet sürükleme kuvveti ile tabakaların eşdeğer çatlak açıklıklarının gerilme koşullarına göre değiştiği ilkelerini gözeterek eşleştirilmiş sızma ve gerilme arasındaki etkileşimi analiz ettikleri çalışmalarında Longtan Barajına sonlu eleman yöntemini ve eşleştirilmiş sızma-gerilme analizini uygulamışlardır.

Li ve ark (2015) çalışmalarında farklı tipte beton malzemelerle inşa edilmiş, memba yüzü geçirimsiz bir tabakaya sahip silindirle sıkıştırılmış beton barajın gerilme alanı ve sızıntı alanını analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır.

Junrui ve ark (2002) beton barajdaki birleşik sızma ve sıcaklık alanlarını incelemek için matematiksel bir model, birleşik model için yinelemeli adımlar ve sonlu eleman sayısal çözüm yöntemi önermiş; bir örnek üzerinde önerilen modelin ve sayısal çözüm yönteminin uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Malkawi ve ark. (2004) Ürdün'de bulunan 60 m yüksekliğindeki Al-Mujib Barajının termal gerilme dağılımını iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemleri kullanarak analiz etmiş, basitleştirilmiş bir yaklaşım kullanarak çatlak genişliğini ve gereken büzülme derzi sayısını sınırlamışlardır.

Fujun ve ark. (2012) çalışmalarında beton barajın çatlamasına neden olan inşaat süresi boyunca sıcaklık ve termal stres dağılımının simülasyon analizi yapmak için üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların sonraki çalışmalarda kullanması için referans sunmuşlardır.

Xie ve Chen (2005) çalışmalarında bir SSB barajda farklı malzemelerle inşa edilmiş, farklı kalınlıklardaki geçirimsiz katmanların sıcaklık alanını simüle etmek için 3 boyutlu sonlu elemanlar yeniden konumlandırma ağı yöntemini kullanmışlardır. Yüksek termal stresin çatlama olasılığını arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Araştırmacılar çalışmalarında, silindirle sıkıştırılmış beton barajlarda, katmanlar arası yeterli aderans sağlanmadığında bu bölgeler boyunca su sızıntısı meydana geleceğini ve uzun vadede içsel erozyon riskinin artacağını vurgulamışlardır (Liu ve ark., 2021; Jin ve ark., 2022).

Whang ve ark (2019) baraj gövdesindeki sızma analizine yönelik dinamik bir yöntem önermiş ve bu yöntemi Çin'deki bir beton ağırlık barajına uygulayarak, yöntemin etkili olduğunu ve mevcut yöntemlere kıyasla sızma güvenliğini sağlamada daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, Scuero ve Vaschetti (2004) yaptıkları çalışmalar sonucunda, geomembran gibi ilave sızma kontrol sistemlerinin baraj gövdesinde çatlak gelişimini sınırlandırıcı ve geçirimsizlik artırıcı etkilerini ortaya koymuşlardır.

Zhang ve ark (2021) sızmaların sadece geçirimsizlik performansını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda zamana bağlı olarak kalsiyum sızması gibi ikincil bozulma mekanizmalarını da tetiklediği vurgulamışlardır.

Mairaing ve ark (2008) beton baraj gövdelerindeki karmaşık sızma yönetim sürecini saha gözlemleri ve izleme tekniklerini kullanarak analiz etmeye odaklanmışlardır.

2.4.2. Baraj Temelinden Meydana Gelen Sızmalar

Baraj temelinde oluşan kaldırma basıncı rezervuardan sızan sudan kaynaklanır. Bu basınç, barajın tabanına düşey yukarı doğru bir kuvvet uygular ve onu kaldırmaya çalışır (Rasgoti, 2018). Bu durum barajın kaymayı önleyici kuvvetini azaltabilir ve baraj stabilitesini tehdit edebilir (Cheng ve ark., 2018). Bu sebeple kaldırma basıncını azaltmak amacıyla baraj gövdesi altına geçirimsizlik hatları inşa edilir.

Beton baraj temellerinde meydana gelen sızmaların kontrolü ve modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar, hem laboratuvar ortamında gerçekleştirilen fiziksel modellemeler hem de sayısal analiz yöntemleriyle önemli bulgular ortaya koymaktadır. Alghazali ve Alnealy (2015) laboratuvar ortamında hidrolik modelleme yaparak model beton baraj altındaki farklı konum ve açılardaki enjeksiyon perdesi tasarlayarak sızma miktarı ve akım ağını belirlemişlerdir. Bu çalışma, enjeksiyon perdesinin geometrik parametrelerinin sızma kontrolündeki rolünü fiziksel olarak gözlemleme imkânı sunmuştur. Benzer şekilde, Jelenković ve Travaš (2013) ise beton baraj temellerinde oluşan sızma sürecini hem fiziksel modelleme hem de sayısal analiz yoluyla ele almış, iki yöntem arasında karşılaştırmalı değerlendirmeler yaparak, sayısal modellerin fiziksel süreçleri temsil etme düzeyini ortaya koymuşlardır.

Literatürde baraj temeli sızmalarının modellenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak iki ve üç boyutlu sızma analizleri yapılmıştır. Jamel (2016) çalışmasında homojen olmayan zemine oturan hidrolik yapı altındaki kazıkların sonlu elmanlar yöntemi kullanarak sızma analizlerini yapmış sonuçları yapay sinir ağı ile doğrulamıştır. Bazı araştırmacılar, farklı derinlik, açı ve konumdaki perdelerin verimliliğini sayısal analizlerle karşılaştırmışlardır (Angelov ve ark., 2021; Hamad ve ark., 2023, Thomas ve Asr, 2024). Ayrıca, Hamad ve Behaya (2022) farklı kalınlık ve geçirgenlikteki iki izotropik zemin katmanı üzerine oturan beton baraj temelindeki kazıklı geçirimsizlik duvarın derinlik, konum ve açısının sızma parametrelerindeki değişimine olan etkisini incelemişlerdir. Anggraini ve ark (2024) sayısal yöntemlerle sızma analizi yaparak enjeksiyon perdesinin optimum boyunu tespit etmişlerdir.

Beton baraj temellerinde sızma güvenliğinin değerlendirilmesi, hem tasarım hem de işletme aşamalarında oldukça karmaşık bir mühendislik problemidir. Günümüzde bu amaçla hem sahadan elde edilen izleme verileri hem de gelişmiş sayısal modelleme yaklaşımları birlikte kullanılmaktadır. Zhang ve ark (2021) baraj temellerindeki farklı enjeksiyon yerleşimlerinde sızma özellikleri analiz ettikleri çalışmalarında işletme süresi boyunca baraj temelindeki sızma kararlığını inceleyerek sızma koşullarının analizi ve değerlendirilmesi için teorik bir referans sağlamışlardır. Rahimpour ve ark (2022) Haigher Barajı'nda üç boyutlu modelleme yaparak enjeksiyon perdesinin sızma üzerindeki etkilerini ortaya koyarak bu yöntemin etkinliğini nicel olarak göstermiştir. Benzer şekilde, Pittalis ve ark (2017) enjeksiyon uygulaması sonrası baraj temelinin davranışını izleyerek, sızma kontrol önlemlerinin zamana bağlı etkilerini değerlendirmiştir.

2.5. Geçirimsizlik Perdelerinde Bulamaç Hendeği Yöntemi ve Plastik Beton Kullanımı Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Geçirimsizlik perdeleri, baraj temellerinde ve su yapılarında sızma kontrolü sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olup bu amaçla uygulanan yöntemlerden biri de bulamaç hendek (slurry wall) sistemidir. Bu sistemde dar bir hendek kazılarak hendeğin bentonitli bulamaçla desteklenmesi ve içerisine düşük geçirimliliğe sahip plastik geri dolgu malzemesinin yerleştirilmesi ile kalıcı geçirimsizlik sağlanmaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar geri dolgu malzemesinin hidrolik ve mekanik özellikleri ve davranışı, sayısal modelleme yaklaşımları, hendek stabilitesi, tasarım ilkeleri ve uygulama örnekleri başlıkları altında özetlenmiştir.

2.5.1. Hendek Stabilitesi

Hendek stabilitesi üzerine yapılan araştırmalarda, Özaydın (1991) bu alanda yapılan en erken çalışmalardan biri olarak laboratuvar ortamında model deneyler gerçekleştirmiştir. Fox (2004) drenajlı ve drenajsız koşullar altında bulamaç hendeği stabilitesini incelemiş; Filz ve ark (2004) ise bulamaç özelliklerini iyileştirmenin hendek stabilitesini artırdığını göstermiştir. Ayrıca Lei ve ark (2019) bulamaç hendeğinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörleri incelemiş, hendek duvarının stabilitesini sağlamak için bulamaç birim ağırlık tasarım yöntemini türetmiş ve örnek uygulama ile tasarım yönteminin güvenilir olduğunu göstermişlerdir.

2.5.2. Geri Dolgu Malzemesinin Özellikleri ve Davranışı

Son yıllarda bu yönteme yönelik araştırmalar, özellikle kullanılan geri dolgu malzemelerinin mekanik, hidrolik ve deformasyon özelliklerinin incelenmesine odaklanmıştır. De Silva ve Wijayawardhana (2017) çalışmalarında Sri Lanka'daki Vendrasan Barajı'nda aşırı sızmaya vurgu yaparak farklı zemin-çimento-bentonit karışımlarının mukavemet, deformasyon ve geçirgenlik

özelliklerini incelemeye odaklanmıştır. Evans ve ark (2017) çalışmalarında geri dolgu malzemesindeki konsolidasyon ve gerilme dağılımının hidrolik iletkenlik üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Li ve ark (2016) bulamaç hendek geri dolgu malzemesinde konsolidasyondan dolayı meydana gelen gerilme dağılımı ve gelişmini saha deneyleri ve izleme verileri ile karşılaştırarak uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Mukherjee (2012) geri dolgu malzemesinde konsolidasyonun neden olduğu gerilme dağılımını, saha verileriyle karşılaştırarak teorik modellerle olan uyumunu ortaya koymuştur. Alzayani ve ark (2017) geri dolgu malzemesinin deformasyon davranışını araştırmışlardır.

Plastik beton karışımlarının tasarımı ve doğrulama çalışmaları, özellikle saha ve laboratuvar verilerinin bir arada değerlendirildiği araştırmalarda ön plana çıkmaktadır. Barlow ve Malusis (2019) proje gereksinimlerini karşılayan plastik beton karışımını laboratuvar ortamında geliştirerek, elde edilen sonuçları saha testleriyle doğrulamıştır. Benzer şekilde, Gueddouda ve ark (2015), Li ve ark (2021) ile Hinchberger ve ark (2010) çalışmalarında, hidrolik ve mekanik gereksinimleri sağlayan karışımları laboratuvar koşullarında optimize etmişlerdir.

Malzeme parametrelerinin hidrolik iletkenliğe etkisini inceleyen çalışmalarda, Xu ve ark (2016) bentonit ve kil içeriğinin geçirimsizlik performansını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Talefirauz ve Çokça (2022) çalışmalarında toz çelik cürufu ve kireçle güçlendirilmiş geri dolgu malzemelerinin işlenebilirliği, geçirgenliği ve serbest basınç dayanımı hakkında çeşitli karışım serileri kullanarak kapsamlı bir laboratuvar araştırması sunmaktadır.

Uzun süreli performans değerlendirmeleri, son dönemde özellikle saha izleme verileriyle desteklenen çalışmalar da öne çıkmıştır. Ruffing ve ark (2018) ile Joshi ve ark (2009) bulamaç hendek duvarların uzun süreli performansını etkileyen temel sorunları açıkladıkları çalışmalarında gelecekteki araştırmalara yönelik görüş ve önerilerini sunmuşlardır.

2.5.3. Sayısal ve Saha Tabanlı Yaklaşımlarla Sızma Analizi

Literatürde, bulamaç hendeği (slurry wall) uygulamaları, baraj temelinde sızma kontrolü sağlamak amacıyla çeşitli geometrilerde ve malzeme özellikleri dikkate alınarak sayısal ve deneysel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Özbek (2017) önyüzü beton kaplı (ÖYBK) bir barajın temeline yerleştirilecek bulamaç hendeğinin optimum yerleşimini belirlemek amacıyla bir dizi sayısal modelleme gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda hendeğin derinliği, kalınlığı ve geçirgenlik katsayısı gibi tasarım parametrelerinin sızma debisi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çakır (2019) ön yüzü beton kaplı kum-çakıl dolgu tipinde Büyükkumla Barajı'nda, memba ve mansap batardoları altında projelendirilen bulamaç hendeğinin arazide uygulamasına ilişkin detaylar sunarak başladığı çalışmasında; batardo ekseni boyunca oluşturulan hendeğin sızma analizlerini yapmış ve bu analiz sonuçlarını, saha gözlemleri ve piezometrik ölçümlerle

karşılaştırmıştır. Sayısal analiz ile arazi verileri arasında yüksek düzeyde bir uyum olduğunu ortaya koymuştur.

Benzer şekilde, Shadravan ve ark (2004) İran'da inşa edilen büyük ölçekli Karkheh Barajı'nın zayıf temeline yerleştirilen plastik beton perde tasarımını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmalarında, plastik beton duvarın mühendislik tasarımını hem sızma kontrolü hem de malzeme davranışı açısından değerlendirerek sayısal sızma analizleri yapmış ve barajın işletme aşamasında elde edilen performans verileriyle karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, plastik beton perdelerin zayıf kaya temeline oturan büyük barajlarda uzun vadeli sızma kontrolünü sağlamak açısından etkili ve uygulanabilir bir çözüm olduğunu göstermektedir.

2.5.4. Barajlarda Kullanımına Yönelik Uygulama Örnekleri

Slurry trench yöntemiyle inşa edilen geçirimsizlik perdeleri, hem yeni baraj inşaatlarında hem de mevcut yapıların rehabilitasyon çalışmalarında sızma kontrolü amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Day (2001) bulamaç hendeği ile oluşturulan duvarların baraj rehabilitasyonundaki uygulamalarını incelemiş; özellikle mevcut yapının temelinde sızma problemlerinin giderilmesinde bu yöntemin etkili bir çözüm sunduğunu belirtmiştir.

Gajbhiye (2016), çalışmasında kalın alüvyon tabakası üzerine oturan batardo altına inşa edilen derin geçirimsizlik perdesinin detaylarını ortaya koyarak özellikle 93 m derinliğe kadar ulaşan plastik beton duvar tasarımının yapım teknikleri, saha uygulama detayları ve performans kriterlerini ayrıntılı biçimde ele almıştır.

Araştırmacılar çalışmalarında plastik beton geçirimsizlik perdesinin inşa ve tasarım yöntemlerini açıklayarak saha testleri ile perdenin hidrolik iletkenliğini tespit etmişlerdir. (Ruffing ve ark., 2014; Malusis ve ark., 2017; Faridmehr ve ark., 2019; Solanki ve ark., 2022)

Önal (2018) geçirimsizlik perdesi yapım yöntemleri hakkında genel bir çerçeve sunarak başladığı çalışmasında, Sulakyurt Barajı memba batardosunun zemin özelliklerini dikkate alarak uygulanan bulamaç hendeği sistemini örnek olay üzerinden açıklamıştır. Yöntemin seçiminde zemin koşullarının belirleyici olduğunu ve sızma kontrolüne yönelik tasarımın buna göre şekillendiğini ifade etmiştir.

Nohut (2010) Yedigöze Barajı'nda memba ve mansap batardoları altına inşa edilen slurry trench perdesi uygulamasını incelemiştir. Araştırmada, perde uygulamasının özellikle alüvyon zeminlerin geçirimsiz hâle getirilmesinde etkili olduğu ve yeraltı suyu akışının kontrol altına alınmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

2.6. Geçirimsizlik Yapılarının Optimum Tasarımı ve Sayısal Modelleme Teknikleri Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Dolgu ve beton barajların gövde ve/veya temelindeki sızma analizleri, genellikle sonlu farklar, sonlu elemanlar, analitik yöntemler veya yapay sinir ağları kullanılarak

gerçekleştirilmektedir. Bu analizler, projelendirme aşamasında veya inşaat sonrasında ortaya çıkan su kaçaklarının giderilmesi amacıyla tasarlanacak geçirimsizlik elemanlarının boyut, konum ve derinliğini belirlemek için yapılmaktadır.

Güncel literatür incelendiğinde, baraj temelinde meydana gelen sızma davranışını incelemek amacıyla çeşitli modelleme ve analiz yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Güngör (1995) sonlu elemanlar yöntemi ile toprak dolgu barajlardaki sızma basıncı ve hız bileşenlerini analiz etmiştir. Tosun ve ark (2002) ise kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda bulamaç hendeği uygulamalarını incelemiş ve bu yöntemin sızma kontrolünde başarılı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Eynur (2004) sonlu farklar metodunu kullanarak kil çekirdekli barajlarda enjeksiyon perdesi alternatiflerini matematiksel modellerle değerlendirmiştir. Son yıllarda, Plaxis, Slide, Geostodio(Seep/w), ve Flac gibi sonlu elemanlar yöntemi temelli yazılımların sızma analizlerinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Uromeihy ve Barzegari (2007) Chapar-Abad Barajı'nda enjeksiyon perdesinin etkinliğini Plaxis yazılımı ile optimize ederken; Alnealy ve Alghazali (2015) hidrolik yapıların temelinde eğimli olarak tasarlanan geçirimsizlik elemanlarının sızma üzerindeki etkisini Slide programını kullanarak incelemişlerdir. Seifabad ve ark. (2020) Seep/w kullanarak Soork Barajı temelindesi sızmayı iki ve üç boyutlu olarak analiz etmiş ve üç boyutlu analizlerde sızma miktarının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Zhang ve ark (2020) farklı tipteki baraj temellerinde sızma analizini Flac 3D kullanarak yapmışlardır.

Güncel çalışmalar incelendiğinde, parametrik analizler ve yapay zeka destekli modellemelerin de sık kullanıldığı görülmektedir. Athani ve ark (2015) Plaxis 3D ile yaptıkları çalışmada toprak dolgu barajların sızma ve stabilite analizlerinin birlikte ele alınmasının önemini vurgulamıştır. Santillán ve ark (2013) ise yapay sinir ağlarını kullanarak bir vaka çalışmasındaki ölçülen verilerle barajın farklı su seviyelerine karşı davranışını yeniden ürettikleri çalışmalarında, yapay sinir ağı modellerinin, sızıntı olgusunu tahmin etmek ve anlamak için güçlü bir araç olduğu göstermişlerdir.

Bunun yanı sıra, laboratuvar çalışmaları ve sahada gerçekleştirilen deneyler de literatüre katkı sağlamaktadır. Yan ve ark (2008) plastik beton sızdırmazlık perdesinin hidrolik iletkenlik gereksinimlerini saha ve laboratuvar testleri ile doğrulamış ve bu yöntemin sızma kontrolünde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Noori (2013) ise Plaxis 2D ile yaptığı analizlerde bulamaç hendeği derinliğinin sızma üzerindeki etkisini inceleyerek optimum perde tasarımını belirlemiştir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda fliş serisi zayıf sedimanter kaya üzerine oturan beton baraj temelinde bulamaç hendeği yöntemi kullanılarak geçirimsizlik hattının tasarımı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada fliş serisi sedimanter kayaların litolojik bileşenleri ve tabaka özelliklerinin yarattığı heterojenlikten kaynaklanan belirsizliğinin sızma üzerindeki etkisi sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiş ve optimum perde boyu belirlenmiştir. İki farklı yazılımla yapılan analiz sonuçlarının birbirini desteklemesi, modellemenin doğruluğunu ve elde edilen bulguların güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Özetle; literatürdefliş formasyonlarında litolojiye bağlı perde derinliği ile plastik betonun hidrolik iletkenlik davranışını birlikte ele alan sayısal çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez, kapsamlı parametrik sonlu eleman analizleriyle bu iki ana parametreyi inceleyerek, fliş serisi sedimanter kayaçların davranış eğilimlerini ve parametreler arası etkileşimi ortaya koymaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Sızma Analizinin Esasları

3.1.1. Darcy Kanunu

Fransız fizikçi Henry Darcy, kohezyonsuz ve granüler yapıdaki homojen zeminlerde suyun hareketini incelemek amacıyla yürüttüğü deneysel çalışmalarla, daneli zeminlerdeki sızma debisinin nicel olarak belirlenmesine yönelik temel ilkeleri ortaya koymuştur. Bu kapsamda geliştirdiği model deneylerde kullandığı benzer bir düzenek Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Daneli zeminler üzerinde yapılan model deneyleri sonucunda; düzenli, yavaş (laminer) bir yeraltı akımında debinin ifadesi Darcy tarafından denklem (3.1.)'de verilmiştir.

$$\mathrm{Q} = -\mathrm{K}\,\mathrm{A}\,\frac{\mathrm{H_2}-\mathrm{H_1}}{\Delta \mathrm{s}} = -\mathrm{K}\,\mathrm{A}\,\frac{\Delta \mathrm{H}}{\Delta \mathrm{s}} \tag{3.1.}$$

veya

$$Q = -K\,A\frac{dH}{ds} \tag{3.2.}$$

şeklinde yazılabilir.

Burada Q akım debisi, K hidrolik iletkenlik, A tüm kesit alanı (zemin+sıvı), ve $\frac{dH}{ds}$ piyezometre çizgisinin eğimidir. Yeraltı suyu akımında sızmayı etkileyen esas parametre zemin cinsi olduğuna göre denklemde K yerine permeabilite katsayısı k değeri kullanılabilir. Buna göre tüm kesit alanı itibariyle akımın ortalama hızı V=Q/A aşağıdaki gibi yazılabilir (Kırkgöz, 2018).

$$V = -\mathrm{k}\,\frac{dH}{ds} \tag{3.3.}$$

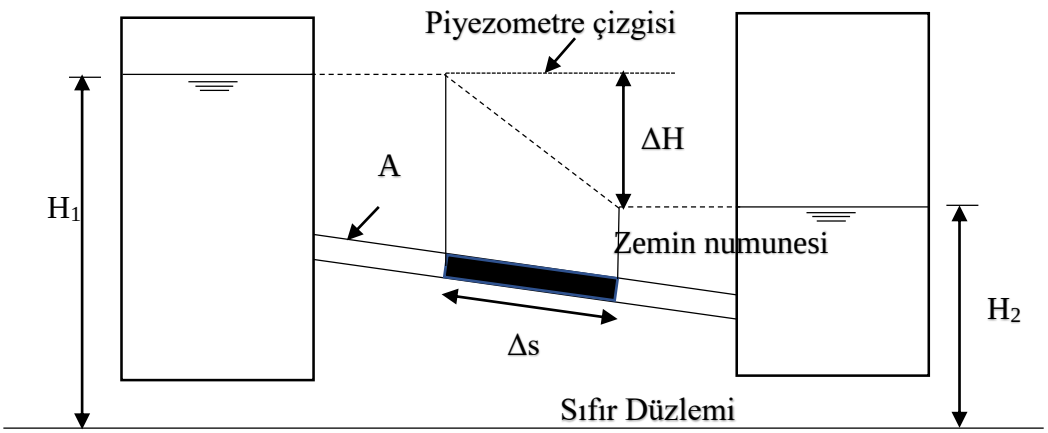
(3.3.) denkleminde

$$\frac{dH}{ds} = i$$

olarak ifade edilirse; hız denklemi

$$V = -\mathrm{k} \times i \tag{3.4.}$$

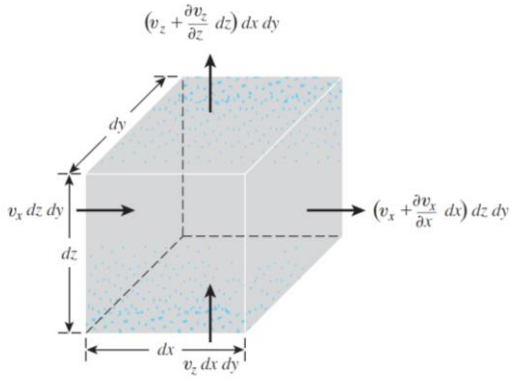
formunda yazılmaktadır.



Şekil 3.1. Zeminde Geçirimlilik Deneyi (Kırkgöz, 2018)

3.1.2. Laplace Denklemi

Sızmanın iki boyutlu, geçirimli, anizotropik (kx ≠ kz) doygun bir zeminde gerçekleşiyor olması durumda doygun zemindeki toplam su yükü dağılımı Şekil 3.2.'deki prizmatik bir eleman üzerinde incelendiğinde;



Şekil 3.2. Doymuş Geçirimli Zeminde X ve Z Yönlerindeki Akım Hız Bileşenleri (Das, 2010)

x yönüdeki hidrolik eğim $i_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}$ (3.5.)

z yönündeki hidrolik eğim $i_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$ (3.6.)

Bu bağlantılarda h toplam su yükünü, eksi işareti ise eğimin artan piyezometrik yüke ters yönde olduğunu göstermektedir.

Düzenli ve sıkışmayan akımlarda süreklilik şartı, birim zamanda kontrol yüzeyine giren q_g hacmin kontrol yüzeyinden çıkan hacme $q_ç$ eşit olduğunu ifade etmektedir (Kırkgöz,2018).

q_g=vxdzdy+vzdxdy (3.7.)

$q_ç$= $vxdzdy+\frac{\partial v_x}{\partial x}dxdzdy+ vzdxdy+\frac{\partial v_z}{\partial z}dzdxdy$ (3.8.)

(3.7.) denklemi (3.8.) denklemine eşitlenirse;

$q_g=q_ç$ (3.9.)

$\frac{\partial v_x}{\partial x}$dxdzdy+$\frac{\partial v_z}{\partial z}$dzdxdy=0 (3.10.)

buradan;

$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$ =0 olarak elde edilir. (3.11.)

Darcy kanunu kullanılarak x ve z yönlerindeki hızlar, izotropik zemin durumu (kx=kz) için yazılırsa denklem (3.4.);

$$vx = -k_x\, i_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.12.)$$

$$vz = -k_z\, i_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3.13.)$$

şeklini alır.

Burada vx ve vz sırasıyla akımın yatay ve düşey hız bileşenleridir. kh hız potansiyel ya da hız potansiyeli olarak adlandırılır ve genellikle ϕ ile gösterilirse;

$$(\phi = k\, h) \quad (3.14.)$$

denklem (3.14.), denklem (3.12.) ve denklem(3.13.)'te yerine konulursa;

$$v_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (3.15.)$$

ve

$$v_z = -\frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (3.16.)$$

elde edilir.

Denklem (3.15.) ve denklem (3.16.) denklem (3.11.)'de (süreklilik denkleminde) $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$ =0 yerine konulursa;

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.17.)$$

şeklini alır.

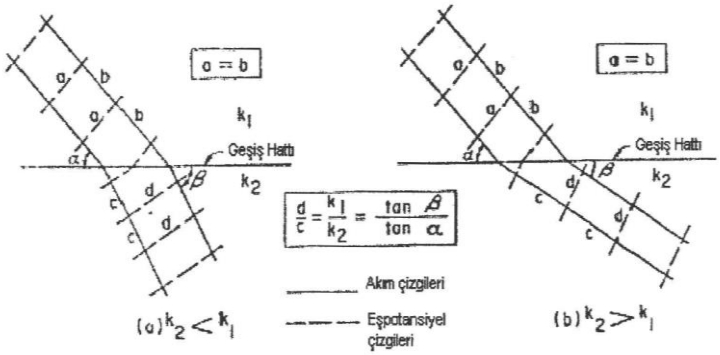
Böylece homojen, izotropik gözenekli ortamdaki laminer, iki boyutlu akım için Laplace denklemi elde edilir (Ağıralioğlu, 2005).

Laplace denklemi, sıkışmayan ve boşluklu bir ortamda, sıkışmayan bir sıvının iki boyutlu kabul edilen akışını incelemede kullanılan temel bir denklemdir. Bu denklem, akım alanını tanımlayan ve birbirini dik açıyla kesen ortogonal bir ağ sistemi ile temsil edilir. Bu eğrilerden biri akım çizgilerini, diğeri ise eşpotansiyel çizgilerini oluşturur. Eşpotansiyel çizgiler üzerinde yer alan tüm noktalar, aynı piyozometrik seviyeye sahiptir; bu seviye, suyun piyozometrik boru içinde yükseleceği sabit yüksekliği ifade eder. Akım çizgileri boyunca hareket eden su parçacıklarının yörüngeleri, eşpotansiyel çizgilerine diktir. İki ardışık akım çizgisi arasında kalan ve şerit biçiminde tanımlanan alan, akım tüpü olarak adlandırılır; bu tüp boyunca herhangi bir kesitte geçen debi sabittir.

Akım ağının oluşturulmasından sonra herhangi bir noktadaki akım hızı, debisi ve basınç dağılımı eşpotansiyel ve akım çizgilerinden oluşan akım ağından hesaplanabilir (Kırkgöz, 2018).

3.2. Tabakalı Zeminlerde Akım Ağı

Genellikle, sızma analizi gerektiren projeler tabakalı temel malzemeleri ve zonlu barajlar gibi farklı geçirgenliklere sahip farklı zeminleri içerir. Eşpotansiyel çizgiler ve farklı geçirgenliklere sahip zeminler arasındaki iç sınırları geçen sızma hatları için belirli kurallar geçerlidir. Şekil 3.3.'te, arayüzlerdeki akım çizgilerinin ve eşpotansiyel çizgilerinin sapmasını göstermektedir.



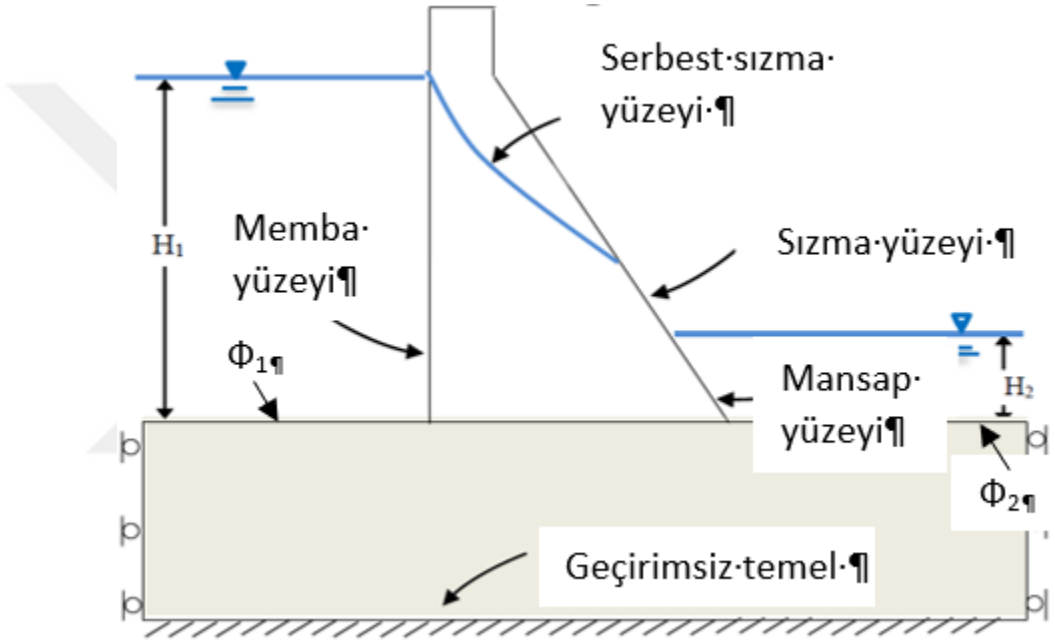
Şekil 3.3. Akım Çizgilerinin Farklı Hidrolik İletkenliğe Sahip Zeminlerden Geçişi (Eynur, 2004)

Şekil 3.3.'te akış daha düşük geçirimliliğe sahip zeminden daha yüksek geçirimliliğe sahip zemine geçtiğinde, akım ağı arasındaki mesafenin azaldığı ve eşpotansiyel düşüşler arasındaki mesafenin arttığı görülmektedir. Bu durum, aynı hidrolik yük farkı altında akım debisinin azaldığını ve düşük hidrolik iletkenliğe sahip ortamlarda birim uzunluktaki hidrolik yük kaybının daha fazla olduğunu ifade eder. Yüksek hidrolik iletkenliğe sahip tabakalarda, aynı akım yolu boyunca oluşan enerji kaybı daha düşüktür. Bu da sızmanın daha kolay ve dirençle karşılaşmadan gerçekleştiği anlamına gelir. Her durumda, akım ağı ve eşpotansiyel çizgiler yön aniden değişse de, zeminler arasındaki arayüz boyunca sürekliliğini korur. Bununla birlikte, akış kanallarının sayısı akım ağı

boyunca sabit kalmaktadır. Akış arayüze az çok paraleldir ve daha geçirgen bölge, akış konumuna ve miktarına hakim olacaktır (EM-1110-2-1901, 1986).

3.3. Sınır Şartları

Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi memba tarafındaki geçirimli zemin yüzeyi eş potansiyel çizgilerden birini (ϕ_1), mansap tarafındaki yüzey ise bu çizgilerden birini (ϕ_2) oluşturur. Ayrıca geçirimli zeminin üzerine oturduğu geçirimsiz tabanın yüzeyi de bir akım çizgisi ve suyun atmosfer basıncına sahip olduğu en üst akım çizgisi serbest sızma eğrisi olup potansiyel akımdaki en önemli sınır şartlarını meydana getirir.



Şekil 3.4. SSB Barajda Sınır Şartlarının Gösterimi (Khanzaei, 2017)

Akım ağı, verilen sınır şartlarına göre akım denklemlerinin çözülmesiyle elde edilir (Ağıralioğlu, 2005). Bu süreçte, sızmayı yöneten ve lineer-eliptik türde bir kısmi diferansiyel denklem olan Laplace denkleminin, tanımlı akım alanı için geçerli olan ve sınır şartlarını da sağlayan çözümünün bulunması esastır; çünkü bu denklem teorik olarak sonsuz sayıda çözüm içermektedir (Sümer ve ark., 1983:Eynur 2004'ten).

3.4. Sayısal Model

Sızma analizinin sayısal olarak gerçekleştirilebilmesi için öncelikle fiziksel sistemi temsil eden uygun bir matematiksel modelin tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, sınır koşulları (hidrolik yük, geçirimsiz sınırlar, çıkış yüzeyi vb.) ile zemin parametreleri doğru şekilde tanımlanmalıdır. Tanımlanan model üzerinden, Darcy yasası ve Laplace denklemi esas alınarak akım çizgileri, eşpotansiyel yüzeyler ve hidrolik yük dağılımı hesaplanabilir. Bu sayede, toplam sızma

miktarı ile birlikte akım alanındaki debi dağılımları ve potansiyel kritik bölgeler güvenilir şekilde belirlenebilir.

3.5. Sızma Analizi Metotları

3.5.1. Genel

Sızma problemlerinin analizinde analitik, deneysel ve sayısal yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında ise bu problemlerin çözümünde en çok tercih edilen sayısal yaklaşımlar, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi olmaktadır. Hem iki boyutlu hem de üç boyutlu akım analizlerinde etkin bir şekilde kullanılabilen bu yöntemler, çok sayıda diferansiyel denklemin sayısal olarak çözümünü gerektirdiğinden, yüksek hesaplama kapasitesine ihtiyaç duyar. Bu nedenle, sızma analizlerinde bu yöntemlerin uygulanması ancak bilgisayar destekli modelleme ve yazılımların kullanımıyla mümkün olabilmektedir; zira elde edilen denklem sistemlerinin manuel olarak çözülmesi pratikte çok zaman almaktadır.

Barajlarda sızma analizleri zamana bağlı (kararsız) ve zamandan bağımsız (kararlı) durum analizi olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Kararlı durum, akışın ve zemindeki herhangi bir noktadaki boşluk suyu basıncının zamana göre sabit kaldığı bir analiz olarak tanımlanır (Brinkgreve ve ark., 2010: Noori, 2013'ten). Kararlı halde laminar akım halinde olan sızma problemleri Laplace denklemiyle çözülebilmektedir (Sağlıca, 2013).

Sonuç olarak sayısal analizler barajlar gibi büyük su yapılarını tasarlarken mühendislere pratik bir geri bildirim sağlayarak büyük, ekonomik ve güvenilir yapılar geliştirmelerini sağlar. Bu durum baraj inşa edilmeden önce tasarımın doğruluğunun ve verimliliğinin belirlenmesine katkı sunar (Khanzaei, 2017).

3.5.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık ve zor fiziksel problemlerin kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla çözülebilmesine yardımcı olur. Birçok karmaşık mühendislik problemini çözmek için oldukça güçlü bir araçtır (Toufigh ve ark., 2007).

Bu metot için analiz edilecek alan, boyut ve büyüklükleri belli olan sonlu sayıda elemanlara bölünür. Elde edilen elemanlar birbirlerine bağlı oldukları düğüm noktaları ile teşkil edilir. Gerçek durumlarda sürekli ortamlarda elemanlar arası düğüm noktalarının sayısı sonlu değil tam tersine sonsuzdur. Fakat sonsuz sayıdaki düğüm noktaları, sonlu elemanlar yöntemiyle sonlu sayıda elemana indirgenerek çözüm yapılır. Sonlu elemanlar metoduyla çözüm alanı küçük elemanlara bölünerek çok sayıda ayrık elemandan oluşur. Bu bölümün sayısına göre n sayıda denklem ve n sayıda bilinmeyen oluşur. Her bir elemanın malzeme türü, permeabilite, sınır şartları vb. özellikleri o elemana atanır. Denklem sistemi çözülür ve her bir düğüm noktasındaki su yükleri ve elemanlardaki

akımlar bulunur. Ağ sisteminin meydana getirilmesi için interaktif, etkileşimli bir grafik işlemcisi mevcuttur. Akım işlevlerini ve potansiyelleri analiz ederek akım ve potansiyel eğrilerini oluşturmak böylece akım ağını dizayn etmek mümkün olabilmektedir. Daha komplike sızma sorunları için özellikle çok katmanlı barajlarda ve kısa aralıklarda malzeme katmanı değişen yapılarda bu metot daha iyi sonuçlar vermektedir (Polater, 2021).

3.5.3. Sonlu Eleman Akım Denklemleri

Galerkin'in ağırlıklı kalıntı yöntemi sızmanın yönetici diferansiyel denklemine uygulanırsa iki boyutlu sonlu eleman sızma denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir (Geo-Slope Int Ltd., 2015).

$$\tau \int_A \left([B]^T[C][B]\right) dA\{H\} + \tau \int_A \left(\lambda < N >^T < N >\right) dA\{H\}, t = q\, \tau \int_l \left(< N >^T\right) dL \qquad (3.18.)$$

Burada; [B] eğim matrisi, [C] elementlerin sahip olduğu permeabilite indisi, {H} enterpolasyon fonksiyonu vektörü, <N> elementlerin bir ucundan diğer ucuna birim genişlik debisi, q elementlerin bir ucundan diğer ucuna birim genişlik debisi, τ elementlerin kalınlığı, t zaman, λ süreksiz sızıntı durumunda $m_w\gamma_w$, A incelenen bölgenin toplam alanı ve L elementlerin uç noktaları arasındaki uzunluktur.

Asimetrik analizlerde eş eleman kalınlıkları ve yarıçap simetri eksenine göre farklıdır. Çevresel uzunluk 2πR radyandır. SEEP/W bir radyan için formüle edilmiş olup eşdeğer kalınlık R olarak alınırsa, asimetrik analizler için sonlu elemanlar denklemi;

$$\int_A \left([B]^T[C][B]R\right) dA\{H\} + \tau \int_A \left(\lambda < N >^T < N > R\right) dA\{H\}, t = q$$
$$q = \tau \int_l \left(< N >^T R\right) dL \qquad (3.19.)$$

şekline dönüşür. Burada radyal uzunluk R değişkendir.Bu nedenle τ'da iki boyutlu analizlerde integral alınırken değişken olarak tanımlanır . Sızma denklemi (3.19.) sadeleştirilirse;

$$[K]\{H\} + [M]\{H\}, t = \{Q\} \qquad (3.20.)$$

Burada; [K] element karakteristik matrisi, [M] küme matrisi, {Q} uygulanan elementin akım vektörüdür.

Genel olarak denklem (3.20.)'de sonlu elemanlar bağıntısı kararsız durum sızma analizleri için kullanılır. Kararlı durum sızma analizi yapılırken yükseklik zamanın bir fonksiyonu olarak ifade edilmez ve {H}, t ihmal edilir ve eşitlik [K]{H}={Q} halini alır. Bu şekliyle denklem Darcy kanunu ifade eder (Geo-Slope Int Ltd., 2015, s171).

3.5.4. Nümerik İntegrasyon

SEEP/W'de Gauss nümerik integrasyon metodu kullanılarak elementlerin karakteristik matrisleri [K] ve küme matris [M] değerleri bulunur. İntegral işlemi sırasında, modele ait elemanların özelliklerinin hem belirli noktalarda hem de elemanın tamamı üzerinde bilinmesi gerekir. Karakteristik matris [K] kullanılarak, denklem (3.18.)'den aşağıdaki integral elde edilir (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s173).

$$[K]=\tau \int_A ([B]^T [C][B])\, dA \qquad (3.21.)$$

integrasyonu alınacak nokta için denklem (3.21.) düzenlenirse;

$$[K]=\tau \sum_{j=1}^{n} [B_j]^T [C_j]\, det|J_j| W_{1j} W_{2j} \qquad (3.22.)$$

şeklini alır.

Burada; j integrasyonu alınacak nokta, n integrasyon sayısı, $[C_j]$ istenen noktadaki permeabilite matrisi, $[B_j]$ integrasyonu yapılan noktadaki element matrisi, $det|J_j|$ Jacobian determinant matrisi W_{1j} W_{2j}=ağırlık faktörüdür.

İntegrasyon sayısı düğüm noktası sayısına ve elementin şekline göre değişmektedir. Aşağıda yer alan tablo üçgen eleman için SEEP/W tarafından kullanılan örnekleme noktalarının sayısını ve konumunu içermektedir (Geo-Slope Int Ltd., 2015, s173).

Çizelge 3.1. Tek nokta üçgen eleman için örnek nokta konumları ve ağırlıklandırma (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s174).

Nokta	r	s	w_1	w_2
1	0,33333	0,33333	1	0,5

Çizelge 3.2. Üç noktalı üçgen eleman için örnek nokta konumları ve ağırlıklandırmaları (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s175).

Nokta	r	s	w_1	w_2
1	0,16666	0,16666	1/3	1/2
2	0,16666	0,16666	1/3	1/2
3	0,16666	0,16666	1/3	1/2

Çizelge 3.3 Kabul edilebilir eleman entegrasyon sıralamaları (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s175).

Eleman Şekli	İkinci Düğümler	İntegrasyon Sıralaması
Üçgen	yok	1 ya da 3
Üçgen	var	3

3.5.5. Hidrolik İletkenlik Matrisi

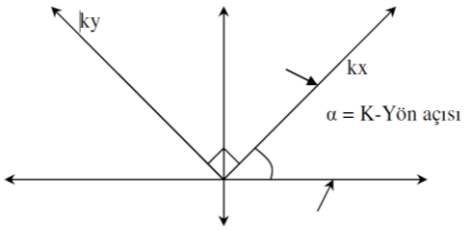
SEEP/W elemanı hidrolik iletkenlik matrisinin genel biçimi (3.23.) denklemindeki gibidir (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s175).

$$[C]=\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (3.23.)$$

Burada;

- $C11=kx\cos^2\alpha+ky\sin^2\alpha$
- $C22=kx\sin^2\alpha+ky\cos^2\alpha$
- $C12=kx\sin\alpha\cos\alpha+ky\sin\alpha\cos\alpha$
- C21=C12

kx, ky ve α parametreleri Şekil (3.5.) üzerinde açıklanmıştır.



Şekil 3.5. Hidrolik İletkenlik Matrisi Parametreleri

α=0 olduğunda [C];

$$[C]=\begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix} \quad (3.24.)$$

şeklini alır.

Hidrolik iletkenlik fonksiyonunu tanımlarken kx önemli bir etkiye sahiptir. ky parametresi ise;

$$ky=kx\times k_{ratio} \quad (3.25.)$$

olarak tanımlanır (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s176).

3.5.6. Akımın Sınır Vektörü

İki boyutlu akımların analizinde düğüm noktalarındaki akım için sınır vektörü {Q} denklem (3.26.) ile tanımlanır (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s177).

Buna göre;

$$\{Q\}=q\tau\int_L(<N>^T)dL \quad (3.26.)$$

veya eksenler için simetri analizinde;

$$\{Q\}=q\int_L(< N >^T R)dL \quad (3.27.)$$

plan analizinde;

$$\{Q\}=q\int_A(< N >^T< N >)dA \quad (3.28.)$$

olarak tanımlanır. Burada; q birim genişlik debisi, τ element kalınlığı, A plandaki alan, R simetri ekseni ile elementin köşesindeki düğüm noktası arasındaki radyal mesafedir.

İntegrallerin çözüm yöntemi, analiz türüne (iki boyutlu, eksenel simetrik ya da plan görünüm) ve düğüm noktalarının yapılarına bağlı olarak değişmektedir. İki boyutlu ve eksenel simetrik analizlerde integraller Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi kapalı formüllerle çözümlenirken, plan görünüm analizlerinde bir düğümün katkı alanı sayısal entegrasyon yöntemleriyle (örneğin Gauss entegrasyonu) belirlenir; bu durumda katkı alanı, standart şekil fonksiyonlarına değil, düğümü çevreleyen elemanların geometrisine bağlı olarak hesaplanır. GeoStudio programında iki tür akım sınır koşulu tanımlanabilir: toplam akım (Q), doğrudan sınır düğümleri üzerinde tanımlanırken; birim genişlik debisi (q), eleman kenarları boyunca uygulanır ve entegrasyon yoluyla Q değerine dönüştürülür, çünkü program sonlu eleman denklemlerini çözmek için q değil, Q değerine ihtiyaç duyar. Ayrıca, iki boyutlu ve eksenel simetrik analizlerde Q değeri eleman kalınlığına bağlıyken, plan görünüm analizlerinde eleman kalınlığından bağımsızdır (Geo-Slope Int Ltd., 2015,s178).



$a_1=a_2=L/2$

(a)orta nokta olmaması durumu

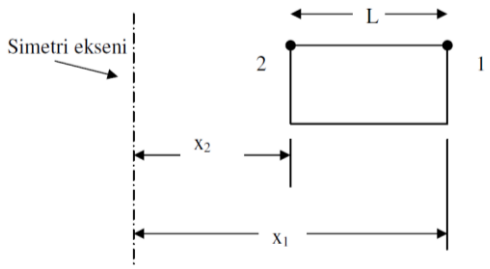


$a_1=a_2=L/6$

$a_4=4L/6$

(b) orta nokta olması durumu

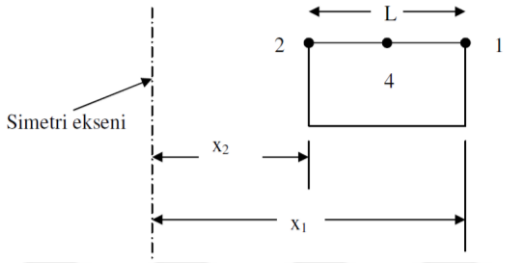
Şekil 3.6. Elementlerin Birim Kalınlığı (Çilingir, 2007)



$a_2=L/6\times(2x_2+x_1)$

$a_1=L/6\times(x_2+2x_1)$

(a) Orta nokta olmaması hali



$a_2=L/6\times(x_2)$

$a_4=2L/6\times(x_2+x_1)$

$a_1=L/6\times(x_1)$

(b) orta nokta olması hali

Şekil 3.7. Asimetrik Elementin Birim Radyan Kalınlığı (Çilingir, 2007)

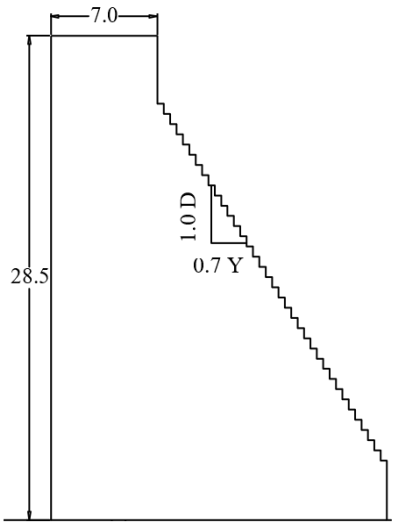
3.6. Sayısal Analiz Çalışmaları

Günümüz teknolojisiyle yüksek kapasiteli bilgisayarlar ve gelişmiş yazılımlar sayesinde sızma analizleri hassas bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sayede karmaşık yöntemler için harcanan zaman ve enerji yeni sonuçların alınmasına ve yorumlanmasına ayrılabilir (Polater, 2021). Bu çalışma kapsamında bir SSB barajın oturduğu tabakalı zayıf kayanın tabaka kalınlıklarındaki ve tabakalara ait hidrolik iletkenlik değerlerinin değişiminin perde boyuna etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla baraj temelindeki kararlı durum sızma analizleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan Geoslope Int.Ltd. Şti.'nin GeoStudio 12 programının SEEP/W modülü ve Rocscience Inc.'nin Slide 6.0 programları kullanılarak gerçekleştilmiştir. GeoStudio ve Slide programları mühendislik hesaplamalarında yaygın bir şekilde kullanılan ve tüm dünyada kabul gören paket programlardır (Sağlıca, 2013). Her iki programda modelleme süreci benzer aşamalardan oluşmaktadır. Sızma analizine, incelenecek bölgenin geometrik modelinin oluşturulması ile başlanmıştır. Baraj gövdesi, temel kayayı oluşturan tabakalar ve geçirimsizlik perdesinden oluşan kesitler, Autocad programında düzenlenmiş, uygun katman isimleri verilerek iki boyutlu biçimde her iki yazılıma aktarılmıştır. Daha sonra, modellerdeki her bir katmana sızma analizi için temel parametre olan hidrolik iletkenlik değerleri tanımlanmıştır. Rezervuar su kotlarının (memba ve mansap seviyeleri) sisteme girilmesinin

ardından ağ (mesh) yapısı oluşturulmuştur. Mansap çıkışında belirlenen kesitte temelde meydana gelen sızma debisini tayin etmek amacıyla programlar çalıştırılmış ve sonuçlar, m^3/s cinsinden, her iki yazılımın arayüzleri üzerinden grafiksel olarak elde edilmiştir. Elde edilen sızma değerleri Bulgular ve Tartışma bölümünde tablo hâlinde sunulmuştur. Her iki yazılımda da analiz ağı, üçgen elemanlardan oluşan 6 düğümlü sonlu elemanlar ile oluşturulmuş ve ağ parametreleri, GeoStudio (SEEP/W) ve Slide'da yazılımların varsayılan (default) değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Geostudio programı için genel ağ boyutu 1m, Slide programı için yaklaşık eleman sayısı 1500'dür. Buna karşın, her iki yazılım da geçirimsizlik perdesi ile temel kaya arasındaki arayüzde sızma davranışının doğru şekilde modellenmesini sağlamak amacıyla ağ yapısını otomatik olarak yoğunlaştırmaktadır. Her iki analizde de maksimum iterasyon sayısı 500 olarak alınmış olup, SEEP/W'de minimum basınç yükü farkı 0,005 m olarak, Slide'da ise iteratif çözüm toleransı varsayılan değer olan 1×10^{-6} olarak kullanılmıştır.

3.7. Kavramsal Baraj Modeli

Bu çalışma kapsamında analizler için varsayımsal bir SSB baraj kesiti seçilmiştir. Barajın geometrisi EM 1110-2-2200 (1995)'e uygun olarak belirlenmiş ve kesit Şekil 3.8.'de gösterilmiştir. Baraj maksimum yüksekliği talvegden 28,5 m ve kret genişliği 7,0 m.'dir. Baraj gövdesi memba yüzü düşey, mansap şevi ise kretin 4 m altından itibaren 0,7 Y/1,0 D olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Silindirle Sıkıştırılmış Baraj Geometrisi (uzunluklar m cinsindendir)

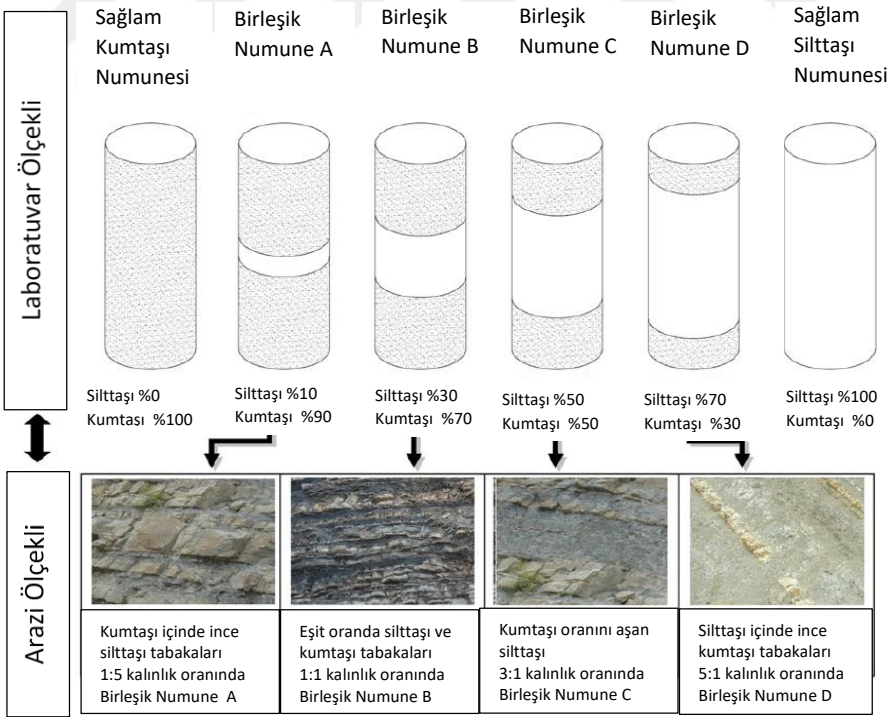
3.8. Sınır Şartları

Tüm analizlerde memba su yüksekliği kret kotunda olup mansapta kuyruk suyu bulunmamaktadır. Fliş kompozit kayadan oluşan temel derinliği sınır tabakası oluşmaması için baraj yüksekliğinin yaklaşık iki katı olacak şekilde 60 m olarak analizlerde dikkate alınmıştır.

3.9. Fliş Serisi Zayıf Sedimanter Ana Kaya Tabakalanması

Tez çalışmasının temelini, barajın oturacağı fliş serisi zayıf sedimanter kayanın heterojenliğinin sızma parametreleri üzerindeki etkisi ve bu durumun sızma üzerinde yarattığı belirsizlik oluşturmaktadır. Fliş formasyonu, genellikle kumtaşı ve ince daneli (silttaşı, şeyl, şist vb.) tabakaların ritmik ardalanmalarıyla karakterize edilen heterojen bir sedimanter birimdir. Bu ardalanmada kumtaşı tabakalarının kalınlığı birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişebilmektedir. Silttaşı ve şist gibi ince daneli birimler ise benzer kalınlıklarda gözlenmekte olup, çoğu zaman daha sık tabakalanma süreksizlikleri göstermektedir. Flişin toplam kalınlığı, bazı bölgelerde erozyon veya tektonik bindirmeler gibi yapısal süreçlerle önemli ölçüde azalmış olsa da, genel olarak oldukça büyük değerlere ulaşabilmektedir (Marinos ve Hoek, 2001).

Tziallas ve ark (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, fliş gibi tabakalı ve heterojen kayaçların mühendislik davranışlarının laboratuvar ortamında belirlenmesi amacıyla, doğada en sık rastlanan tabaka kalınlık oranlarına (1:5, 1:1, 3:1, 5:1) sahip, bozulmamış kumtaşı ve silttaşı disklerinden oluşan kompozit numuneler hazırlanmıştır. Bu üst üste bindirilmiş diskler, flişin tabakalı doğasını ve heterojenliğini laboratuvar deneylerinde temsil etmek için kullanılmış olup, bu sayede tabakalar arası geçişlerin mekanik davranış üzerindeki etkilerinin daha gerçekçi biçimde analiz edilmesi amaçlanmıştır. İlgili kompozit örnekler Şekil 3.9.'da sunulmaktadır.



Şekil 3.9. Arazide ve Laboratuvarda Farklı Kumtaşı ve Siltaşı Oranlarındaki Heterojen Fliş Numuneleri (Tziallas ve ark., 2013)

Söz konusu çalışmadan faydalanılarak, baraj temelinin oturacağı fliş serisi zayıf sedimanter kayayı temsil eden heterojen litolojik birimler ile bu birimlere ait karakteristik tabaka kalınlıkları

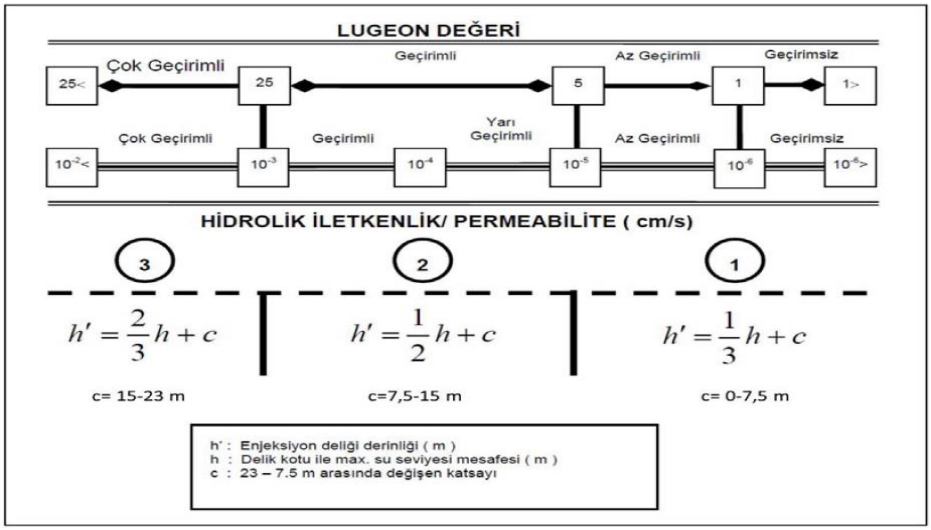
belirlenmiştir. Bu kapsamda, doğada sıklıkla karşılaşılan (1:5, 1:1, 3:1, 5:1) oranlarına sahip silttaşı ve kumtaşı bileşiminden oluşan bir kompozit fliş profili tasarlanmıştır. Toplam derinliği 60 m olarak kabul edilen bu fliş kaya profili, sayısal analizlerde kullanılmak üzere 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m kalınlıklarında ana tabakalar halinde modellenmiştir. Her bir ana tabaka, ilgili kalınlık oranlarına uygun şekilde silttaşı ve kumtaşı alt tabakalarından oluşmakta olup, bu litolojik dağılımlar AutoCAD ortamında sayısal modellemeye aktarılmıştır. Fliş serisini temsil eden bu kompozit kaya kütlesinde, her bir tabaka için esas alınan silttaşı/kumtaşı oranları ve bu oranlara karşılık gelen kalınlık değerleri Çizelge 3.4.'te ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Çizelge 3.4. Tabaka, silttaşı, kumtaşı kalınlıkları özet tablosu

Tabaka Kalınlığı(m)	Tabaka Sayısı	Tabaka Adı	Silttaşı-Kumtaşı Yüzdesi			
			10%-90%	30%-70%	50%-50%	70%-30%
6	10	Silttaşı Kalınlığı(m)	0,60	1,80	3,00	4,20
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	5,40	4,20	3,00	1,80
10	6	Silttaşı Kalınlığı(m)	1,00	3,00	5,00	7,00
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	9,00	7,00	5,00	3,00
12	5	Silttaşı Kalınlığı(m)	1,20	3,60	6,00	8,40
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	10,80	8,40	6,00	3,60
15	4	Silttaşı Kalınlığı(m)	1,50	4,50	7,50	10,50
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	13,50	10,50	7,50	4,50
20	3	Silttaşı Kalınlığı(m)	2,00	6,00	10,00	14,00
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	18,00	14,00	10,00	6,00
30	2	Silttaşı Kalınlığı(m)	3,00	9,00	15,00	27,00
		Kumtaşı Kalınlığı(m)	27,00	21,00	15,00	3,00

3.10. Başlangıç Perde Derinliği

USBR pratiğine göre, genel olarak enjeksiyon perdesi derinliği temel kayasının geçirimliliğine ve barajın yüksekliğine bağlıdır (2. Barajlar Kongresi, Beton Barajlar Tasarım İlkeleri, 2014).



Şekil 3.10. Baraj Yüksekliğine Göre Enjeksiyon Perdesi Derinliği (USBR, 1953: 2. Barajlar Kongresi, Beton Barajlar Tasarım İlkeleri, 2014'ten)

Fliş serisi zayıf sedimanter kayayı oluşturan birimler Şekil 3.10'a göre az geçirimli-geçirimsiz sınıfta yer almakta olup bu doğrultuda sayısal analizlerde kullanılmak üzere başlangıç perde boyu;

$$h' = \frac{1}{3}h + c$$

denklemine göre hesaplanarak yaklaşık 10 m olarak alınmış olup 5'er metre artışla 60 m'ye kadar devam ettirilmiş ve her perde boyu için temeldeki sızma miktarı m^3/s cinsinden bulunmuştur.

3.11. Hendek Genişliğinin Belirlenmesi

Mevcut barajlarda gövde dolgusundan, zemin temelden ve kaya temelden gerçekleşen sızmayı azaltmak amacıyla bulamaç hendeği yöntemiyle oluşturulan perdeler kullanılmaktadır (FEMA, 2015). Türkiye'de de mevcut ve tasarım aşamasında bir çok projedeki baraj temellerinde başarıyla uygulanmıştır. EM 1110-1-2908 (1994) teknik kılavuzuna göre, kaya ortamlarında dar ve derin hendeklerin açılması önemli mühendislik zorlukları ve yüksek maliyetler doğurduğundan, bulamaç perde duvarların uygulanabilirliği genellikle zeminde kullanılan ekipmanlarla kazılabilen yumuşak kayalarla sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, tabakalı yapıya sahip ve zayıf çimentolanmış kayalar, mühendislik davranışları açısından zemin karakterine oldukça yakın özellikler göstermektedir (Dong ve ark., 2012). Bu gerekçelere dayanarak, söz konusu çalışmada geçirimsizlik perdesi uygulaması için bulamaç hendeği yöntemi tercih edilmiştir.

Bulamaç hendeği duvar kalınlıklarının genellikle 0,40–1,50 metre aralığında değiştiğini belirtmiştir (Önal, 2018). Alós-Shepherd ve ark (2018), kazı derinliğine bağlı olarak duvar kalınlığının değişmesi gerektiğini ifade etmiş; düşük derinliklerde yaklaşık 0,60 m, yüksek derinliklerde ise 1,20 m kalınlık önerisinde bulunmuşlardır. Özbek (2017)'de bu aralığı

destekleyerek, hendek genişliğinin 0,60–1,50 m arasında değiştiğini belirtmiştir. FEMA (2015), yayımladığı teknik dokümanlarda bulamaç duvarların genellikle 2–5 feet (yaklaşık 0,60–1,50 m) genişliğindeki hendekler aracılığıyla inşa edildiğini bildirmiştir. Nemati (2005,3s) ise bulamaç duvarlarının tipik kalınlıklarını 0,60–1,20 m arasında vermiştir. Bu çalışmada, yapılan sonlu elemanlar analizlerinde literatürde belirtilen aralıklar dikkate alınarak, temsili bulamaç hendeği duvar kalınlığı 0,90 m olarak seçilmiştir.

3.12. Malzeme Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

İncelenen kesitte temeldeki zayıf fliş serisi sedimanter kayayı oluşturan silttaşı ve kumtaşı tabakaları ile bulamaç hendeği geri dolgu malzemesine ait hidrolik iletkenlik değerleri temelin sızma davranışını büyük ölçüde belirlediğinden bu değerler gerçek veriler içeren uluslararası kabul görmüş standartlar, teknik kılavuzlar ve konuya ilişkin güncel literatüre dayanarak tespit edilmiştir. Barajın gövdesine ait hidrolik iletkenlik değeri de aynı şekilde belirlenerek analizlerde dikkate alınmıştır.

3.12.1. Fliş Serisi Zayıf Sedimanter Kayayı Oluşturan Silttaşı ve Kumtaşının Hidrolik İletkenlik Değerleri

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar, konvansiyonel beton barajlara kıyasla daha zayıf temel koşullarında inşa edilebilme avantajı sunmaktadır. Nitekim, klasik beton baraj yapımına uygun görülmeyen ancak kaya dolgu baraj yapımına elverişli temeller, SSB barajlar için yeterli zemin koşullarını sağlayabilmektedir (Temelsu, 2005,2s). ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin EM 1110-2-1911 (1995) sayılı teknik kılavuzuna göre şeyl, çamurtaşı, silttaşı, kiltaşı ve zayıf çimentolanmış kumtaşı gibi litolojiler "zayıf kaya" sınıfında değerlendirilmektedir. Tez kapsamında incelenen fliş serisini oluşturan silttaşı ve kumtaşı ardalanmaları da bu sınıflandırma içinde yer almakta ve temel jeoteknik açıdan zayıf kaya birimleri olarak kabul edilmektedir. Nitekim Sattler ve Paraskevopoulou (2019), "zayıf kaya" teriminin hem kaya malzemesi hem de kaya kütleleri için yaygın şekilde kullanıldığını, bu durumun temel nedenlerinin ise zayıf bağlanma ve ayrışmış bileşenler olduğunu vurgulamaktadır.

Fliş serisinin zayıf kaya karakterini belirleyen iki önemli faktör öne çıkmaktadır: litolojilerin heterojen yapısı ve düşük sıkışma/sıralanma koşulları. Bu faktörler, özellikle geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Fliş içerisindeki kumtaşı tabakalarının sıkışma düzeyi ve çimentolanma durumu, hidrolik iletkenlik değerlerinde büyük farklılıklara yol açmaktadır. Gevşek, sıkışmamış kumtaşları genellikle daha yüksek geçirimlilik gösterirken, sıkışmış ve iyi çimentolanmış kumtaşları daha düşük geçirgenlik değerlerine sahiptir. Silttaşı tabakaları ise ince taneli yapıları nedeniyle suyun geçişine daha fazla direnç göstermekte, dolayısıyla kumtaşına kıyasla genellikle daha düşük hidrolik iletkenlik değerleri sergilemektedir. Ancak silttaşının

geçirgenliği de tane boyutu, porozite, ayrışma ve sıkışma koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Kırıklı ve çok eklemli kayalarda hidrolik iletkenlik değerlerinin $10^{-3} – 10^{-7}$ m/s, az eklemli ve daha sağlam kayalarda ise $10^{-7} – 10^{-10}$ m/s aralığında değiştiği bildirilmektedir (Milligan, 1976: EM 1110-2-1901, 1986'dan).

Literatürde yapılan çeşitli araştırmalarda silttaşı ve benzeri ince daneli sedimanter kayaların hidrolik iletkenlik değerlerine ilişkin geniş bir aralık bildirilmiştir. Kompakt silttaşlarının iletkenliğini $10^{-10} – 10^{-12}$ m/s arasında vermişlerdir (Singhal ve. Gupta, 1999, Spitz ve Moreno, 1996, Bear, 1972: Hsu ve ark., 2011'den). Silttaşı ve şeyl türü kayaçların hidrolik iletkenliğinin $10^{-9} – 10^{-13}$ m/s arasında değiştiğini, ancak çatlaklı ve zayıf çimentolanmış birimlerde bu değerlerin $10^{-4} – 10^{-7}$ m/s seviyelerine kadar yükseldiğini bildirmektedirler (Singhal and Gupta, 1999; Cook 2003'den). Benzer şekilde Dong ve ark (2012), şeylli silttaşlarında $10^{-9} – 10^{-11}$ m/s, siltli şeyl birimlerinde ise $10^{-8} – 10^{-13}$ m/s aralığında değerler bildirmiştir. Bu çalışmada literatür ile uyumlu olacak şekilde silttaşı birimleri için temsili hidrolik iletkenlik aralığı $10^{-7} – 10^{-8}$ m/s olarak seçilmiştir.

Literatürde kumtaşı türü sedimanter kayaların hidrolik iletkenlik değerleri için ise daha geniş bir geçirimlilik aralığı rapor edilmektedir. Kumtaşı için hidrolik iletkenliği $10^{-6} – 10^{-9}$ m/s değerleri arasında vemişlerdir (Singhal ve. Gupta, 1999, Spitz ve Moreno, 1996, Bear, 1972: Hsu ve ark., 2011'den). 0,003-5 m/gün (yaklaşık $3{,}47\times10^{-8} – 5{,}79\times10^{-5}$ m/s) aralıklarını bildirmişlerdir (Davis, 1988: Cook, 2003'den). Dong ve ark (2012), $10^{-5} – 10^{-11}$ m/s arasında değerler rapor etmişlerdir. Hidrolik iletkenlik aralığındaki değişimi 1,0-10^{-5} m/gün (yaklaşık $1{,}16\times10^{-5}$-$1{,}16\times10^{-10}$ m/s) olarak vermişlerdir (Fitts, 2013: Ward ve Kelly 2013'den). Tipik hidrolik iletkenlik değerlerini $10^{-6} – 10^{-10}$ m/s aralığında tanımlamışlardır (Freeze ve Cherry, 1979: Selbert ve Taulis, 2019'dan). Orta taneli kumtaşları için $2\times10^{-3} – 10^{-6}$ m/s, siltli kumtaşları için 5×10^{-5} m/s değerlerini vermektedir (USBR, 2011: Broaddus, 2015'den). Widodo ve ark (2016), çalışmalarında litolojiye bağlı olarak maksimum ve miniumum hidrolik iletkenlik değerlerini $1{,}90922\times10^{-6} – 1{,}89878\times10^{-7}$ m/s arasında elde etmişlerdir. British Geological Survey tarafındann yayımlanan geçirimlilik veri tabanında ise kumtaşları için $5\times10^{-5} – 2\times10^{1}$ m/gün (yaklaşık $5{,}79\times10^{-10} – 2{,}31\times10^{-4}$ m/s) arasında oldukça geniş bir aralık bildirilmiştir (Lewis, 1989: Lewis ve ark., 2006'dan). USDA (2012) sınıflamasında ise eklemsiz ve çimentolu kumtaşları için $10^{-2} – 10^{-5}$ m/gün (yaklaşık $1{,}16\times10^{-7} – 1{,}16\times10^{-10}$ m/s), ufalanabilir kumtaşları için ise $1{,}0 – 10^{-3}$ m/gün (yaklaşık $1{,}16\times10^{-5} – 1{,}16\times10^{-8}$ m/s) aralıkları önerilmektedir. Laboratuvar ortamında ölçülen sağlam kumtaşlarında hidrolik iletkenlik $1{,}2\times10^{-7} – 1{,}6\times10^{-9}$ m/s iken, yerinde ölçümlerde bu değer 10^{-4} m/s seviyelerine kadar çıkabilmektedir. (Serafim, 1968**:**U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1976'dan) Bu çalışmada kumtaşı için temsili hidrolik iletkenlik aralığı $10^{-5} – 10^{-6}$ m/s olarak alınmıştır.

Sonuç olarak, fliş serisi içinde yer alan silttaşı ve kumtaşı birimleri, farklı fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri nedeniyle geçirgenlik açısından geniş bir aralıkta değerler sergilemektedir. Özellikle zayıf çimentolu, kırıklı ve ayrışmış kumtaşı tabakalarında daha yüksek hidrolik iletkenlik

değerleri söz konusu olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada $10^{-5} – 10^{-6}$ m/s gibi kumtaşı için yüksek hidrolik iletkenlik değerleri tabaka içi sızma yollarının baskın olduğu olumsuz koşulların modellenmesi amacıyla dikkate alınmıştır.

3.12.2. Plastik Beton Hidrolik İletkenlik Değeri

SSB baraj temelinde aranan özelliklerden biri de baraj kütlesinin deformasyonu ile temel kayasının deformasyonun birbiri ile uyumluluk göstermesidir. Beton kütlede çatlak oluşmaması için kaya temelin üzerindeki betonla birlikte davranmaları yani uyumlu deformasyon yapmaları gereklidir (Temelsu, 2005,2s). Bu gereklilik doğrultusunda geçirimsizlik hattı geri dolgusu olarak kullanılan malzemenin yalnızca düşük geçirimlilik özelliğine sahip olması yeterli görülmemekte; aynı zamanda mekanik deformasyon özellikleri açısından da baraj temeli ile uyumlu davranış göstermesi beklenmektedir. Bu bağlamda, plastik beton düşük geçirimlilik, yüklere karşı yeterli direnç, temelle uyumlu yüksek süneklik, yük altında çatlamadan deformasyon gereksinimlerini karşılaması nedeniyle Faridmehr ve ark (2019) yaptıkları çalışmada geri dolgu malzemesi olarak seçilmiştir. Plastik beton geleneksel betondan daha sünek ve sertlik açısından çevresindeki zeminle daha uyumlu olması FEMA (2015) bu tercihi desteklemektedir. Yanı sıra temel kayası ile benzer deformasyon uyumluluğu sağlayabilmesi açısından, yüksek şekil değiştirilebilirliğe sahip olması plastik betonu uygun bir malzeme haline getirmektedir (ICOLD, 1985: Mansuri ve Salmasi, 2013'den). Tüm bu nedenlerle, bu çalışmada SSB baraj temelinde oluşturulan geçirimsizlik hattının geri dolgu malzemesi olarak plastik beton tercih edilmiştir.

Plastik beton karışımlarında en yaygın olarak kullanılan bileşenler çimento, bentonit, su ve agregadır. Bununla birlikte, uçucu kül ve taban külü gibi endüstriyel yan ürünler de karışımın özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir (USSD, 2011).

Araştırmacılar, çalışmalarında plastik betonun hidrolik iletkenliğinin 10^{-8} m/s mertebesinde olduğunu ifade etmişlerdir (Solanki ve ark. 2022; Shepherd ve ark. 2018; Faridmehr ve ark. 2019). USSD (2011), plastik betonun hidrolik iletkenliğinin $10^{-8} – 10^{-10}$ m/s aralığında değişebileceğini belirtmektedir. Bruce (2009) ise, son yıllarda çeşitli baraj iyileştirme projelerinde kullanılan plastik beton karışımlarının saha uygulamalarında $10^{-7} – 10^{-9}$ m/s aralığında hidrolik iletkenlik gösterdiğini ifade etmektedir. Yan ve ark. (2008), laboratuvar ortamında hazırlanan plastik beton numunelerinde hidrolik iletkenlik değerinin 2×10^{-9} m/s'den daha düşük olduğunu, ancak saha testlerinde bu değerin yaklaşık 10^{-7} m/s seviyelerine kadar yükseldiğini belirtmişlerdir. Türkiye'de gerçekleştirilen bir saha uygulaması olan Dalaman Akköprü Barajı'nda yapılan ölçümler sonucunda Tosun ve ark. (2002), plastik betonun hidrolik iletkenlik değeri $8{,}3\times10^{-9} – 9{,}0\times10^{-9}$ cm/s (yaklaşık $8{,}3\times10^{-11} – 9{,}0\times10^{-11}$ m/s) aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Apaydın (2022), çalışmasında Türkiye'de kabul gören uygulamaya göre, laboratuvar testleri sonucunda ideal geçirgenlik değerinin 1×10^{-6} cm/s (1×10^{-8} m/s)'den az olması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde,

literatür verileriyle uyumlu olacak şekilde, plastik betonun temsili hidrolik iletkenlik değeri 10^{-8} – 10^{-9} m/s aralığında alınmıştır.

3.12.3. SSB Baraj Gövdesinin Hidrolik İletkenlik Değeri

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) baraj gövdelerinin hidrolik iletkenlik değerleri, konvansiyonel betonlara kıyasla daha yüksektir. EM 1110-2-2006 (2000) ve ACI 207.5R-99 teknik kılavuzlarında, SSB karışımları için hidrolik iletkenlik değerlerinin $1{,}5\times10^{-9}$ – $1{,}5\times10^{-11}$ m/s aralığında değişebileceği belirtilmektedir. Literatürde bildirilen saha ve laboratuvar verileri de bu aralığı desteklemektedir. Örneğin, Mairaing ve ark (2008), SSB gövdeleri için geçirgenlik katsayısının 10^{-6} – 10^{-8} m/s arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Saracco ve Bochnak (2020), kompakt bir SSB gövdesinde $2{,}7\times10^{-12}$ m/s gibi oldukça düşük bir değer ölçtüklerini rapor etmiş; Li (2015) çalışmasında SSB numunelerinde 10^{-11} m/s düzeyinde hidrolik iletkenlik tespit etmiştir. Sürmeli (2002) tezinde SSB için hidrolik iletkenlik katsayısının genelde 10^{-6} ile 10^{-7} cm/s (10^{-8} ile 10^{-9} m/s) arasında değiştiğini ifade etmiştir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, SSB baraj gövdesi için temsili hidrolik iletkenlik değeri 5×10^{-10} m/s olarak analizlerde dikkate alınmıştır.

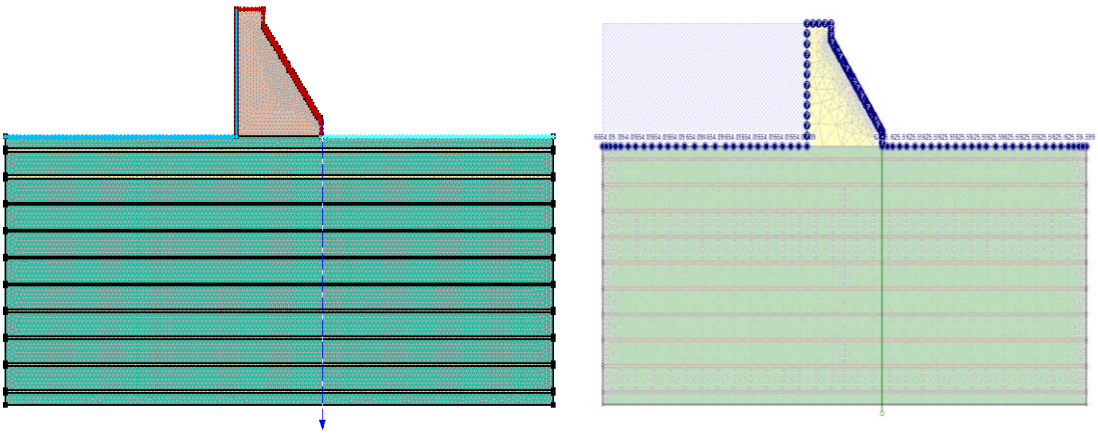
3.13. Parametre Özet Tablosu

Bu çalışmada fliş serisi sedimanter zayıf kayayı oluşturan her bir tabaka için esas alınan silttaşı/kumtaşı oranları ve bu oranlara karşılık gelen tabaka sayısı ve kalınlık değerleri Çizelge 3.4.'te verilmiş olup, farklı senaryolarda kullanılan silttaşı ve kumtaşı tabakaları, plastik beton ve baraj gövdesine ait temsili hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 3.5.'te özetlenmiştir. Senaryoların tamamında silttaşı tabakalarının kırıklı ve ayrışmış olduğu varsayılarak, geçirimlilik değeri 1×10^{-7} – 1×10^{-8} m/s aralığında tanımlanmıştır. Bununla birlikte, fliş içerisindeki zayıf çimentolu kumtaşı zonlarında ise 1×10^{-5} –.1×10^{-6} – m/s'ye kadar ulaşan geçirimlilik değerleri seçilmiştir.

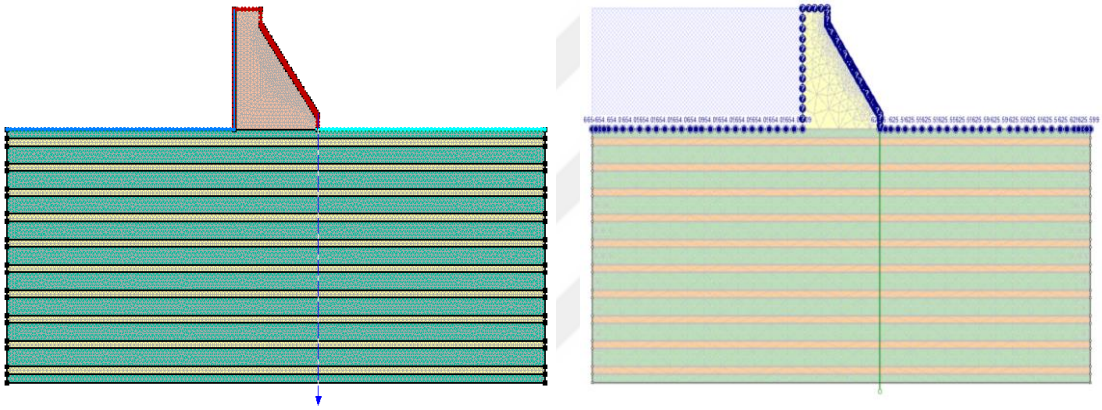
Çizelge 3.5. Analizlerde kullanılan malzeme parametreleri özet tablosu

		Hidrolik İletkenlik (m/s)			
		Kumtaşı	Silttaşı	Plastik Beton	Gövde
Senaryo-1	Senaryo-1a	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	5×10^{-10}
	Senaryo-1b	10^{-6}	10^{-7}	10^{-9}	
	Senaryo-1c	10^{-6}	10^{-8}	10^{-9}	
Senaryo-2	Senaryo-2a	10^{-5}	10^{-7}	10^{-8}	
	Senaryo-2b	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	
	Senaryo-2c	10^{-5}	10^{-8}	10^{-9}	

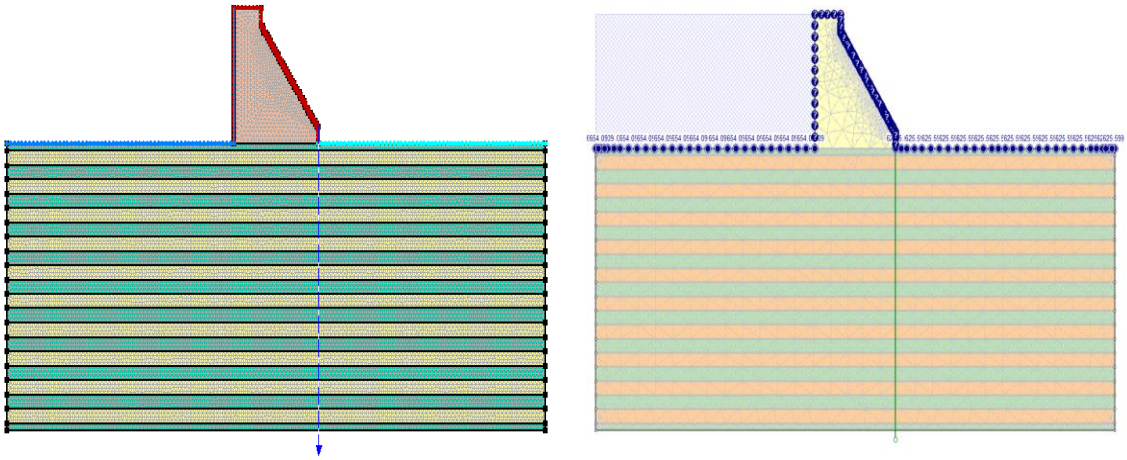
3.14. Analizlerde Kullanılan Farklı Tabaka Kalınlıklarına ve Silttaşı Yüzdelerine Ait Kesitler



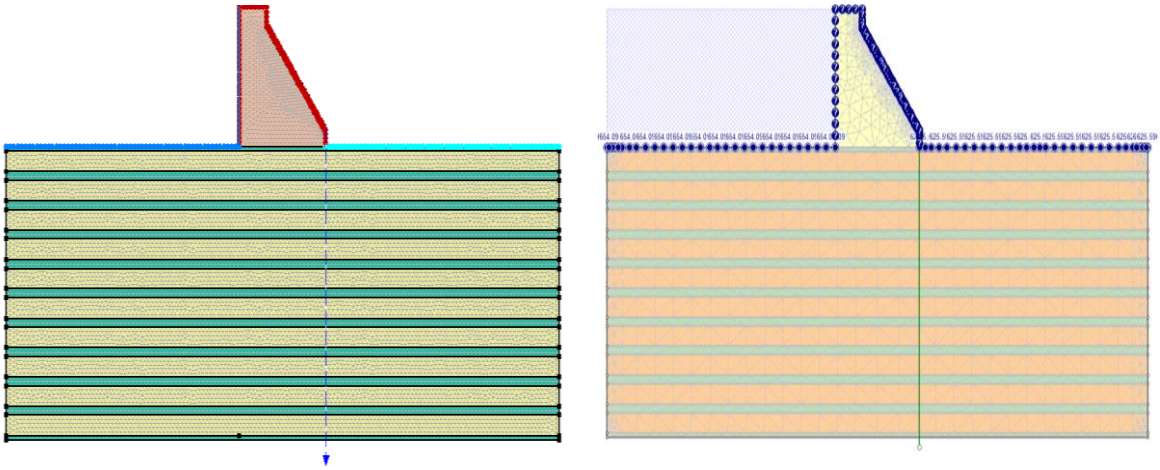
Şekil 3.11. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



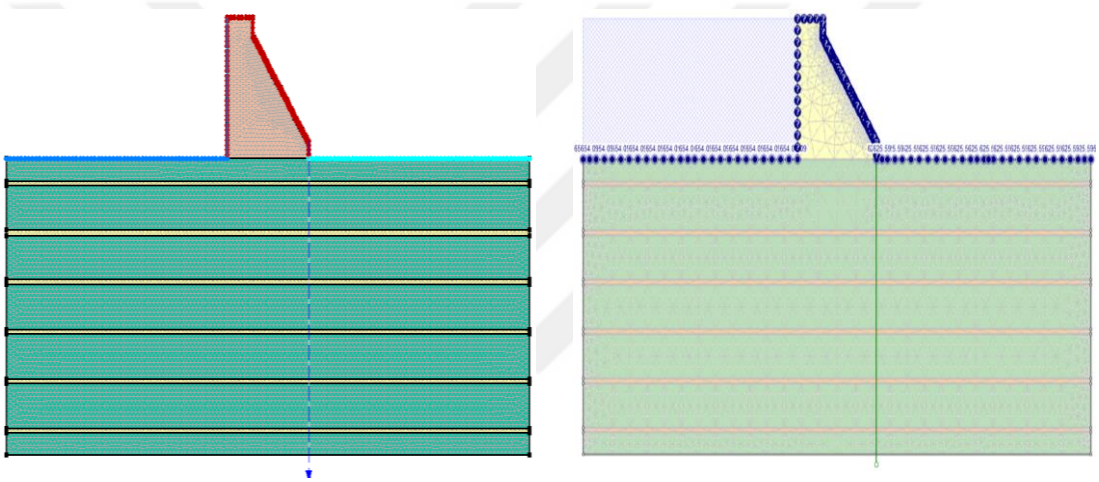
Şekil 3.12. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



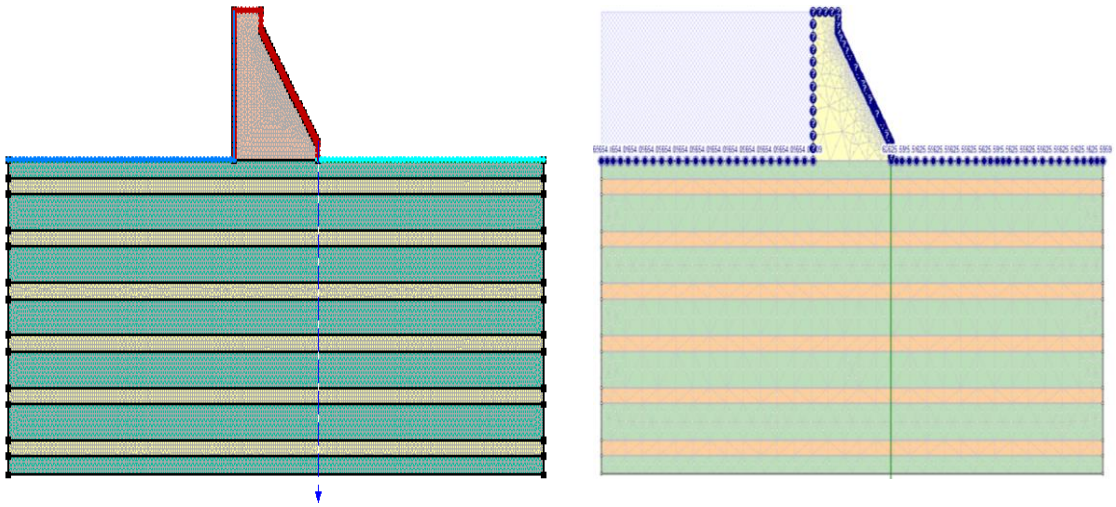
Şekil 3.13. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



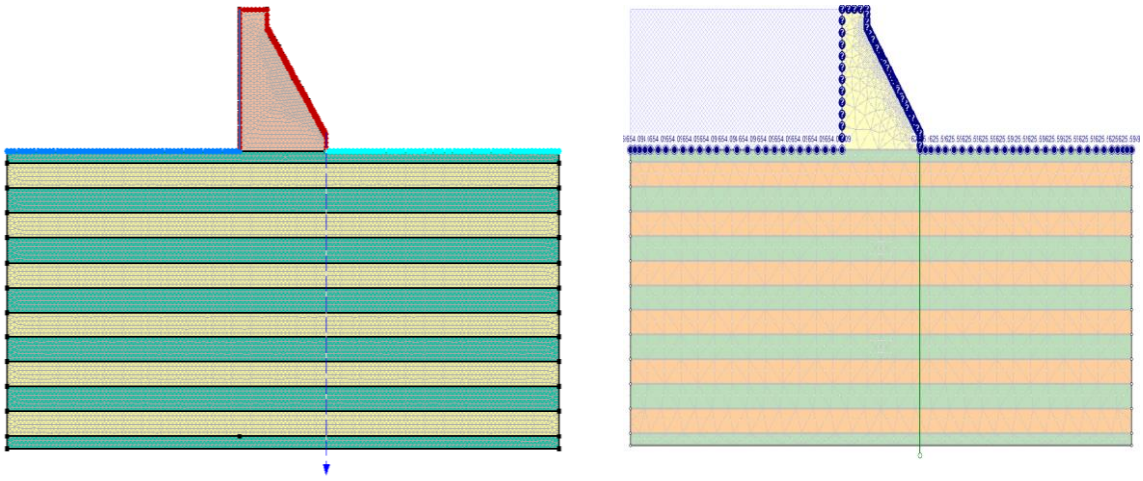
Şekil 3.14. Tabaka Kalınlığı 6 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



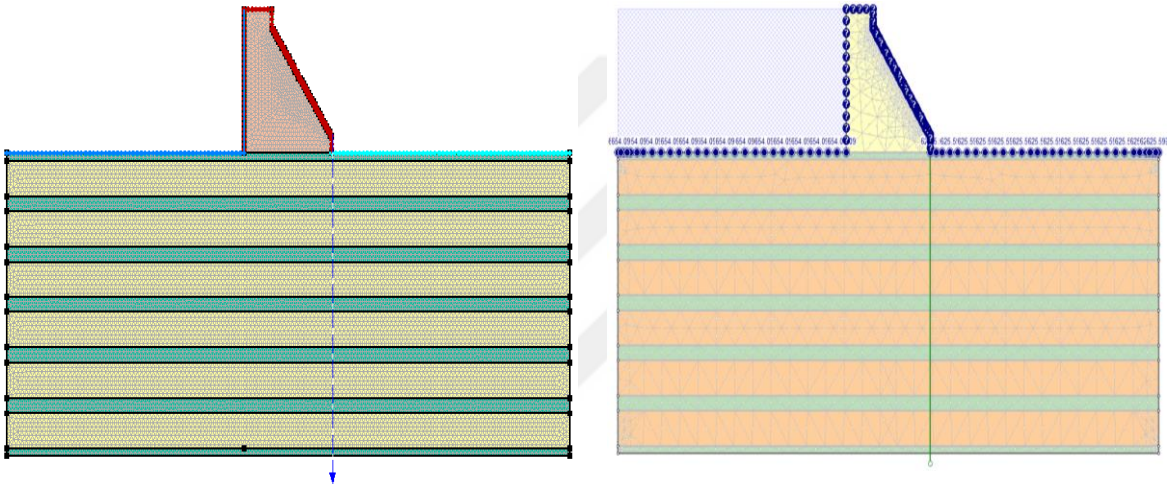
Şekil 3.15. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



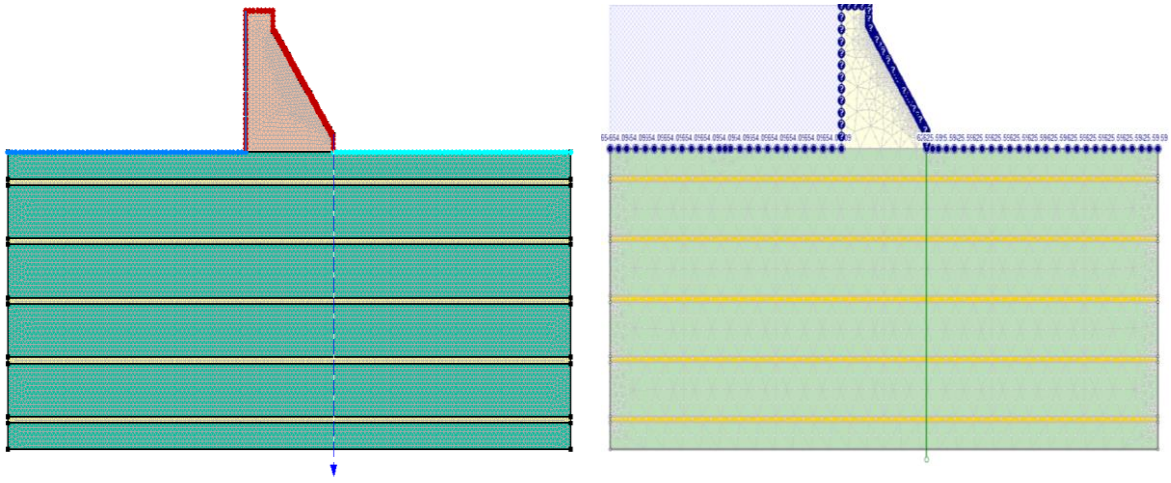
Şekil 3.16. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



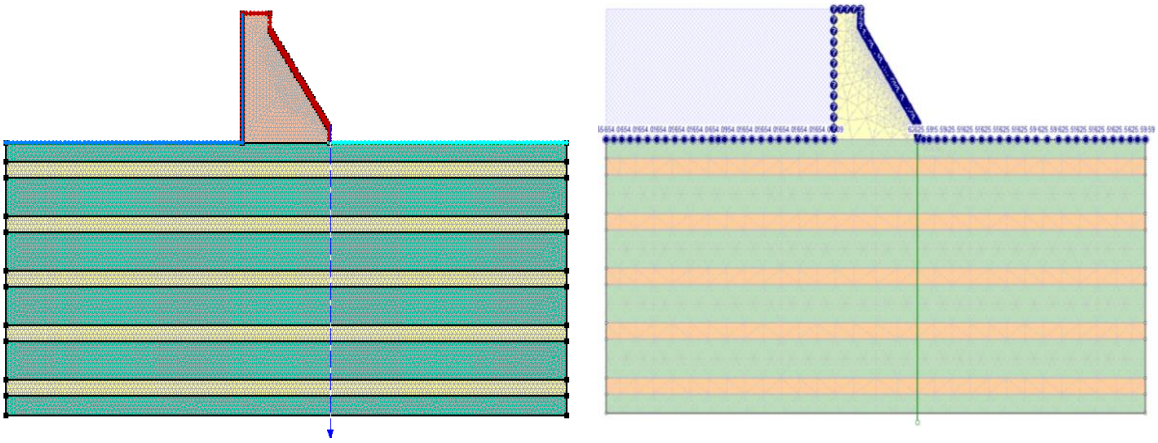
Şekil 3.17. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



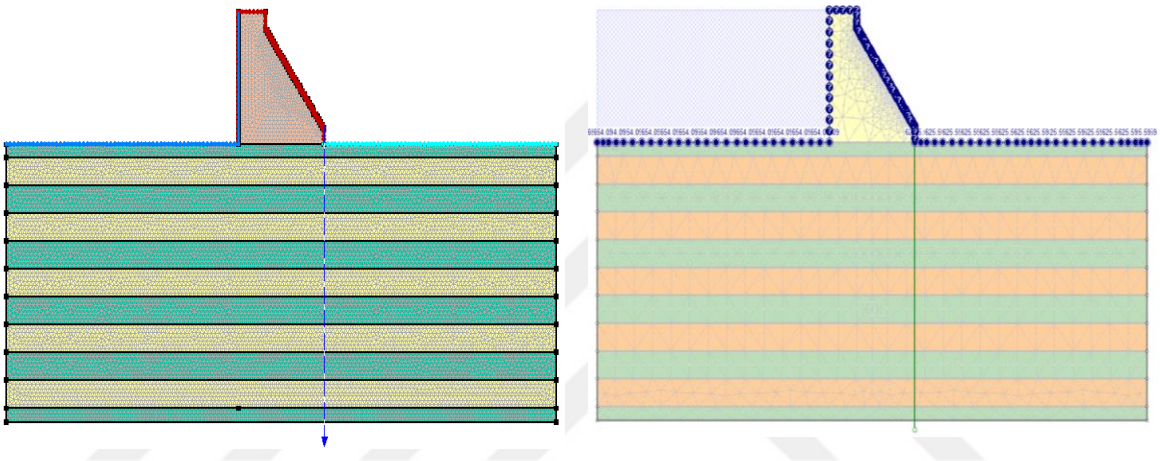
Şekil 3.18. Tabaka Kalınlığı 10 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



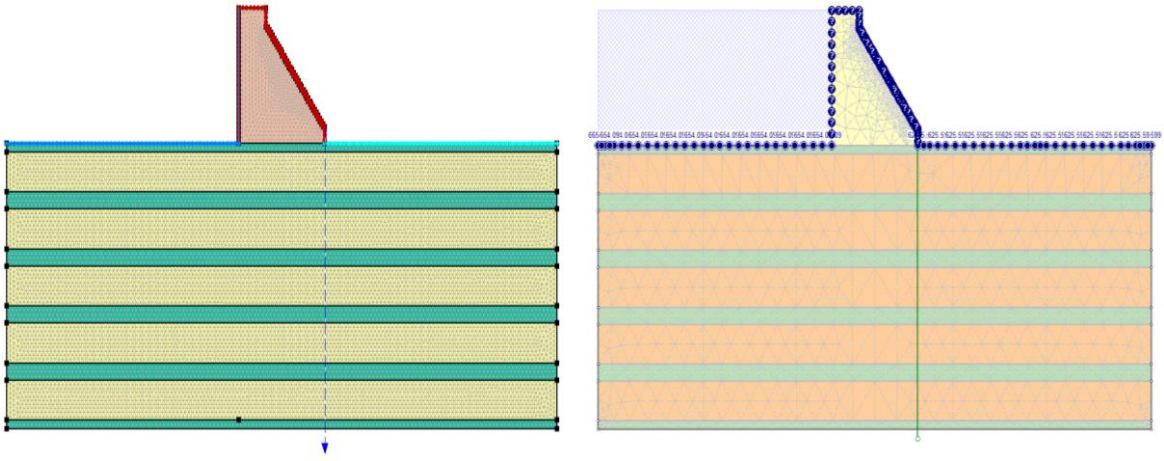
Şekil 3.19. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



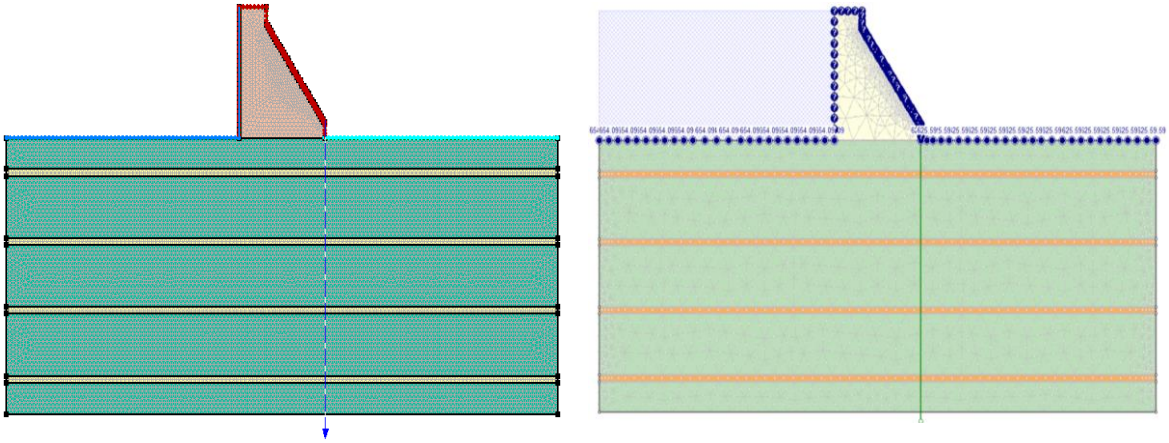
Şekil 3.20. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



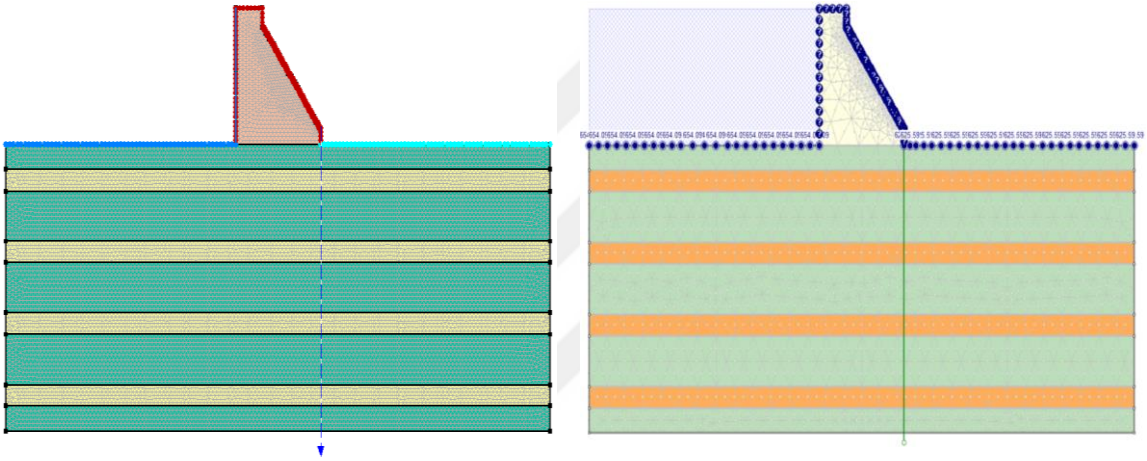
Şekil 3.21. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



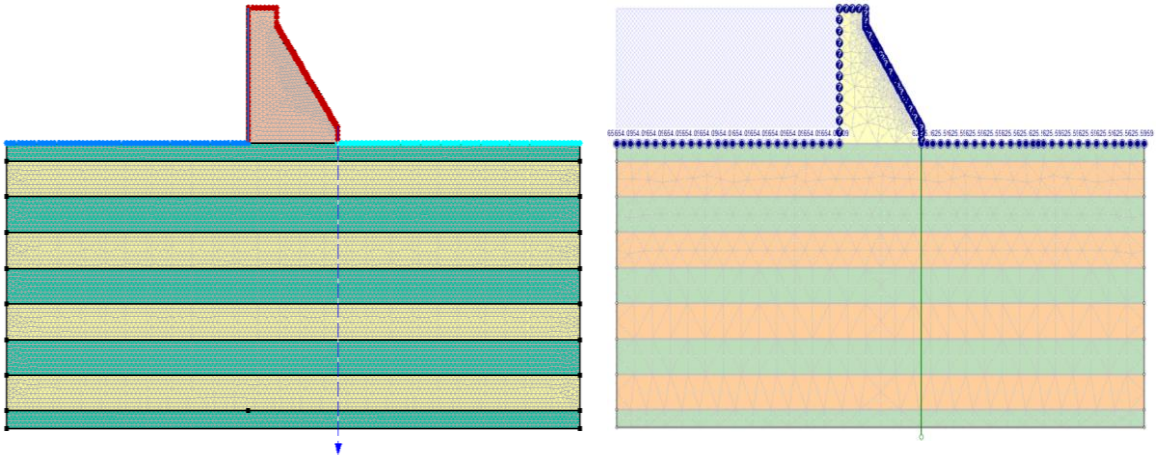
Şekil 3.22. Tabaka Kalınlığı 12 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



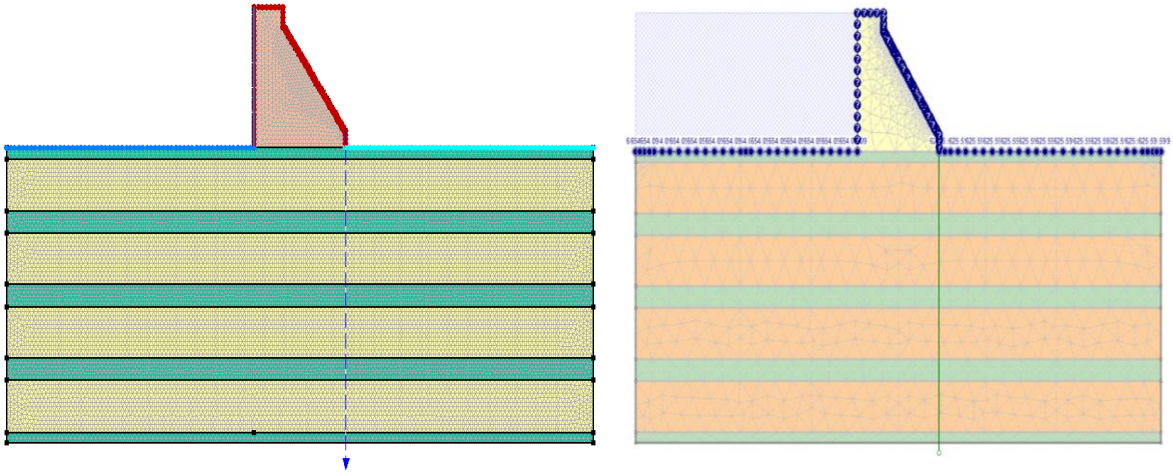
Şekil 3.23. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



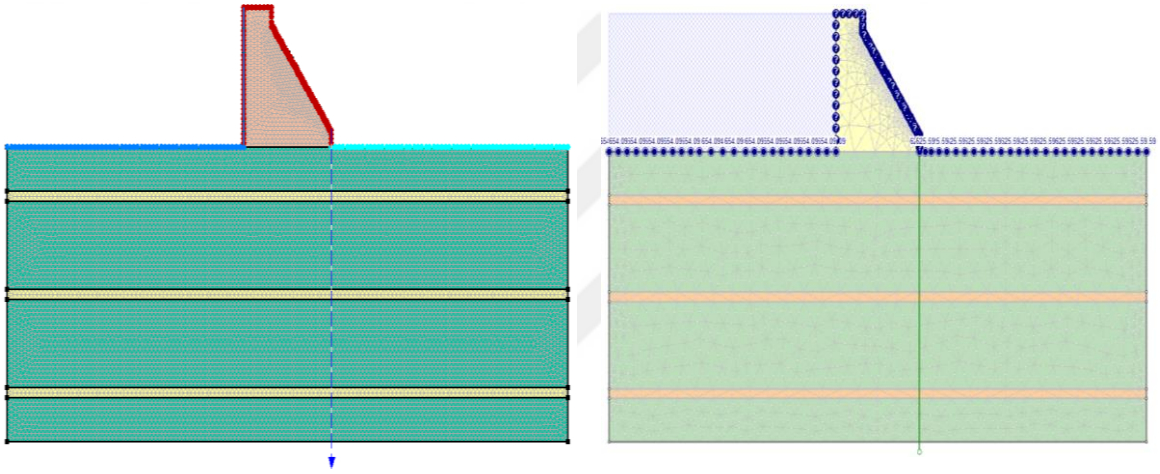
Şekil 3.24. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



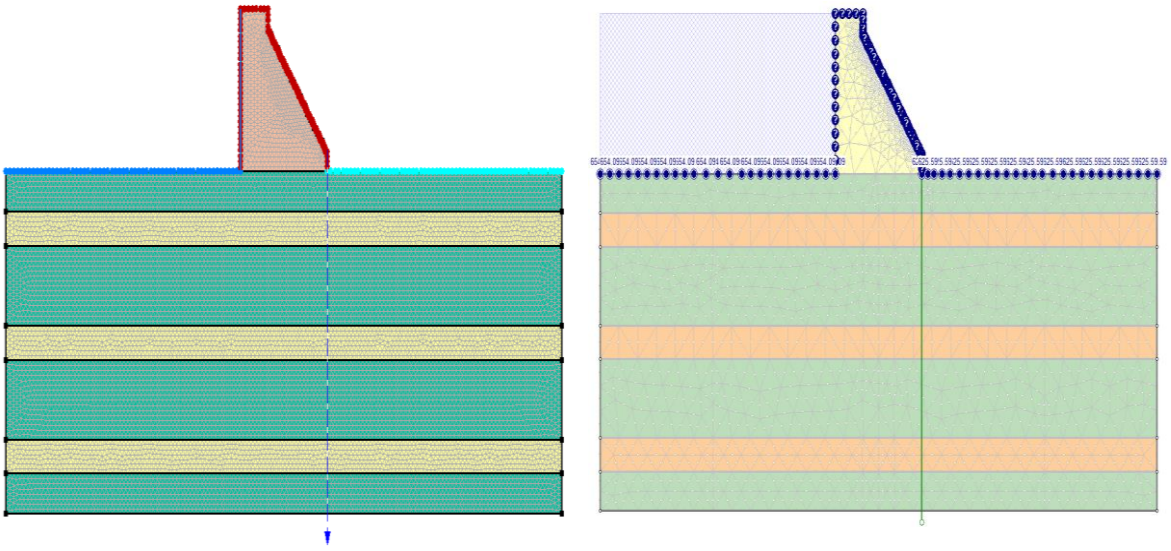
Şekil 3.25. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



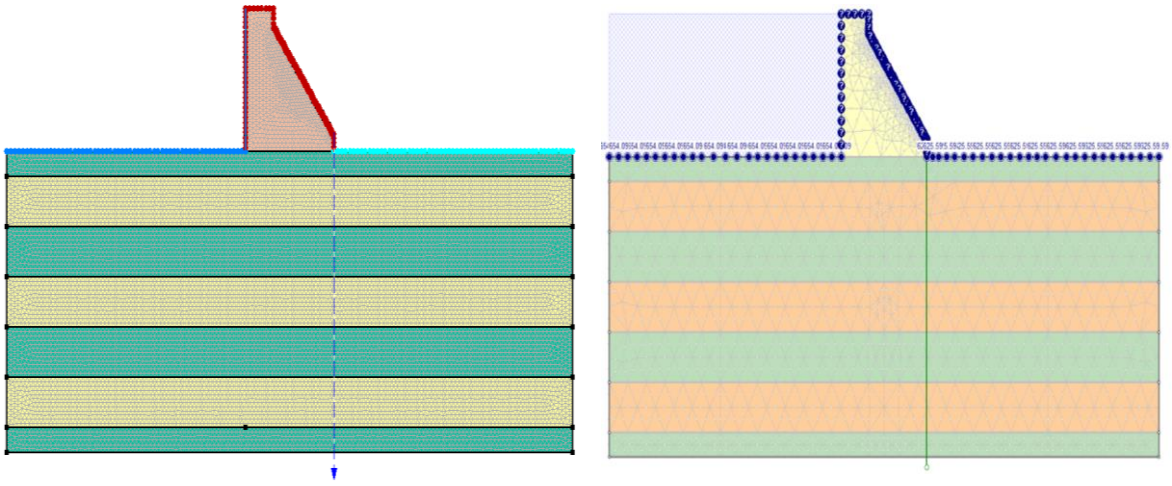
Şekil 3.26. Tabaka Kalınlığı 15 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



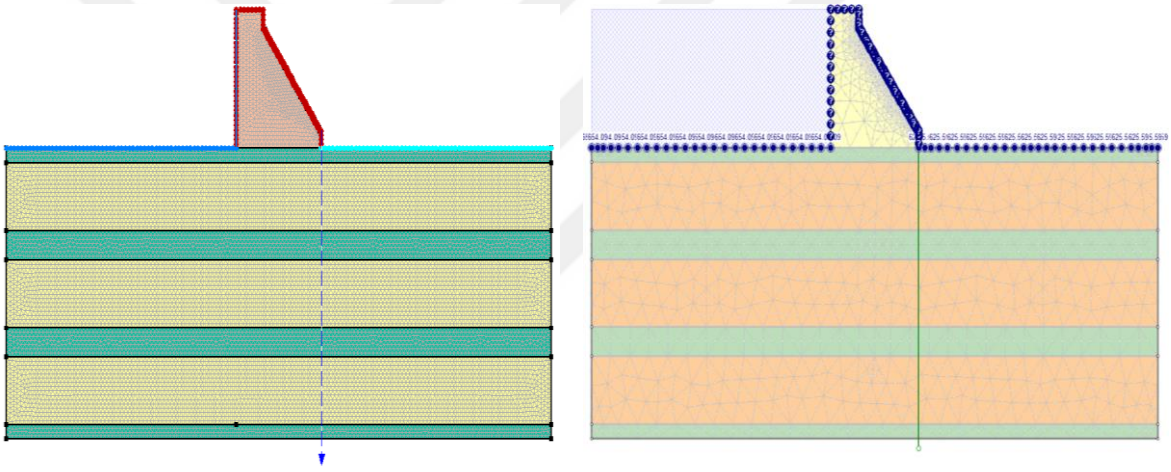
Şekil 3.27. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



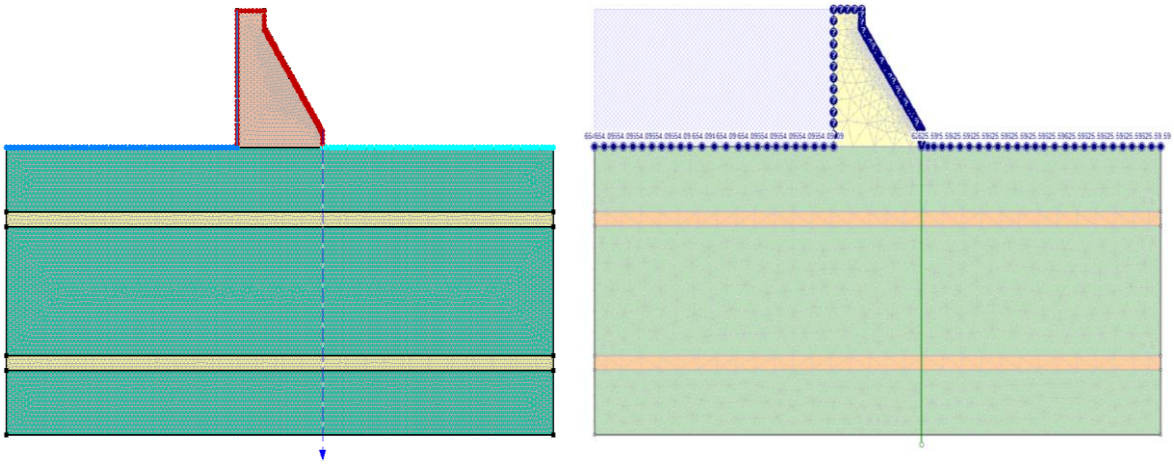
Şekil 3.28. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



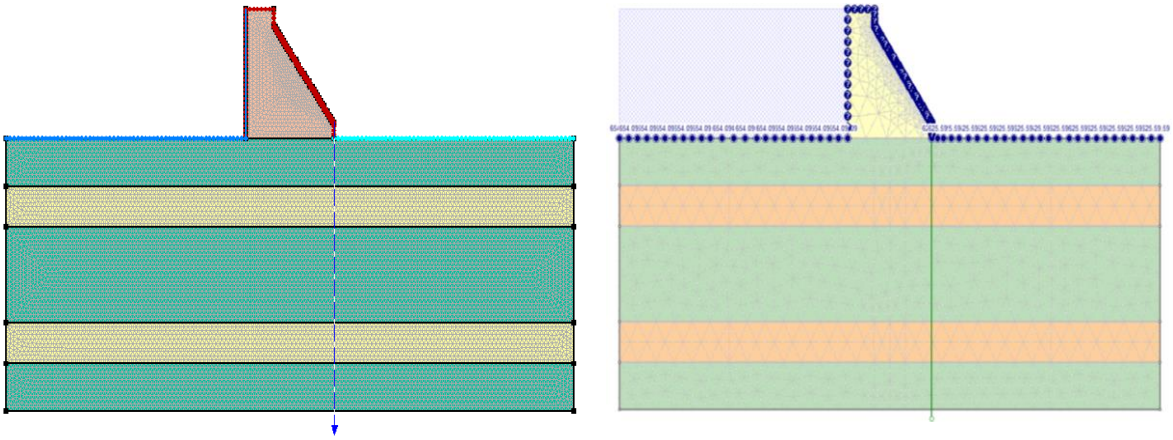
Şekil 3.29. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



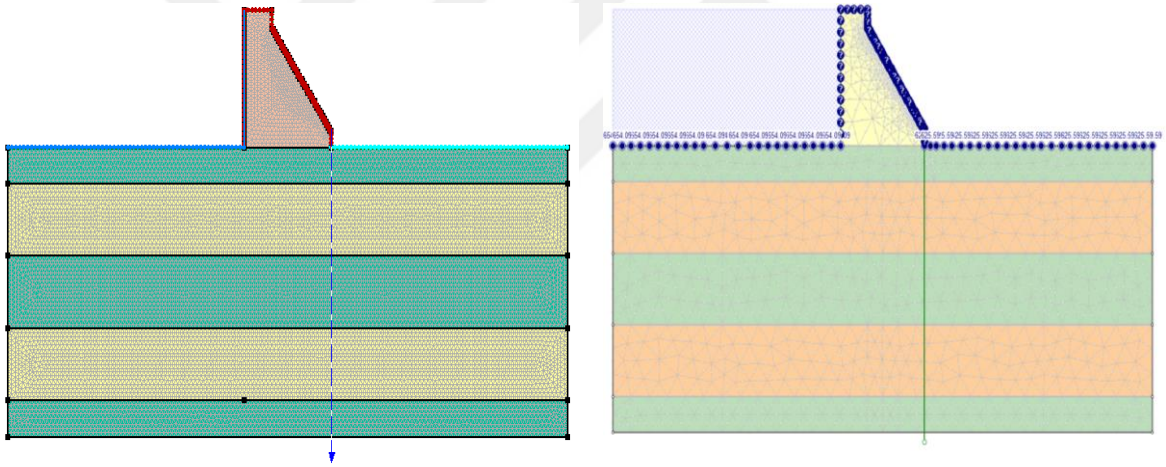
Şekil 3.30. Tabaka Kalınlığı 20 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



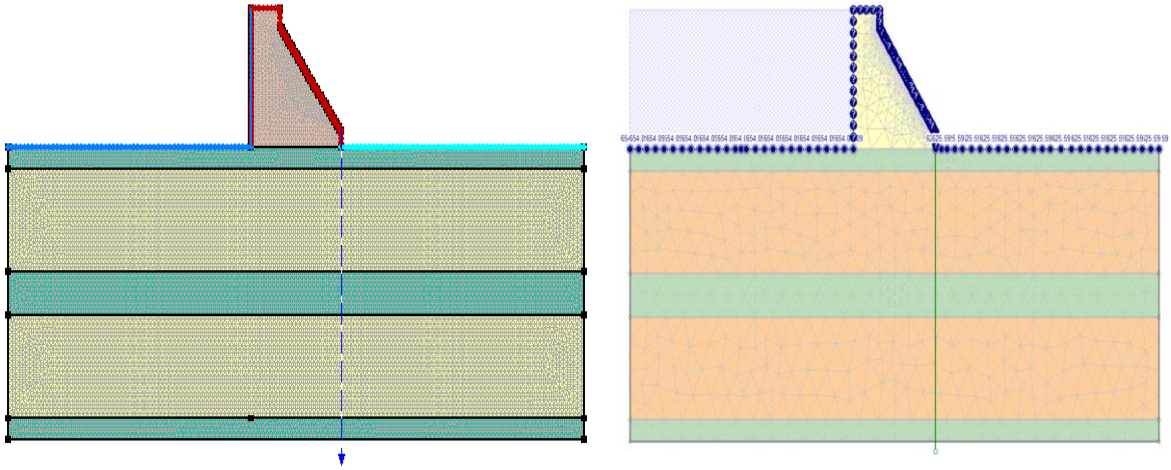
Şekil 3.31. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %10 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



Şekil 3.32. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %30 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



Şekil 3.33. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %50 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)



Şekil 3.34. Tabaka Kalınlığı 30 m ve Silttaşı %70 Olan Kesit (Geostudio 12-Slide 6.0)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Geostudio 12 ve Slide 6.0 ve Programından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçlarının Karşılaştırması

Çalışmada kullanılan paket programlarla yapılan sızma analizi sonuçları tablo halinde aşağıda verilmiş olup sızma miktarları $m^3/s/m$ cinsindendir.

4.2. Senaryo-1 Sızma Analizi Sonuçları

Senaryo-1'de yapılan alt analizlerin tamamında; kumtaşı hidrolik iletkenlik değeri 10^{-6} m/s olarak alınmış olup silttaşı hidrolik iletkenlik değeri ilk iki alt senaryoda 10^{-7} m/s üçüncü alt senaryo da ise 10^{-8} m/s değeri olarak kabul edilmiştir. Plastik beton hidrolik iletkenlik değeri ise ilk iki senaryoda 10^{-8} m/s, üçüncü alt senaryoda 10^{-9} m/s olarak dikkate alınmıştır.

4.2.1. Senaryo-1a Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları

Senaryo-1a'da yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s, plastik betonda 10^{-8} m/s olarak alınmıştır.

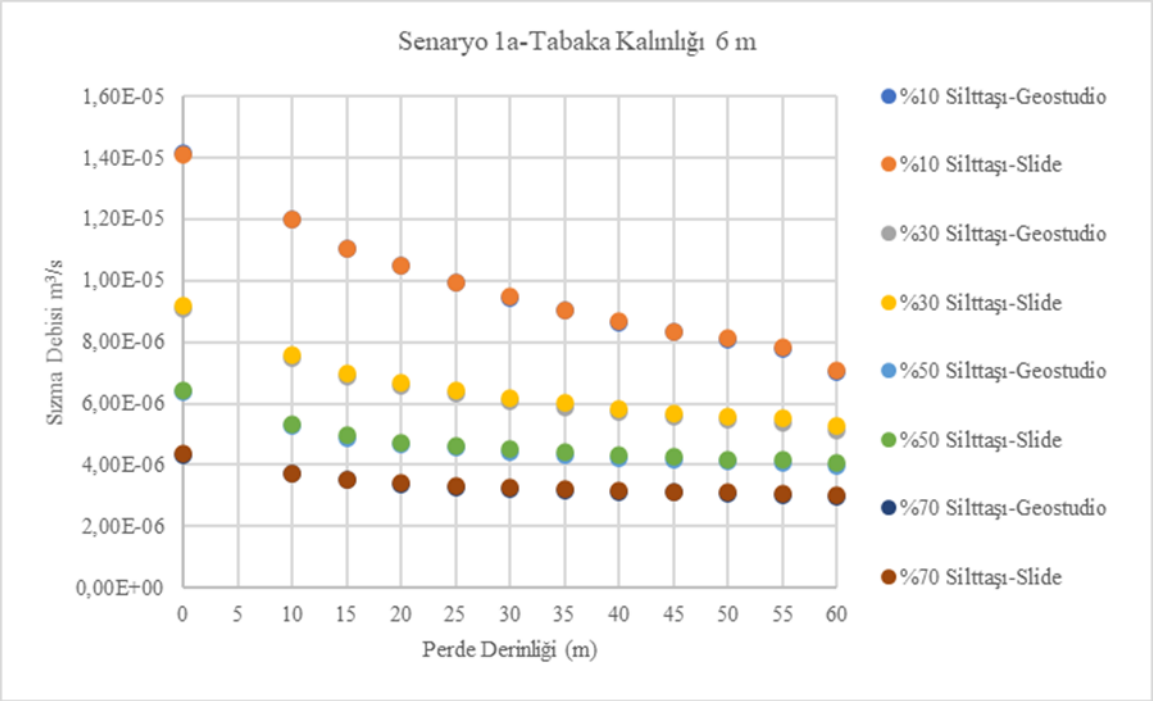
Çizelge 4.1. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}2005\times10^{-5}$	15	$7{,}4824\times10^{-6}$	18	$5{,}2673\times10^{-6}$	17	$3{,}7007\times10^{-6}$	14
15	$1{,}1022\times10^{-5}$	22	$6{,}8820\times10^{-6}$	24	$4{,}8945\times10^{-6}$	23	$3{,}4968\times10^{-6}$	19
20	$1{,}0483\times10^{-5}$	26	$6{,}5581\times10^{-6}$	28	$4{,}6544\times10^{-6}$	27	$3{,}3617\times10^{-6}$	22
25	$9{,}9199\times10^{-6}$	30	$6{,}3249\times10^{-6}$	30	$4{,}5614\times10^{-6}$	28	$3{,}2761\times10^{-6}$	24
30	$9{,}4335\times10^{-6}$	33	$6{,}0828\times10^{-6}$	33	$4{,}4334\times10^{-6}$	31	$3{,}2416\times10^{-6}$	25
35	$9{,}0188\times10^{-6}$	36	$5{,}8839\times10^{-6}$	35	$4{,}3233\times10^{-6}$	32	$3{,}1804\times10^{-6}$	26
40	$8{,}6521\times10^{-6}$	39	$5{,}7182\times10^{-6}$	37	$4{,}2333\times10^{-6}$	34	$3{,}1311\times10^{-6}$	27
45	$8{,}3112\times10^{-6}$	41	$5{,}5778\times10^{-6}$	39	$4{,}1620\times10^{-6}$	35	$3{,}0927\times10^{-6}$	28
50	$8{,}0854\times10^{-6}$	43	$5{,}4826\times10^{-6}$	40	$4{,}1031\times10^{-6}$	36	$3{,}0604\times10^{-6}$	29
55	$7{,}7926\times10^{-6}$	45	$5{,}3976\times10^{-6}$	41	$4{,}0726\times10^{-6}$	36	$3{,}0313\times10^{-6}$	30
60	$7{,}0077\times10^{-6}$	50	$5{,}1368\times10^{-6}$	43	$3{,}9612\times10^{-6}$	38	$2{,}9897\times10^{-6}$	31
Perdesiz	$1{,}4149\times10^{-5}$		$9{,}0907\times10^{-6}$		$6{,}3793\times10^{-6}$		$4{,}3127\times10^{-6}$	

Çizelge 4.2. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1977\times10^{-5}$	15	$7{,}5892\times10^{-6}$	17	$5{,}3324\times10^{-6}$	17	$3{,}7274\times10^{-6}$	15
15	$1{,}1019\times10^{-5}$	22	$6{,}9894\times10^{-6}$	24	$4{,}9672\times10^{-6}$	23	$3{,}5297\times10^{-6}$	19
20	$1{,}0483\times10^{-5}$	26	$6{,}6558\times10^{-6}$	27	$4{,}7291\times10^{-6}$	26	$3{,}3983\times10^{-6}$	22
25	$9{,}9399\times10^{-6}$	30	$6{,}4331\times10^{-6}$	30	$4{,}6371\times10^{-6}$	28	$3{,}3101\times10^{-6}$	24
30	$9{,}4660\times10^{-6}$	33	$6{,}1968\times10^{-6}$	32	$4{,}5142\times10^{-6}$	30	$3{,}2783\times10^{-6}$	25
35	$9{,}0582\times10^{-6}$	36	$6{,}0008\times10^{-6}$	35	$4{,}4068\times10^{-6}$	31	$3{,}2188\times10^{-6}$	26
40	$8{,}6975\times10^{-6}$	38	$5{,}8370\times10^{-6}$	36	$4{,}3182\times10^{-6}$	33	$3{,}1694\times10^{-6}$	27
45	$8{,}3578\times10^{-6}$	41	$5{,}6953\times10^{-6}$	38	$4{,}2474\times10^{-6}$	34	$3{,}1309\times10^{-6}$	28
50	$8{,}1286\times10^{-6}$	42	$5{,}5958\times10^{-6}$	39	$4{,}1883\times10^{-6}$	35	$3{,}0986\times10^{-6}$	29
55	$7{,}8397\times10^{-6}$	44	$5{,}5127\times10^{-6}$	40	$4{,}1574\times10^{-6}$	35	$3{,}0683\times10^{-6}$	30
60	$7{,}0660\times10^{-6}$	50	$5{,}2556\times10^{-6}$	43	$4{,}0489\times10^{-6}$	37	$3{,}0275\times10^{-6}$	31
Perdesiz	$1{,}4114\times10^{-5}$		$9{,}1680\times10^{-6}$		$6{,}4218\times10^{-6}$		$4{,}3622\times10^{-6}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.1. ve 4.2.'de sunulmuş ve Şekil 4.1.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

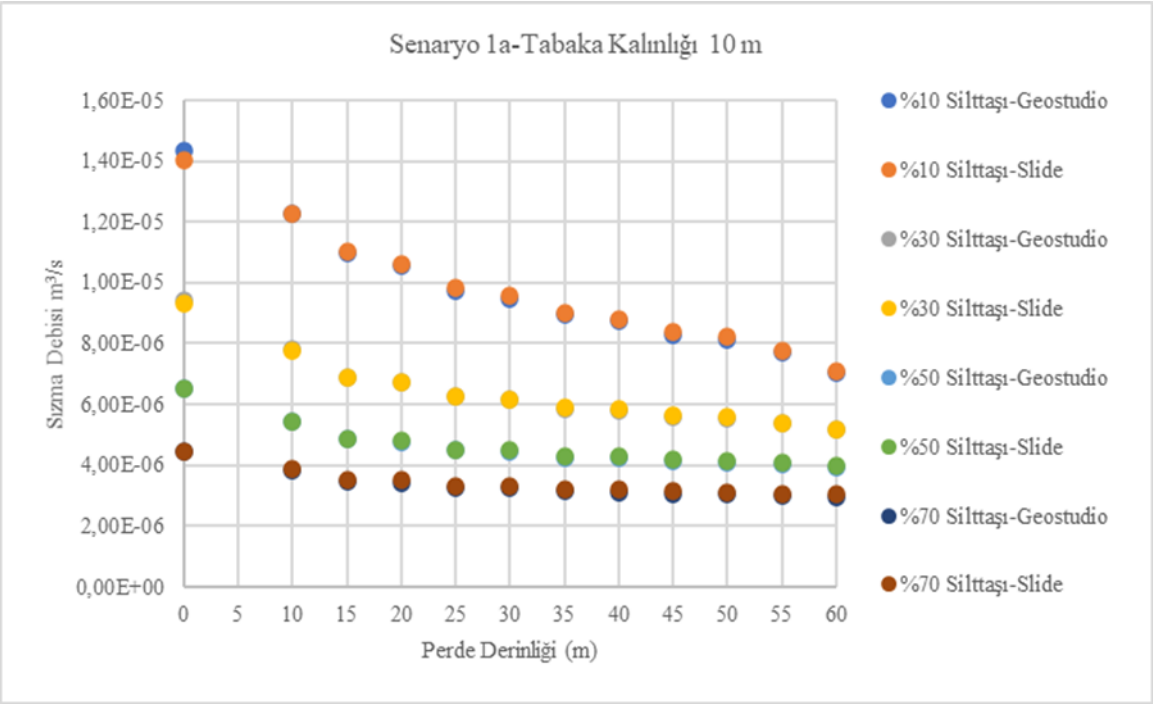
Çizelge 4.3. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2249\times10^{-5}$	15	$7,7990\times10^{-6}$	17	$5,4607\times10^{-6}$	17	$3,8193\times10^{-6}$	14
15	$1,0973\times10^{-5}$	23	$6,8878\times10^{-6}$	27	$4,8595\times10^{-6}$	26	$3,4761\times10^{-6}$	22
20	$1,0570\times10^{-5}$	26	$6,7400\times10^{-6}$	28	$4,7870\times10^{-6}$	27	$3,4354\times10^{-6}$	23
25	$9,7574\times10^{-6}$	32	$6,2431\times10^{-6}$	34	$4,4807\times10^{-6}$	32	$3,2605\times10^{-6}$	26
30	$9,4906\times10^{-6}$	34	$6,1577\times10^{-6}$	34	$4,4407\times10^{-6}$	32	$3,2386\times10^{-6}$	27
35	$8,9325\times10^{-6}$	38	$5,8598\times10^{-6}$	38	$4,2684\times10^{-6}$	35	$3,1408\times10^{-6}$	29
40	$8,7361\times10^{-6}$	39	$5,8039\times10^{-6}$	38	$4,2438\times10^{-6}$	35	$3,1275\times10^{-6}$	29
45	$8,3022\times10^{-6}$	42	$5,5997\times10^{-6}$	40	$4,1329\times10^{-6}$	37	$3,0649\times10^{-6}$	31
50	$8,1304\times10^{-6}$	43	$5,5557\times10^{-6}$	41	$4,1132\times10^{-6}$	37	$3,0551\times10^{-6}$	31
55	$7,6978\times10^{-6}$	46	$5,3742\times10^{-6}$	43	$4,0211\times10^{-6}$	39	$3,0043\times10^{-6}$	32
60	$7,0254\times10^{-6}$	51	$5,1612\times10^{-6}$	45	$3,9299\times10^{-6}$	40	$2,9580\times10^{-6}$	33
Perdesiz	$1,4337\times10^{-5}$		$9,4005\times10^{-6}$		$6,5446\times10^{-6}$		$4,4356\times10^{-6}$	

Çizelge 4.4. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2257\times10^{-5}$	13	$7,7504\times10^{-6}$	17	$5,4580\times10^{-6}$	16	$3,8703\times10^{-6}$	14
15	$1,1015\times10^{-5}$	22	$6,8849\times10^{-6}$	26	$4,8878\times10^{-6}$	25	$3,5408\times10^{-6}$	21
20	$1,0617\times10^{-5}$	24	$6,7416\times10^{-6}$	28	$4,8141\times10^{-6}$	26	$3,4997\times10^{-6}$	22
25	$9,8209\times10^{-6}$	30	$6,2589\times10^{-6}$	33	$4,5201\times10^{-6}$	31	$3,3291\times10^{-6}$	26
30	$9,5558\times10^{-6}$	32	$6,1738\times10^{-6}$	34	$4,4804\times10^{-6}$	31	$3,3066\times10^{-6}$	26
35	$9,0056\times10^{-6}$	36	$5,8832\times10^{-6}$	37	$4,3141\times10^{-6}$	34	$3,2108\times10^{-6}$	28
40	$8,8100\times10^{-6}$	37	$5,8278\times10^{-6}$	37	$4,2896\times10^{-6}$	34	$3,1969\times10^{-6}$	29
45	$8,3802\times10^{-6}$	40	$5,6270\times10^{-6}$	40	$4,1822\times10^{-6}$	36	$3,1355\times10^{-6}$	30
50	$8,2079\times10^{-6}$	42	$5,5822\times10^{-6}$	40	$4,1636\times10^{-6}$	36	$3,1254\times10^{-6}$	30
55	$7,7776\times10^{-6}$	45	$5,4039\times10^{-6}$	42	$4,0743\times10^{-6}$	38	$3,0753\times10^{-6}$	31
60	$7,1127\times10^{-6}$	49	$5,1963\times10^{-6}$	44	$3,9843\times10^{-6}$	39	$3,0292\times10^{-6}$	32
Perdesiz	$1,4040\times10^{-5}$		$9,3080\times10^{-6}$		$6,5229\times10^{-6}$		$4,4744\times10^{-6}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.3. ve 4.4.'te sunulmuş ve Şekil 4.2.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

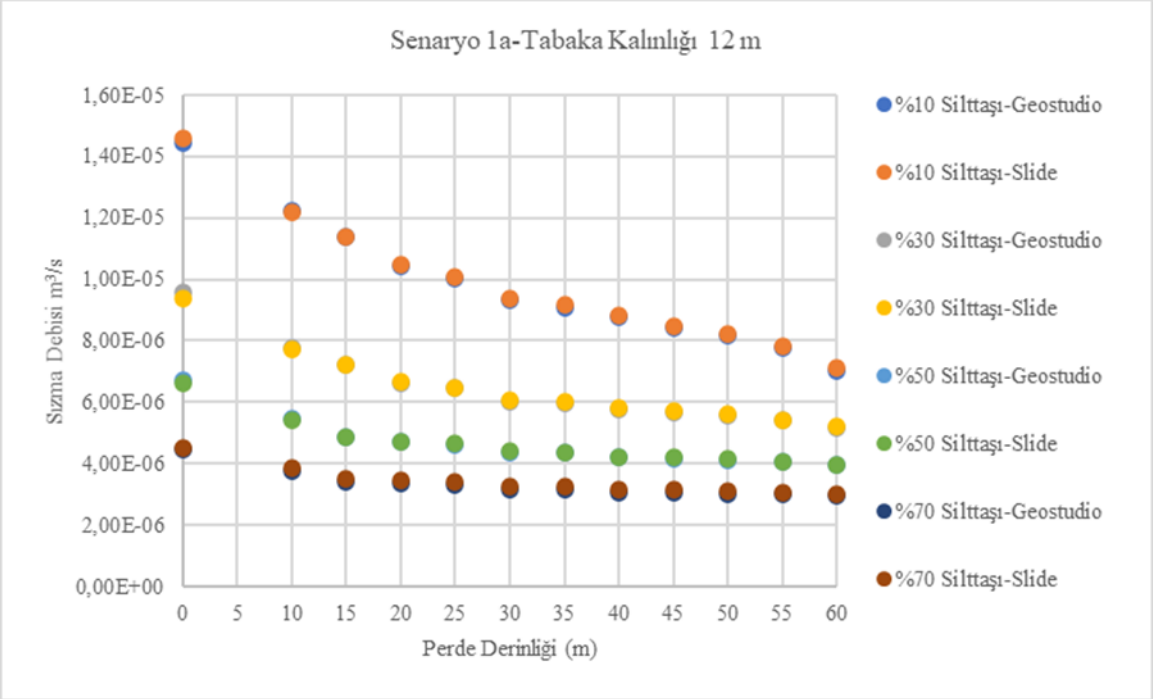
Çizelge 4.5. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2216\times10^{-5}$	15	$7,7714\times10^{-6}$	19	$5,4604\times10^{-6}$	19	$3,7797\times10^{-6}$	16
15	$1,1390\times10^{-5}$	21	$7,2366\times10^{-6}$	24	$4,8676\times10^{-6}$	28	$3,4149\times10^{-6}$	24
20	$1,0452\times10^{-5}$	28	$6,6324\times10^{-6}$	31	$4,7213\times10^{-6}$	30	$3,3635\times10^{-6}$	25
25	$1,0028\times10^{-5}$	31	$6,4629\times10^{-6}$	32	$4,6340\times10^{-6}$	31	$3,3086\times10^{-6}$	26
30	$9,3041\times10^{-6}$	36	$6,0368\times10^{-6}$	37	$4,3786\times10^{-6}$	35	$3,1719\times10^{-6}$	29
35	$9,0991\times10^{-6}$	37	$5,9810\times10^{-6}$	37	$4,3555\times10^{-6}$	35	$3,1604\times10^{-6}$	29
40	$8,7525\times10^{-6}$	39	$5,7750\times10^{-6}$	40	$4,1982\times10^{-6}$	38	$3,0694\times10^{-6}$	31
45	$8,4046\times10^{-6}$	42	$5,6654\times10^{-6}$	41	$4,1805\times10^{-6}$	38	$3,0589\times10^{-6}$	32
50	$8,1608\times10^{-6}$	43	$5,5787\times10^{-6}$	42	$4,1328\times10^{-6}$	38	$3,0036\times10^{-6}$	33
55	$7,7469\times10^{-6}$	46	$5,4015\times10^{-6}$	44	$4,0433\times10^{-6}$	40	$2,9860\times10^{-6}$	33
60	$7,0372\times10^{-6}$	51	$5,1737\times10^{-6}$	46	$3,9456\times10^{-6}$	41	$2,9348\times10^{-6}$	34
Perdesiz	$1,4441\times10^{-5}$		$9,5639\times10^{-6}$		$6,7182\times10^{-6}$		$4,4740\times10^{-6}$	

Çizelge 4.6. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2203\times10^{-5}$	16	$7,7369\times10^{-6}$	18	$5,4336\times10^{-6}$	18	$3,8559\times10^{-6}$	15
15	$1,1392\times10^{-5}$	22	$7,2082\times10^{-6}$	23	$4,8486\times10^{-6}$	27	$3,4966\times10^{-6}$	23
20	$1,0486\times10^{-5}$	28	$6,6438\times10^{-6}$	29	$4,7282\times10^{-6}$	29	$3,4469\times10^{-6}$	24
25	$1,0067\times10^{-5}$	31	$6,4739\times10^{-6}$	31	$4,6402\times10^{-6}$	30	$3,3884\times10^{-6}$	25
30	$9,3583\times10^{-6}$	36	$6,0612\times10^{-6}$	35	$4,3976\times10^{-6}$	34	$3,2575\times10^{-6}$	28
35	$9,1545\times10^{-6}$	37	$6,0058\times10^{-6}$	36	$4,3749\times10^{-6}$	34	$3,2463\times10^{-6}$	28
40	$8,8074\times10^{-6}$	40	$5,7963\times10^{-6}$	38	$4,2221\times10^{-6}$	36	$3,1558\times10^{-6}$	30
45	$8,4668\times10^{-6}$	42	$5,6969\times10^{-6}$	39	$4,2064\times10^{-6}$	36	$3,1461\times10^{-6}$	30
50	$8,2222\times10^{-6}$	44	$5,6091\times10^{-6}$	40	$4,1569\times10^{-6}$	37	$3,0896\times10^{-6}$	32
55	$7,8157\times10^{-6}$	46	$5,4370\times10^{-6}$	42	$4,0762\times10^{-6}$	38	$3,0736\times10^{-6}$	32
60	$7,1105\times10^{-6}$	51	$5,2136\times10^{-6}$	44	$3,9775\times10^{-6}$	40	$3,0229\times10^{-6}$	33
Perdesiz	$1,4572\times10^{-5}$		$9,3916\times10^{-6}$		$6,6208\times10^{-6}$		$4,5193\times10^{-6}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.5. ve 4.6.'da sunulmuş ve Şekil 4.3.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

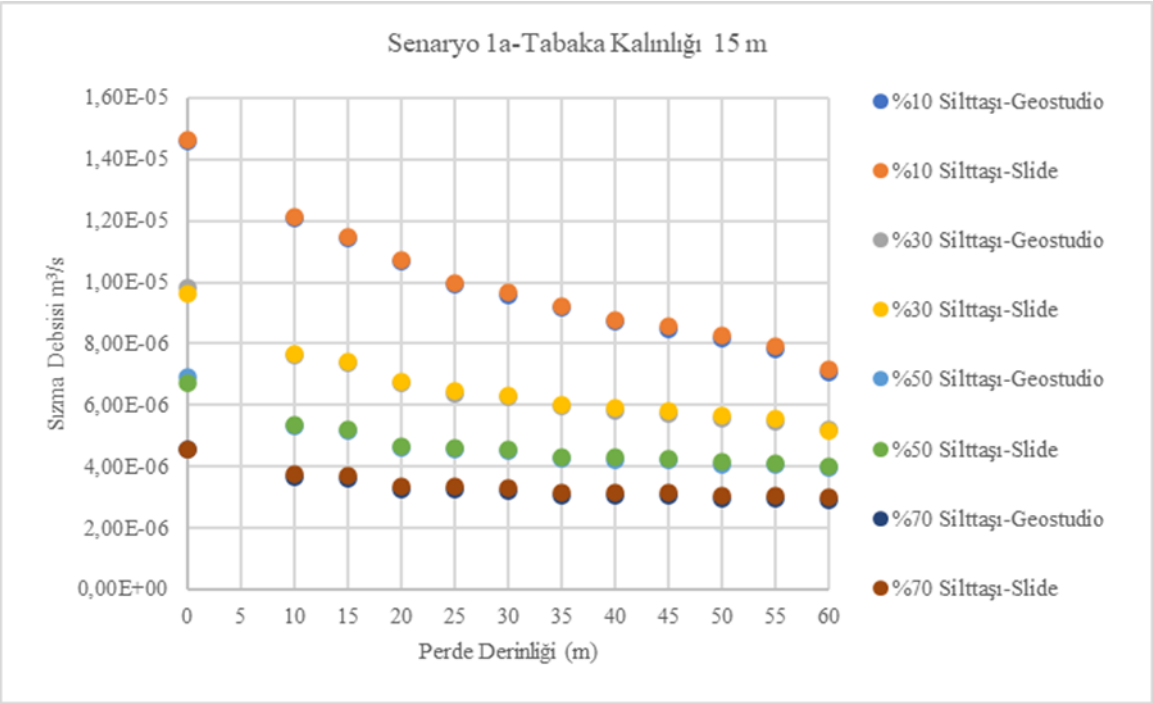
Çizelge 4.7. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}2081\times10^{-5}$	17	$7{,}6247\times10^{-6}$	22	$5{,}3108\times10^{-6}$	23	$3{,}6769\times10^{-6}$	19
15	$1{,}1449\times10^{-5}$	22	$7{,}3539\times10^{-6}$	25	$5{,}1842\times10^{-6}$	25	$3{,}6151\times10^{-6}$	20
20	$1{,}0669\times10^{-5}$	27	$6{,}6983\times10^{-6}$	32	$4{,}5988\times10^{-6}$	33	$3{,}2714\times10^{-6}$	28
25	$9{,}9013\times10^{-6}$	32	$6{,}3605\times10^{-6}$	35	$4{,}5431\times10^{-6}$	34	$3{,}2409\times10^{-6}$	29
30	$9{,}5729\times10^{-6}$	34	$6{,}2484\times10^{-6}$	36	$4{,}4938\times10^{-6}$	35	$3{,}2170\times10^{-6}$	29
35	$9{,}1479\times10^{-6}$	37	$5{,}9572\times10^{-6}$	39	$4{,}2534\times10^{-6}$	38	$3{,}0759\times10^{-6}$	32
40	$8{,}7038\times10^{-6}$	40	$5{,}7993\times10^{-6}$	41	$4{,}2291\times10^{-6}$	39	$3{,}0625\times10^{-6}$	33
45	$8{,}4846\times10^{-6}$	42	$5{,}7345\times10^{-6}$	42	$4{,}2030\times10^{-6}$	39	$3{,}0500\times10^{-6}$	33
50	$8{,}1731\times10^{-6}$	44	$5{,}5534\times10^{-6}$	43	$4{,}0645\times10^{-6}$	41	$2{,}9698\times10^{-6}$	35
55	$7{,}8032\times10^{-6}$	47	$5{,}4468\times10^{-6}$	44	$4{,}0487\times10^{-6}$	41	$2{,}9610\times10^{-6}$	35
60	$7{,}0523\times10^{-6}$	52	$5{,}1921\times10^{-6}$	47	$3{,}9335\times10^{-6}$	43	$2{,}9019\times10^{-6}$	36
Perdesiz	$1{,}4613\times10^{-5}$		$9{,}8132\times10^{-6}$		$6{,}8932\times10^{-6}$		$4{,}5427\times10^{-6}$	

Çizelge 4.8. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}2152\times10^{-5}$	17	$7{,}6783\times10^{-6}$	20	$5{,}3586\times10^{-6}$	20	$3{,}7637\times10^{-6}$	18
15	$1{,}1488\times10^{-5}$	22	$7{,}4073\times10^{-6}$	23	$5{,}2299\times10^{-6}$	22	$3{,}6986\times10^{-6}$	19
20	$1{,}0716\times10^{-5}$	27	$6{,}7521\times10^{-6}$	30	$4{,}6593\times10^{-6}$	31	$3{,}3621\times10^{-6}$	27
25	$9{,}9960\times10^{-6}$	32	$6{,}4455\times10^{-6}$	33	$4{,}6078\times10^{-6}$	31	$3{,}3339\times10^{-6}$	27
30	$9{,}6741\times10^{-6}$	34	$6{,}3310\times10^{-6}$	34	$4{,}5578\times10^{-6}$	32	$3{,}3087\times10^{-6}$	28
35	$9{,}2425\times10^{-6}$	37	$6{,}0363\times10^{-6}$	37	$4{,}3212\times10^{-6}$	36	$3{,}1701\times10^{-6}$	31
40	$8{,}7909\times10^{-6}$	40	$5{,}8925\times10^{-6}$	39	$4{,}2985\times10^{-6}$	36	$3{,}1575\times10^{-6}$	31
45	$8{,}5705\times10^{-6}$	41	$5{,}8270\times10^{-6}$	39	$4{,}2717\times10^{-6}$	36	$3{,}1443\times10^{-6}$	31
50	$8{,}2754\times10^{-6}$	43	$5{,}6416\times10^{-6}$	41	$4{,}1345\times10^{-6}$	38	$3{,}0653\times10^{-6}$	33
55	$7{,}9182\times10^{-6}$	46	$5{,}5438\times10^{-6}$	42	$4{,}1197\times10^{-6}$	39	$3{,}0569\times10^{-6}$	33
60	$7{,}1695\times10^{-6}$	51	$5{,}1457\times10^{-6}$	46	$4{,}0059\times10^{-6}$	40	$2{,}9982\times10^{-6}$	35
Perdesiz	$1{,}4645\times10^{-5}$		$9{,}6020\times10^{-6}$		$6{,}7104\times10^{-6}$		$4{,}5810\times10^{-6}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.7. ve 4.8.'de sunulmuş ve Şekil 4.4.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

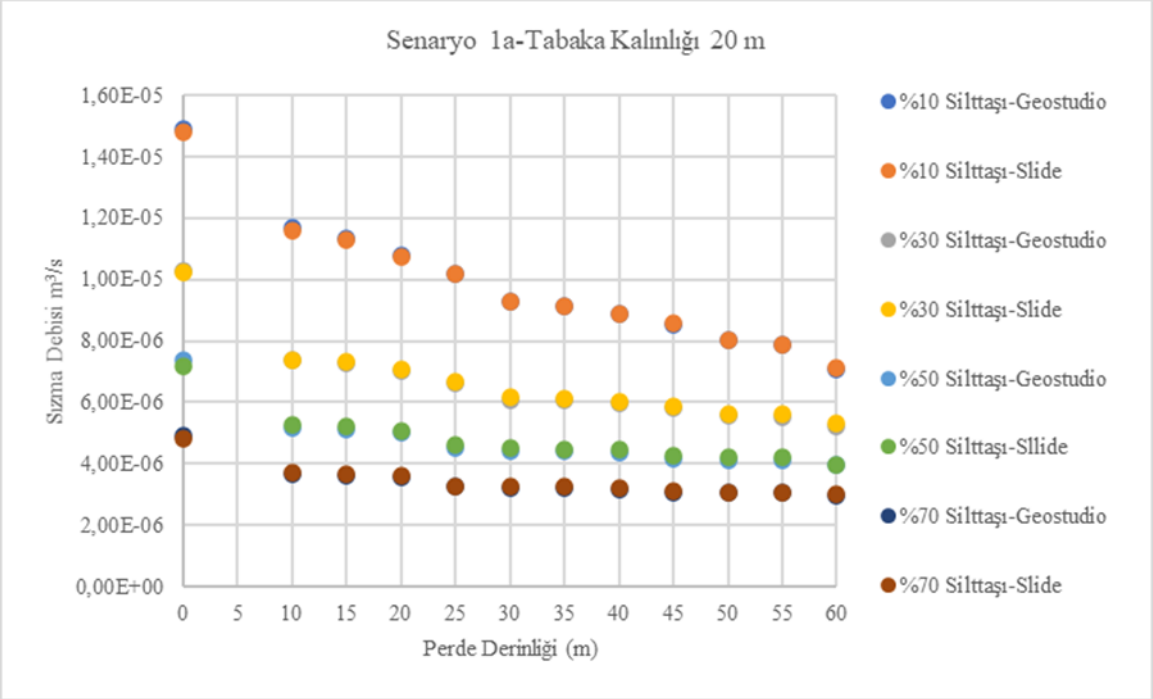
Çizelge 4.9. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,1676\times10^{-5}$	22	$7,3573\times10^{-6}$	28	$5,1877\times10^{-6}$	30	$3,6671\times10^{-6}$	26
15	$1,1336\times10^{-5}$	24	$7,2643\times10^{-6}$	29	$5,1402\times10^{-6}$	30	$3,6289\times10^{-6}$	26
20	$1,0791\times10^{-5}$	28	$7,0219\times10^{-6}$	32	$5,0144\times10^{-6}$	32	$3,5724\times10^{-6}$	28
25	$1,0198\times10^{-5}$	32	$6,6394\times10^{-6}$	35	$4,5307\times10^{-6}$	38	$3,2468\times10^{-6}$	34
30	$9,2864\times10^{-6}$	38	$6,0824\times10^{-6}$	41	$4,4163\times10^{-6}$	40	$3,2128\times10^{-6}$	35
35	$9,1306\times10^{-6}$	39	$6,0511\times10^{-6}$	41	$4,4030\times10^{-6}$	40	$3,2026\times10^{-6}$	35
40	$8,8686\times10^{-6}$	40	$5,9593\times10^{-6}$	42	$4,3610\times10^{-6}$	41	$3,1827\times10^{-6}$	35
45	$8,5544\times10^{-6}$	43	$5,8026\times10^{-6}$	44	$4,1781\times10^{-6}$	43	$3,0613\times10^{-6}$	38
50	$8,0131\times10^{-6}$	46	$5,5507\times10^{-6}$	46	$4,1309\times10^{-6}$	44	$3,0471\times10^{-6}$	38
55	$7,8756\times10^{-6}$	47	$5,5288\times10^{-6}$	46	$4,1241\times10^{-6}$	44	$3,0417\times10^{-6}$	38
60	$7,0821\times10^{-6}$	52	$5,2382\times10^{-6}$	49	$3,9837\times10^{-6}$	46	$2,9678\times10^{-6}$	40
Perdesiz	$1,4888\times10^{-5}$		$1,0283\times10^{-5}$		$7,3620\times10^{-6}$		$4,9300\times10^{-6}$	

Çizelge 4.10. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1602\times10^{-5}$	22	$7{,}3945\times10^{-6}$	28	$5{,}2561\times10^{-6}$	27	$3{,}6912\times10^{-6}$	24
15	$1{,}1299\times10^{-5}$	24	$7{,}3277\times10^{-6}$	29	$5{,}2154\times10^{-6}$	27	$3{,}6557\times10^{-6}$	24
20	$1{,}0761\times10^{-5}$	27	$7{,}0714\times10^{-6}$	31	$5{,}0899\times10^{-6}$	29	$3{,}5999\times10^{-6}$	26
25	$1{,}0186\times10^{-5}$	31	$6{,}6904\times10^{-6}$	35	$4{,}5980\times10^{-6}$	36	$3{,}2812\times10^{-6}$	32
30	$9{,}2681\times10^{-6}$	37	$6{,}1759\times10^{-6}$	40	$4{,}5011\times10^{-6}$	37	$3{,}2501\times10^{-6}$	33
35	$9{,}1400\times10^{-6}$	38	$6{,}1455\times10^{-6}$	40	$4{,}4892\times10^{-6}$	37	$3{,}2406\times10^{-6}$	33
40	$8{,}8656\times10^{-6}$	40	$6{,}0394\times10^{-6}$	41	$4{,}4463\times10^{-6}$	38	$3{,}2208\times10^{-6}$	33
45	$8{,}5761\times10^{-6}$	42	$5{,}8922\times10^{-6}$	43	$4{,}2603\times10^{-6}$	41	$3{,}1011\times10^{-6}$	36
50	$8{,}0424\times10^{-6}$	46	$5{,}6326\times10^{-6}$	45	$4{,}2188\times10^{-6}$	41	$3{,}0879\times10^{-6}$	36
55	$7{,}8986\times10^{-6}$	47	$5{,}6108\times10^{-6}$	45	$4{,}2128\times10^{-6}$	41	$3{,}0830\times10^{-6}$	36
60	$7{,}1279\times10^{-6}$	52	$5{,}3435\times10^{-6}$	48	$3{,}9438\times10^{-6}$	45	$3{,}0097\times10^{-6}$	38
Perdesiz	$1{,}4801\times10^{-5}$		$1{,}0251\times10^{-5}$		$7{,}1775\times10^{-6}$		$4{,}8346\times10^{-6}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.9. ve 4.10.'da sunulmuş ve Şekil 4.5.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.5. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

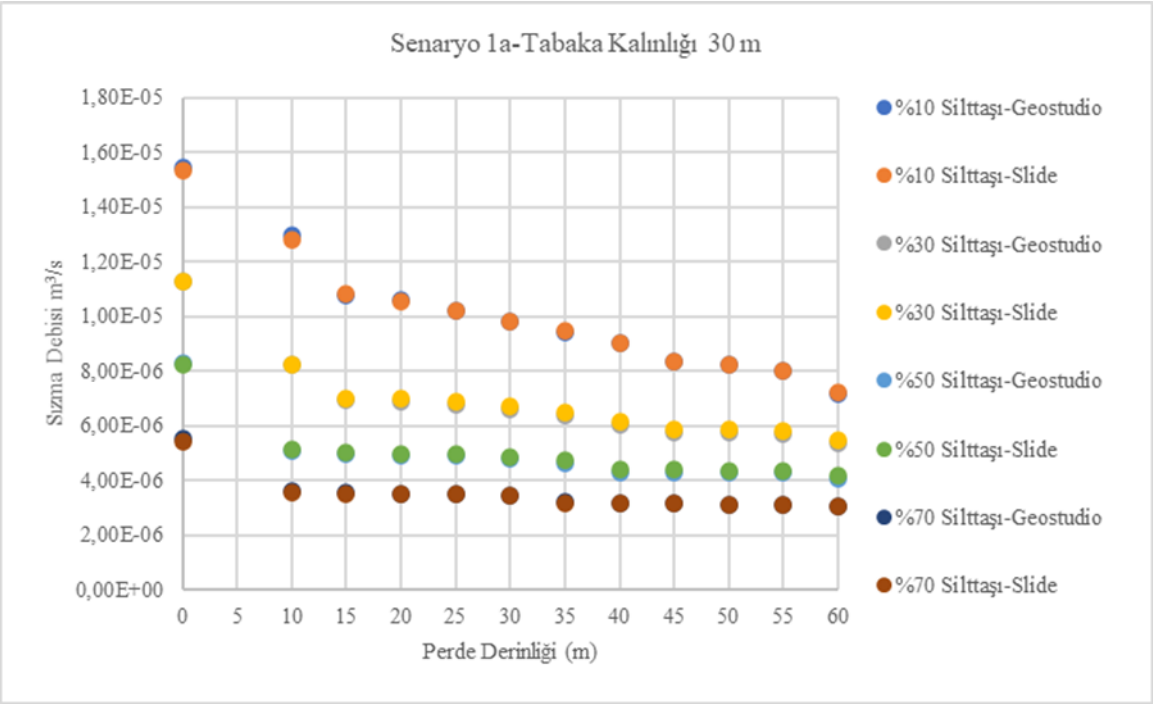
Çizelge 4.11. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}2959\times10^{-5}$	16	$8{,}2270\times10^{-6}$	27	$5{,}0977\times10^{-6}$	39	$3{,}6062\times10^{-6}$	35
15	$1{,}0781\times10^{-5}$	30	$6{,}9283\times10^{-6}$	39	$4{,}9662\times10^{-6}$	40	$3{,}5423\times10^{-6}$	36
20	$1{,}0582\times10^{-5}$	32	$6{,}8798\times10^{-6}$	39	$4{,}9286\times10^{-6}$	41	$3{,}5141\times10^{-6}$	37
25	$1{,}0227\times10^{-5}$	34	$6{,}7774\times10^{-6}$	40	$4{,}9037\times10^{-6}$	41	$3{,}5028\times10^{-6}$	37
30	$9{,}8401\times10^{-6}$	36	$6{,}6090\times10^{-6}$	41	$4{,}8096\times10^{-6}$	42	$3{,}4542\times10^{-6}$	38
35	$9{,}4418\times10^{-6}$	39	$6{,}3929\times10^{-6}$	43	$4{,}6441\times10^{-6}$	44	$3{,}1959\times10^{-6}$	42
40	$9{,}0103\times10^{-6}$	42	$6{,}0397\times10^{-6}$	46	$4{,}3202\times10^{-6}$	48	$3{,}1517\times10^{-6}$	43
45	$8{,}3259\times10^{-6}$	46	$5{,}7744\times10^{-6}$	49	$4{,}2958\times10^{-6}$	48	$3{,}1396\times10^{-6}$	43
50	$8{,}2325\times10^{-6}$	47	$5{,}7615\times10^{-6}$	49	$4{,}2876\times10^{-6}$	48	$3{,}1334\times10^{-6}$	44
55	$8{,}0095\times10^{-6}$	48	$5{,}7079\times10^{-6}$	49	$4{,}2751\times10^{-6}$	49	$3{,}1288\times10^{-6}$	44
60	$7{,}1598\times10^{-6}$	54	$5{,}3638\times10^{-6}$	52	$4{,}0930\times10^{-6}$	51	$3{,}0256\times10^{-6}$	46
Perdesiz	$1{,}5470\times10^{-5}$		$1{,}1267\times10^{-5}$		$8{,}3046\times10^{-6}$		$5{,}5560\times10^{-6}$	

Çizelge 4.12. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}2800\times10^{-5}$	17	$8{,}2121\times10^{-6}$	27	$5{,}1406\times10^{-6}$	38	$3{,}5869\times10^{-6}$	34
15	$1{,}0804\times10^{-5}$	30	$7{,}0047\times10^{-6}$	38	$5{,}0338\times10^{-6}$	39	$3{,}5294\times10^{-6}$	35
20	$1{,}0569\times10^{-5}$	31	$6{,}9996\times10^{-6}$	38	$4{,}9893\times10^{-6}$	39	$3{,}5037\times10^{-6}$	36
25	$1{,}0221\times10^{-5}$	33	$6{,}8773\times10^{-6}$	39	$4{,}9629\times10^{-6}$	40	$3{,}4936\times10^{-6}$	36
30	$9{,}8415\times10^{-6}$	36	$6{,}7269\times10^{-6}$	40	$4{,}8682\times10^{-6}$	41	$3{,}4445\times10^{-6}$	37
35	$9{,}4682\times10^{-6}$	38	$6{,}4929\times10^{-6}$	43	$4{,}7196\times10^{-6}$	43	$3{,}1887\times10^{-6}$	41
40	$9{,}0190\times10^{-6}$	41	$6{,}1428\times10^{-6}$	46	$4{,}3860\times10^{-6}$	47	$3{,}1492\times10^{-6}$	42
45	$8{,}3637\times10^{-6}$	45	$5{,}8789\times10^{-6}$	48	$4{,}3797\times10^{-6}$	47	$3{,}1381\times10^{-6}$	42
50	$8{,}2599\times10^{-6}$	46	$5{,}8666\times10^{-6}$	48	$4{,}3600\times10^{-6}$	47	$3{,}1320\times10^{-6}$	42
55	$8{,}0366\times10^{-6}$	48	$5{,}8118\times10^{-6}$	49	$4{,}3483\times10^{-6}$	47	$3{,}1289\times10^{-6}$	42
60	$7{,}2306\times10^{-6}$	53	$5{,}4899\times10^{-6}$	51	$4{,}1590\times10^{-6}$	50	$3{,}0254\times10^{-6}$	44
Perdesiz	$1{,}5339\times10^{-5}$		$1{,}1302\times10^{-5}$		$8{,}2440\times10^{-6}$		$5{,}4333\times10^{-6}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.11. ve 4.12.'de sunulmuş ve Şekil 4.6.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.2.2. Senaryo-1b Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları

Senaryo-1b'de yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s, plastik betonda 10^{-9} m/s olarak alınmıştır.

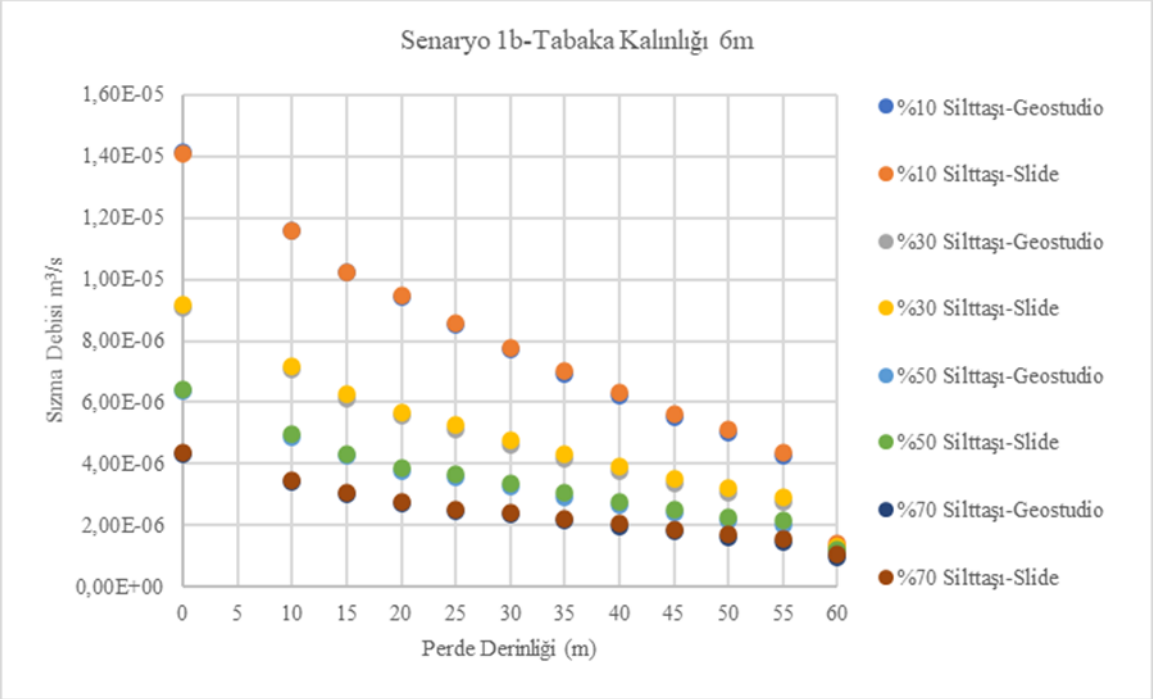
Çizelge 4.13. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1582\times10^{-5}$	18	$7{,}0565\times10^{-6}$	22	$4{,}8901\times10^{-6}$	23	$3{,}4162\times10^{-6}$	21
15	$1{,}0226\times10^{-5}$	28	$6{,}1319\times10^{-6}$	33	$4{,}2501\times10^{-6}$	33	$3{,}0136\times10^{-6}$	30
20	$9{,}4388\times10^{-6}$	33	$5{,}5926\times10^{-6}$	38	$3{,}7769\times10^{-6}$	41	$2{,}7011\times10^{-6}$	37
25	$8{,}5405\times10^{-6}$	40	$5{,}1430\times10^{-6}$	43	$3{,}5659\times10^{-6}$	44	$2{,}4710\times10^{-6}$	43
30	$7{,}7085\times10^{-6}$	46	$4{,}6391\times10^{-6}$	49	$3{,}2437\times10^{-6}$	49	$2{,}3487\times10^{-6}$	46
35	$6{,}9477\times10^{-6}$	51	$4{,}1834\times10^{-6}$	54	$2{,}9387\times10^{-6}$	54	$2{,}1431\times10^{-6}$	50
40	$6{,}2255\times10^{-6}$	56	$3{,}7629\times10^{-6}$	59	$2{,}6589\times10^{-6}$	58	$1{,}9586\times10^{-6}$	55
45	$5{,}5038\times10^{-6}$	61	$3{,}3668\times10^{-6}$	63	$2{,}4074\times10^{-6}$	62	$1{,}7944\times10^{-6}$	58
50	$5{,}0000\times10^{-6}$	65	$3{,}0767\times10^{-6}$	66	$2{,}1680\times10^{-6}$	66	$1{,}6352\times10^{-6}$	62
55	$4{,}2655\times10^{-6}$	70	$2{,}7662\times10^{-6}$	70	$2{,}0236\times10^{-6}$	68	$1{,}4635\times10^{-6}$	66
60	$1{,}2720\times10^{-6}$	91	$1{,}1647\times10^{-6}$	87	$1{,}0638\times10^{-6}$	83	$9{,}5252\times10^{-7}$	78
Perdesiz	$1{,}4149\times10^{-5}$		$9{,}0907\times10^{-6}$		$6{,}3793\times10^{-6}$		$4{,}3127\times10^{-6}$	

Çizelge 4.14. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,1571\times10^{-5}$	18	$7,1737\times10^{-6}$	22	$4,9708\times10^{-6}$	23	$3,4630\times10^{-6}$	21
15	$1,0247\times10^{-5}$	27	$6,2495\times10^{-6}$	32	$4,3437\times10^{-6}$	32	$3,0761\times10^{-6}$	29
20	$9,4636\times10^{-6}$	33	$5,6909\times10^{-6}$	38	$3,8732\times10^{-6}$	40	$2,7750\times10^{-6}$	36
25	$8,5972\times10^{-6}$	39	$5,2623\times10^{-6}$	43	$3,6652\times10^{-6}$	43	$2,5399\times10^{-6}$	42
30	$7,7874\times10^{-6}$	45	$4,7701\times10^{-6}$	48	$3,3539\times10^{-6}$	48	$2,4285\times10^{-6}$	44
35	$7,0406\times10^{-6}$	50	$4,3211\times10^{-6}$	53	$3,0548\times10^{-6}$	52	$2,2300\times10^{-6}$	49
40	$6,3316\times10^{-6}$	55	$3,9053\times10^{-6}$	57	$2,7781\times10^{-6}$	57	$2,0469\times10^{-6}$	53
45	$5,6120\times10^{-6}$	60	$3,5061\times10^{-6}$	62	$2,5276\times10^{-6}$	61	$1,8843\times10^{-6}$	57
50	$5,1010\times10^{-6}$	64	$3,2012\times10^{-6}$	65	$2,2863\times10^{-6}$	64	$1,7278\times10^{-6}$	60
55	$4,3768\times10^{-6}$	69	$2,8984\times10^{-6}$	68	$2,1399\times10^{-6}$	67	$1,5495\times10^{-6}$	64
60	$1,4314\times10^{-6}$	90	$1,3159\times10^{-6}$	86	$1,1965\times10^{-6}$	81	$1,0538\times10^{-6}$	76
Perdesiz	$1,4114\times10^{-5}$		$9,1680\times10^{-6}$		$6,4218\times10^{-6}$		$4,3622\times10^{-6}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.13. ve 4.14.'te sunulmuş ve Şekil 4.7.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.7. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

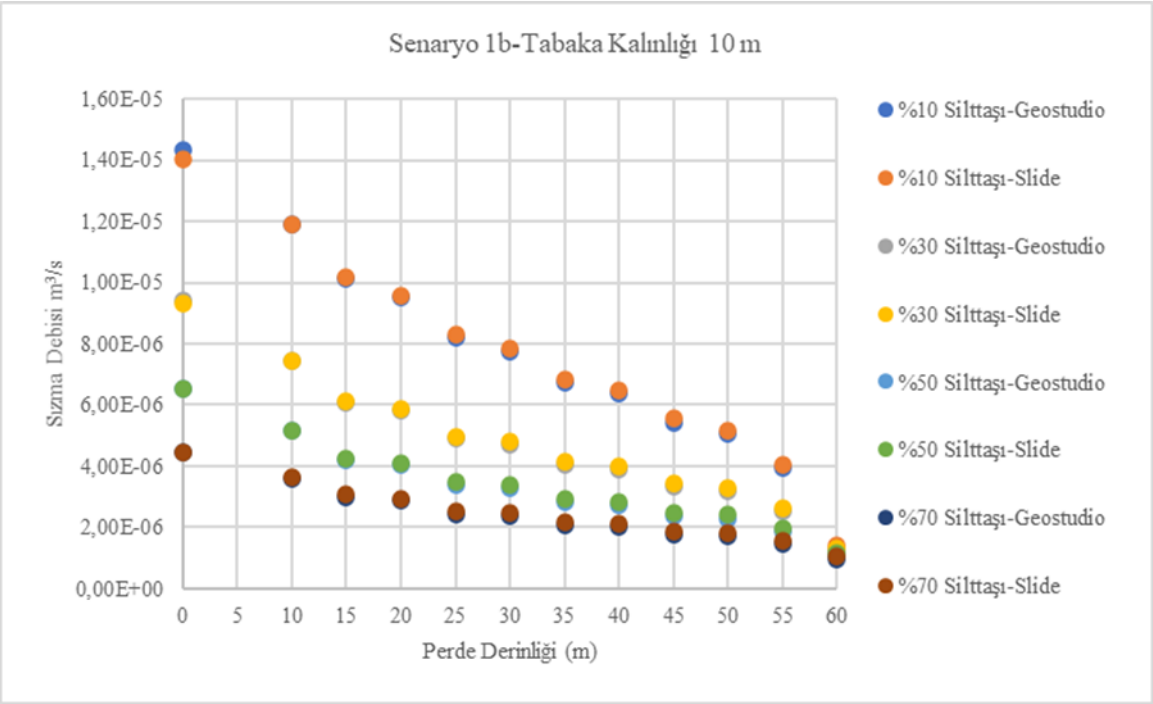
Çizelge 4.15. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1883\times10^{-5}$	17	$7{,}4464\times10^{-6}$	21	$5{,}1676\times10^{-6}$	21	$3{,}6025\times10^{-6}$	19
15	$1{,}0114\times10^{-5}$	29	$6{,}0654\times10^{-6}$	35	$4{,}1810\times10^{-6}$	36	$2{,}9759\times10^{-6}$	33
20	$9{,}5243\times10^{-6}$	34	$5{,}8133\times10^{-6}$	38	$4{,}0300\times10^{-6}$	38	$2{,}8689\times10^{-6}$	35
25	$8{,}2163\times10^{-6}$	43	$4{,}8879\times10^{-6}$	48	$3{,}3862\times10^{-6}$	48	$2{,}4479\times10^{-6}$	45
30	$7{,}7686\times10^{-6}$	46	$4{,}7113\times10^{-6}$	50	$3{,}2818\times10^{-6}$	50	$2{,}3733\times10^{-6}$	46
35	$6{,}7353\times10^{-6}$	53	$4{,}0353\times10^{-6}$	57	$2{,}8244\times10^{-6}$	57	$2{,}0714\times10^{-6}$	53
40	$6{,}3586\times10^{-6}$	56	$3{,}8962\times10^{-6}$	59	$2{,}7447\times10^{-6}$	58	$2{,}0144\times10^{-6}$	55
45	$5{,}4318\times10^{-6}$	62	$3{,}3271\times10^{-6}$	65	$2{,}3710\times10^{-6}$	64	$1{,}7681\times10^{-6}$	60
50	$5{,}0498\times10^{-6}$	65	$3{,}1924\times10^{-6}$	66	$2{,}2950\times10^{-6}$	65	$1{,}7160\times10^{-6}$	61
55	$3{,}9322\times10^{-6}$	73	$2{,}5333\times10^{-6}$	73	$1{,}8758\times10^{-6}$	71	$1{,}4464\times10^{-6}$	67
60	$1{,}2700\times10^{-6}$	91	$1{,}1592\times10^{-6}$	88	$1{,}0516\times10^{-6}$	84	$9{,}3678\times10^{-7}$	79
Perdesiz	$1{,}4337\times10^{-5}$		$9{,}4005\times10^{-6}$		$6{,}5446\times10^{-6}$		$4{,}4356\times10^{-6}$	

Çizelge 4.16. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1897\times10^{-5}$	15	$7{,}4207\times10^{-6}$	20	$5{,}1871\times10^{-6}$	20	$3{,}6654\times10^{-6}$	18
15	$1{,}0175\times10^{-5}$	28	$6{,}1065\times10^{-6}$	34	$4{,}2493\times10^{-6}$	35	$3{,}0625\times10^{-6}$	32
20	$9{,}5950\times10^{-6}$	32	$5{,}8643\times10^{-6}$	37	$4{,}1001\times10^{-6}$	37	$2{,}9572\times10^{-6}$	34
25	$8{,}3115\times10^{-6}$	41	$4{,}9641\times10^{-6}$	47	$3{,}4754\times10^{-6}$	47	$2{,}5458\times10^{-6}$	43
30	$7{,}8689\times10^{-6}$	44	$4{,}7901\times10^{-6}$	49	$3{,}3722\times10^{-6}$	48	$2{,}4715\times10^{-6}$	45
35	$6{,}8497\times10^{-6}$	51	$4{,}1294\times10^{-6}$	56	$2{,}9248\times10^{-6}$	55	$2{,}1751\times10^{-6}$	51
40	$6{,}4765\times10^{-6}$	54	$3{,}9930\times10^{-6}$	57	$2{,}8457\times10^{-6}$	56	$2{,}1177\times10^{-6}$	53
45	$5{,}5582\times10^{-6}$	60	$3{,}4328\times10^{-6}$	63	$2{,}4784\times10^{-6}$	62	$1{,}8754\times10^{-6}$	58
50	$5{,}1771\times10^{-6}$	63	$3{,}2976\times10^{-6}$	65	$2{,}4038\times10^{-6}$	63	$1{,}8226\times10^{-6}$	59
55	$4{,}0645\times10^{-6}$	71	$2{,}6479\times10^{-6}$	72	$1{,}9903\times10^{-6}$	69	$1{,}5563\times10^{-6}$	65
60	$1{,}4372\times10^{-6}$	90	$1{,}2986\times10^{-6}$	86	$1{,}1777\times10^{-6}$	82	$1{,}0524\times10^{-6}$	76
Perdesiz	$1{,}4040\times10^{-5}$		$9{,}3080\times10^{-6}$		$6{,}5229\times10^{-6}$		$4{,}4744\times10^{-6}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.15. ve 4.16.'da sunulmuş ve Şekil 4.8.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.8. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

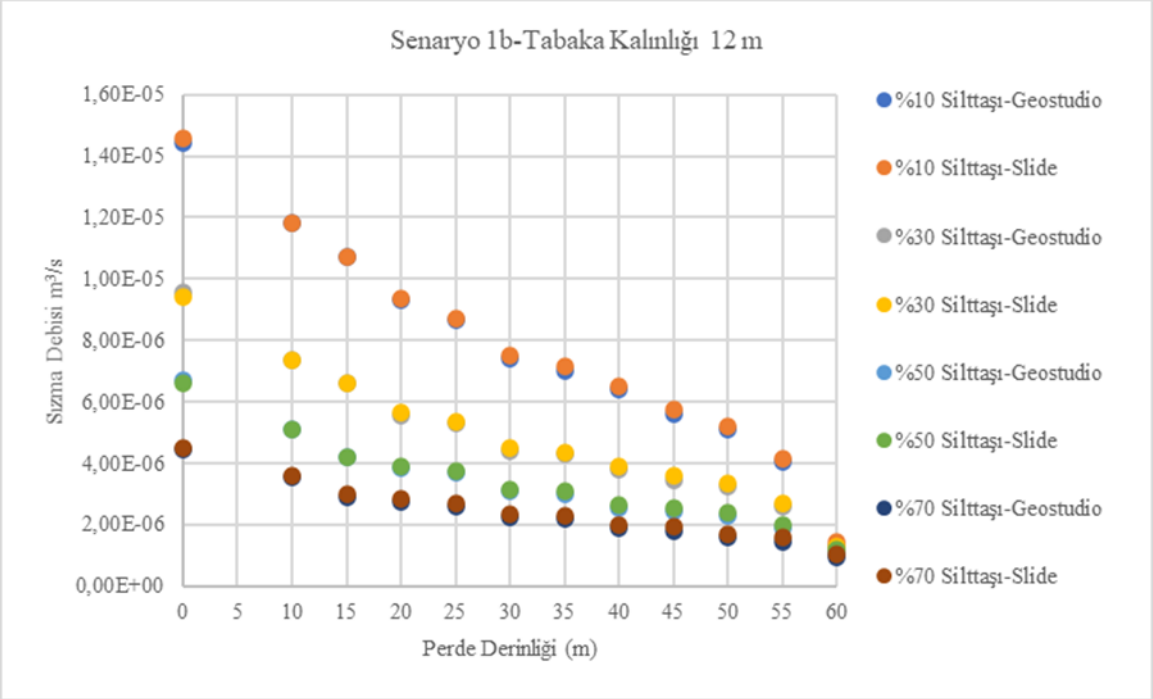
Çizelge 4.17. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1804\times10^{-5}$	18	$7{,}3557\times10^{-6}$	23	$5{,}1058\times10^{-6}$	24	$3{,}5246\times10^{-6}$	21
15	$1{,}0721\times10^{-5}$	26	$6{,}6272\times10^{-6}$	31	$4{,}2046\times10^{-6}$	37	$2{,}9044\times10^{-6}$	35
20	$9{,}2980\times10^{-6}$	36	$5{,}5688\times10^{-6}$	42	$3{,}8389\times10^{-6}$	43	$2{,}7256\times10^{-6}$	39
25	$8{,}6551\times10^{-6}$	40	$5{,}2870\times10^{-6}$	45	$3{,}6781\times10^{-6}$	45	$2{,}6072\times10^{-6}$	42
30	$7{,}4000\times10^{-6}$	49	$4{,}4103\times10^{-6}$	54	$3{,}0746\times10^{-6}$	54	$2{,}2290\times10^{-6}$	50
35	$7{,}0289\times10^{-6}$	51	$4{,}2775\times10^{-6}$	55	$2{,}9985\times10^{-6}$	55	$2{,}1732\times10^{-6}$	51
40	$6{,}3853\times10^{-6}$	56	$3{,}8147\times10^{-6}$	60	$2{,}5552\times10^{-6}$	62	$1{,}8796\times10^{-6}$	58
45	$5{,}6226\times10^{-6}$	61	$3{,}4645\times10^{-6}$	64	$2{,}4585\times10^{-6}$	63	$1{,}8078\times10^{-6}$	60
50	$5{,}1022\times10^{-6}$	65	$3{,}2358\times10^{-6}$	66	$2{,}3127\times10^{-6}$	66	$1{,}5908\times10^{-6}$	64
55	$4{,}0235\times10^{-6}$	72	$2{,}5784\times10^{-6}$	73	$1{,}9039\times10^{-6}$	72	$1{,}4531\times10^{-6}$	68
60	$1{,}2696\times10^{-6}$	91	$1{,}1596\times10^{-6}$	88	$1{,}0497\times10^{-6}$	84	$9{,}2920\times10^{-7}$	79
Perdesiz	$1{,}4441\times10^{-5}$		$9{,}5639\times10^{-6}$		$6{,}7182\times10^{-6}$		$4{,}4740\times10^{-6}$	

Çizelge 4.18. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1{,}1805\times10^{-5}$	19	$7{,}3495\times10^{-6}$	22	$5{,}1141\times10^{-6}$	23	$3{,}6135\times10^{-6}$	20
15	$1{,}0739\times10^{-5}$	26	$6{,}6273\times10^{-6}$	29	$4{,}2178\times10^{-6}$	36	$2{,}9983\times10^{-6}$	34
20	$9{,}3660\times10^{-6}$	36	$5{,}6351\times10^{-6}$	40	$3{,}9065\times10^{-6}$	41	$2{,}8292\times10^{-6}$	37
25	$8{,}7291\times10^{-6}$	40	$5{,}3508\times10^{-6}$	43	$3{,}7451\times10^{-6}$	43	$2{,}7047\times10^{-6}$	40
30	$7{,}4982\times10^{-6}$	49	$4{,}4995\times10^{-6}$	52	$3{,}1634\times10^{-6}$	52	$2{,}3376\times10^{-6}$	48
35	$7{,}1328\times10^{-6}$	51	$4{,}3696\times10^{-6}$	53	$3{,}0885\times10^{-6}$	53	$2{,}2837\times10^{-6}$	49
40	$6{,}4873\times10^{-6}$	55	$3{,}8931\times10^{-6}$	59	$2{,}6516\times10^{-6}$	60	$1{,}9900\times10^{-6}$	56
45	$5{,}7432\times10^{-6}$	61	$3{,}5718\times10^{-6}$	62	$2{,}5611\times10^{-6}$	61	$1{,}9217\times10^{-6}$	57
50	$5{,}2206\times10^{-6}$	64	$3{,}3385\times10^{-6}$	64	$2{,}4080\times10^{-6}$	64	$1{,}6966\times10^{-6}$	62
55	$4{,}1616\times10^{-6}$	71	$2{,}6969\times10^{-6}$	71	$2{,}0130\times10^{-6}$	70	$1{,}5681\times10^{-6}$	65
60	$1{,}4353\times10^{-6}$	90	$1{,}3000\times10^{-6}$	86	$1{,}1746\times10^{-6}$	82	$1{,}0493\times10^{-6}$	77
Perdesiz	$1{,}4572\times10^{-5}$		$9{,}3916\times10^{-6}$		$6{,}6208\times10^{-6}$		$4{,}5193\times10^{-6}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.17. ve 4.18.'da sunulmuş ve Şekil 4.9.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.9. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

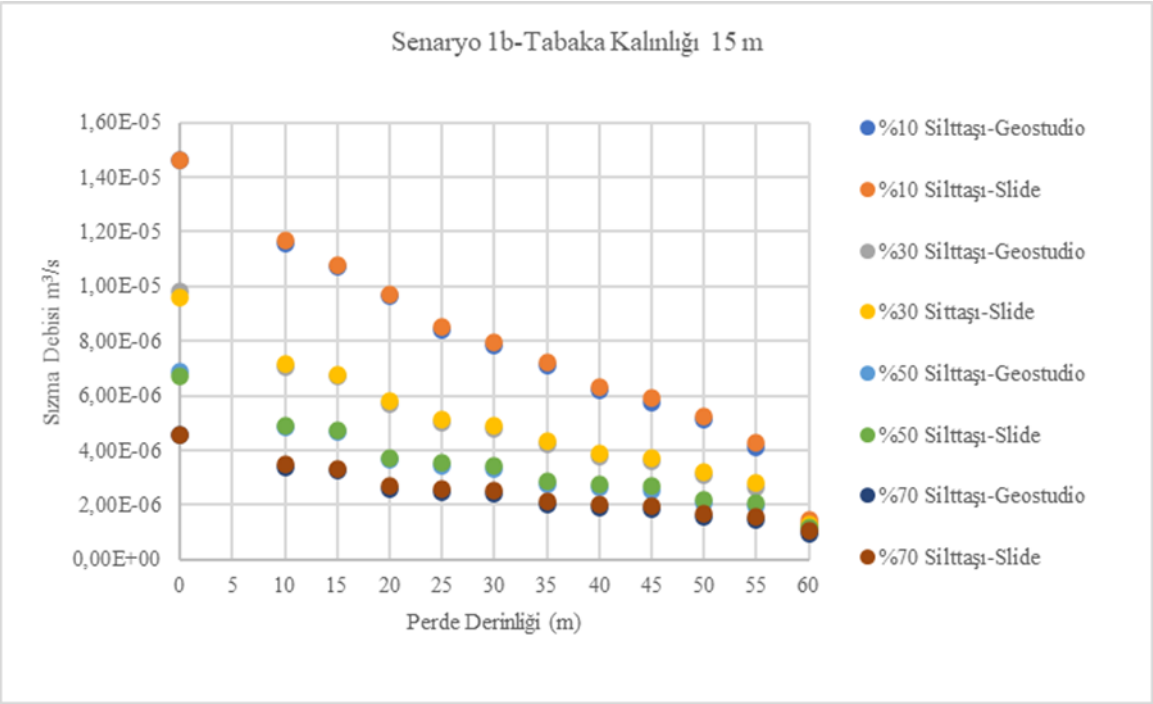
Çizelge 4.19. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,1577\times10^{-5}$	21	$7,0762\times10^{-6}$	28	$4,8492\times10^{-6}$	30	$3,3643\times10^{-6}$	26
15	$1,0748\times10^{-5}$	26	$6,7070\times10^{-6}$	32	$4,6594\times10^{-6}$	32	$3,2523\times10^{-6}$	28
20	$9,6489\times10^{-6}$	34	$5,7136\times10^{-6}$	42	$3,6387\times10^{-6}$	47	$2,5891\times10^{-6}$	43
25	$8,3778\times10^{-6}$	43	$5,0008\times10^{-6}$	49	$3,4443\times10^{-6}$	50	$2,4608\times10^{-6}$	46
30	$7,8473\times10^{-6}$	46	$4,7968\times10^{-6}$	51	$3,3436\times10^{-6}$	51	$2,3971\times10^{-6}$	47
35	$7,1148\times10^{-6}$	51	$4,2147\times10^{-6}$	57	$2,7546\times10^{-6}$	60	$2,0045\times10^{-6}$	56
40	$6,2006\times10^{-6}$	58	$3,7538\times10^{-6}$	62	$2,6295\times10^{-6}$	62	$1,9203\times10^{-6}$	58
45	$5,7681\times10^{-6}$	61	$3,6005\times10^{-6}$	63	$2,5568\times10^{-6}$	63	$1,8747\times10^{-6}$	59
50	$5,1040\times10^{-6}$	65	$3,1100\times10^{-6}$	68	$2,0654\times10^{-6}$	70	$1,5509\times10^{-6}$	66
55	$4,1214\times10^{-6}$	72	$2,6586\times10^{-6}$	73	$1,9396\times10^{-6}$	72	$1,4661\times10^{-6}$	68
60	$1,2695\times10^{-6}$	91	$1,1579\times10^{-6}$	88	$1,0433\times10^{-6}$	85	$9,1852\times10^{-7}$	80
Perdesiz	$1,4613\times10^{-5}$		$9,8132\times10^{-6}$		$6,8932\times10^{-6}$		$4,5427\times10^{-6}$	

Çizelge 4.20. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,1658\times10^{-5}$	20	$7,1544\times10^{-6}$	25	$4,9220\times10^{-6}$	27	$3,4622\times10^{-6}$	24
15	$1,0803\times10^{-5}$	26	$6,7797\times10^{-6}$	29	$4,7326\times10^{-6}$	29	$3,3472\times10^{-6}$	27
20	$9,7120\times10^{-6}$	34	$5,7788\times10^{-6}$	40	$3,7347\times10^{-6}$	44	$2,6953\times10^{-6}$	41
25	$8,4991\times10^{-6}$	42	$5,1205\times10^{-6}$	47	$3,5523\times10^{-6}$	47	$2,5717\times10^{-6}$	44
30	$7,9713\times10^{-6}$	46	$4,9119\times10^{-6}$	49	$3,4500\times10^{-6}$	49	$2,5056\times10^{-6}$	45
35	$7,2344\times10^{-6}$	51	$4,3165\times10^{-6}$	55	$2,8685\times10^{-6}$	57	$2,1172\times10^{-6}$	54
40	$6,3322\times10^{-6}$	57	$3,8877\times10^{-6}$	60	$2,7493\times10^{-6}$	59	$2,0355\times10^{-6}$	56
45	$5,8975\times10^{-6}$	60	$3,7325\times10^{-6}$	61	$2,6749\times10^{-6}$	60	$1,9881\times10^{-6}$	57
50	$5,2374\times10^{-6}$	64	$3,2235\times10^{-6}$	66	$2,1850\times10^{-6}$	67	$1,6662\times10^{-6}$	64
55	$4,2721\times10^{-6}$	71	$2,8010\times10^{-6}$	71	$2,0660\times10^{-6}$	69	$1,5832\times10^{-6}$	65
60	$1,4444\times10^{-6}$	90	$1,2810\times10^{-6}$	87	$1,1795\times10^{-6}$	82	$1,0396\times10^{-6}$	77
Perdesiz	$1,4645\times10^{-5}$		$9,6020\times10^{-6}$		$6,7104\times10^{-6}$		$4,5810\times10^{-6}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.19. ve 4.20.'de sunulmuş ve Şekil 4.10.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.10. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

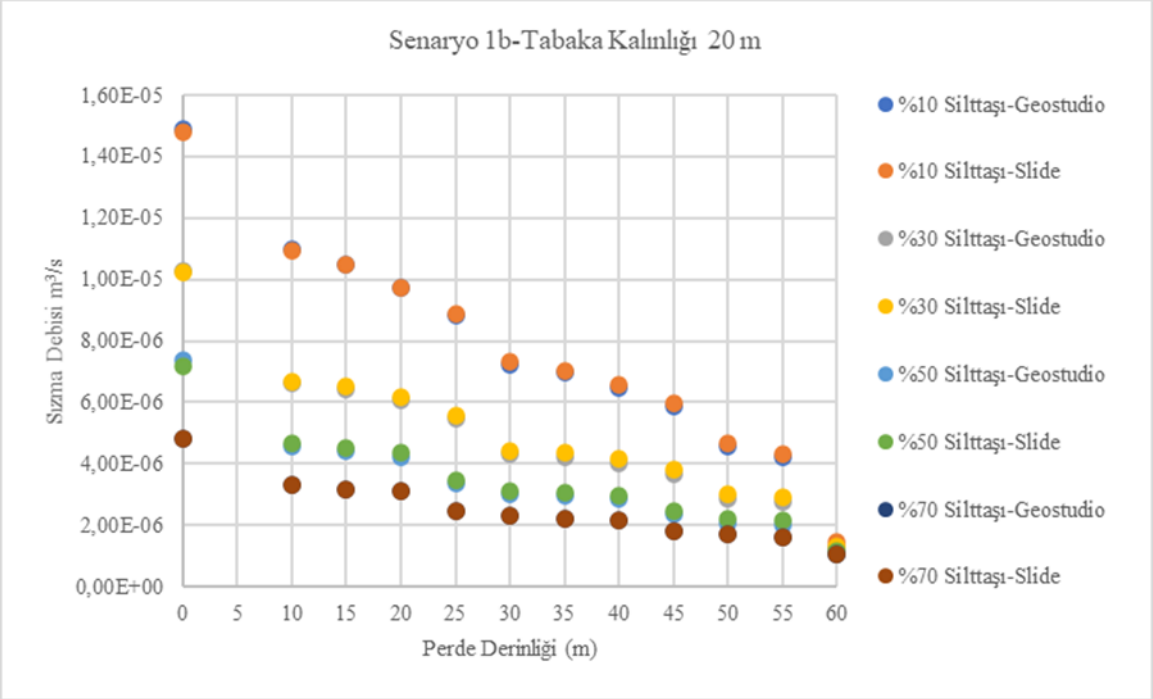
Çizelge 4.21. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,0974\times10^{-5}$	26	$6,5975\times10^{-6}$	36	$4,5638\times10^{-6}$	38	$3,2401\times10^{-6}$	34
15	$1,0489\times10^{-5}$	30	$6,4106\times10^{-6}$	38	$4,4218\times10^{-6}$	40	$3,1114\times10^{-6}$	37
20	$9,7367\times10^{-6}$	35	$6,0642\times10^{-6}$	41	$4,2389\times10^{-6}$	42	$3,0132\times10^{-6}$	39
25	$8,8529\times10^{-6}$	41	$5,4735\times10^{-6}$	47	$3,3737\times10^{-6}$	54	$2,3502\times10^{-6}$	52
30	$7,2444\times10^{-6}$	51	$4,3081\times10^{-6}$	58	$3,0087\times10^{-6}$	59	$2,1969\times10^{-6}$	55
35	$6,9526\times10^{-6}$	53	$4,2096\times10^{-6}$	59	$2,9360\times10^{-6}$	60	$2,1294\times10^{-6}$	57
40	$6,4794\times10^{-6}$	56	$4,0230\times10^{-6}$	61	$2,8430\times10^{-6}$	61	$2,0777\times10^{-6}$	58
45	$5,8723\times10^{-6}$	61	$3,6767\times10^{-6}$	64	$2,3371\times10^{-6}$	68	$1,6831\times10^{-6}$	66
50	$4,5747\times10^{-6}$	69	$2,8604\times10^{-6}$	72	$2,0798\times10^{-6}$	72	$1,5731\times10^{-6}$	68
55	$4,2218\times10^{-6}$	72	$2,7597\times10^{-6}$	73	$2,0176\times10^{-6}$	73	$1,5147\times10^{-6}$	69
60	$1,2693\times10^{-6}$	91	$1,1562\times10^{-6}$	89	$1,0402\times10^{-6}$	86	$9,1696\times10^{-7}$	81
Perdesiz	$1,4888\times10^{-5}$		$1,0283\times10^{-5}$		$7,3620\times10^{-6}$		$4,9300\times10^{-6}$	

Çizelge 4.22. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,0927\times10^{-5}$	26	$6,6697\times10^{-6}$	35	$4,6594\times10^{-6}$	35	$3,3013\times10^{-6}$	32
15	$1,0489\times10^{-5}$	29	$6,5064\times10^{-6}$	37	$4,5288\times10^{-6}$	37	$3,1823\times10^{-6}$	34
20	$9,7475\times10^{-6}$	34	$6,1491\times10^{-6}$	40	$4,3430\times10^{-6}$	39	$3,0873\times10^{-6}$	36
25	$8,8872\times10^{-6}$	40	$5,5572\times10^{-6}$	46	$3,4581\times10^{-6}$	52	$2,4401\times10^{-6}$	50
30	$7,3017\times10^{-6}$	51	$4,4391\times10^{-6}$	57	$3,1353\times10^{-6}$	56	$2,2944\times10^{-6}$	53
35	$7,0339\times10^{-6}$	52	$4,3428\times10^{-6}$	58	$3,0670\times10^{-6}$	57	$2,2294\times10^{-6}$	54
40	$6,5575\times10^{-6}$	56	$4,1479\times10^{-6}$	60	$2,9716\times10^{-6}$	59	$2,1775\times10^{-6}$	55
45	$5,9672\times10^{-6}$	60	$3,8001\times10^{-6}$	63	$2,4496\times10^{-6}$	66	$1,7879\times10^{-6}$	63
50	$4,6868\times10^{-6}$	68	$2,9967\times10^{-6}$	71	$2,2159\times10^{-6}$	69	$1,6818\times10^{-6}$	65
55	$4,3337\times10^{-6}$	71	$2,8966\times10^{-6}$	72	$2,1567\times10^{-6}$	70	$1,6248\times10^{-6}$	66
60	$1,4317\times10^{-6}$	90	$1,3158\times10^{-6}$	87	$1,1558\times10^{-6}$	84	$1,0361\times10^{-6}$	79
Perdesiz	$1,4801\times10^{-5}$		$1,0251\times10^{-5}$		$7,1775\times10^{-6}$		$4,8346\times10^{-6}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.21. ve 4.22.'de sunulmuş ve Şekil 4.11.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.11. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

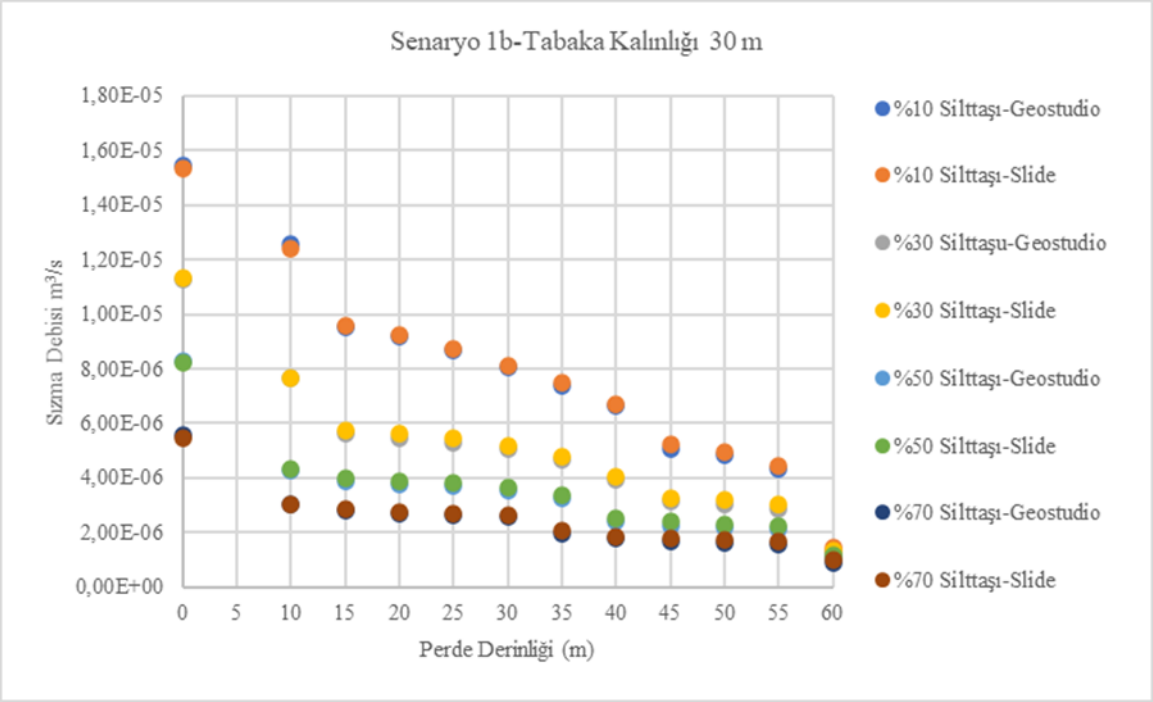
Çizelge 4.23. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2574\times10^{-5}$	19	$7,6805\times10^{-6}$	32	$4,2471\times10^{-6}$	49	$3,0163\times10^{-6}$	46
15	$9,5074\times10^{-6}$	39	$5,6169\times10^{-6}$	50	$3,8951\times10^{-6}$	53	$2,8093\times10^{-6}$	49
20	$9,1840\times10^{-6}$	41	$5,4635\times10^{-6}$	52	$3,7529\times10^{-6}$	55	$2,6923\times10^{-6}$	52
25	$8,6623\times10^{-6}$	44	$5,3038\times10^{-6}$	53	$3,6969\times10^{-6}$	55	$2,6379\times10^{-6}$	53
30	$8,0633\times10^{-6}$	48	$5,0381\times10^{-6}$	55	$3,5456\times10^{-6}$	57	$2,5561\times10^{-6}$	54
35	$7,4059\times10^{-6}$	52	$4,6704\times10^{-6}$	59	$3,2563\times10^{-6}$	61	$1,9869\times10^{-6}$	64
40	$6,6336\times10^{-6}$	57	$3,9564\times10^{-6}$	65	$2,4009\times10^{-6}$	71	$1,7780\times10^{-6}$	68
45	$5,0933\times10^{-6}$	67	$3,1238\times10^{-6}$	72	$2,2455\times10^{-6}$	73	$1,6838\times10^{-6}$	70
50	$4,8614\times10^{-6}$	69	$3,0411\times10^{-6}$	73	$2,1734\times10^{-6}$	74	$1,6236\times10^{-6}$	71
55	$4,3506\times10^{-6}$	72	$2,8922\times10^{-6}$	74	$2,1276\times10^{-6}$	74	$1,5885\times10^{-6}$	71
60	$1,2701\times10^{-6}$	92	$1,1544\times10^{-6}$	90	$1,0335\times10^{-6}$	88	$9,0497\times10^{-7}$	84
Perdesiz	$1,5470\times10^{-5}$		$1,1267\times10^{-5}$		$8,3046\times10^{-6}$		$5,5560\times10^{-6}$	

Çizelge 4.24. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$1,2423\times10^{-5}$	19	$7,6464\times10^{-6}$	32	$4,3283\times10^{-6}$	47	$3,0573\times10^{-6}$	44
15	$9,5689\times10^{-6}$	38	$5,7319\times10^{-6}$	49	$4,0070\times10^{-6}$	51	$2,8706\times10^{-6}$	47
20	$9,2270\times10^{-6}$	40	$5,6114\times10^{-6}$	50	$3,8677\times10^{-6}$	53	$2,7645\times10^{-6}$	49
25	$8,7142\times10^{-6}$	43	$5,4392\times10^{-6}$	52	$3,8131\times10^{-6}$	54	$2,7146\times10^{-6}$	50
30	$8,1254\times10^{-6}$	47	$5,1825\times10^{-6}$	54	$3,6609\times10^{-6}$	56	$2,6328\times10^{-6}$	52
35	$7,4899\times10^{-6}$	51	$4,8057\times10^{-6}$	57	$3,3780\times10^{-6}$	59	$2,0684\times10^{-6}$	62
40	$6,7106\times10^{-6}$	56	$4,0752\times10^{-6}$	64	$2,5317\times10^{-6}$	69	$1,8748\times10^{-6}$	65
45	$5,2118\times10^{-6}$	66	$3,2760\times10^{-6}$	71	$2,3867\times10^{-6}$	71	$1,7843\times10^{-6}$	67
50	$4,9776\times10^{-6}$	68	$3,1969\times10^{-6}$	72	$2,3126\times10^{-6}$	72	$1,7254\times10^{-6}$	68
55	$4,4652\times10^{-6}$	71	$3,0445\times10^{-6}$	73	$2,2680\times10^{-6}$	72	$1,6934\times10^{-6}$	69
60	$1,4395\times10^{-6}$	91	$1,3262\times10^{-6}$	88	$1,1822\times10^{-6}$	86	$1,0204\times10^{-6}$	81
Perdesiz	$1,5339\times10^{-5}$		$1,1302\times10^{-5}$		$8,2440\times10^{-6}$		$5,4333\times10^{-6}$	

30 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.23. ve 4.24.'te sunulmuş ve Şekil 4.12.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.12. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.2.3. Senaryo-1c Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Analizi Sonuçları

Senaryo-1c'de yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-8} m/s, plastik betonda 10^{-9} m/s olarak alınmıştır.

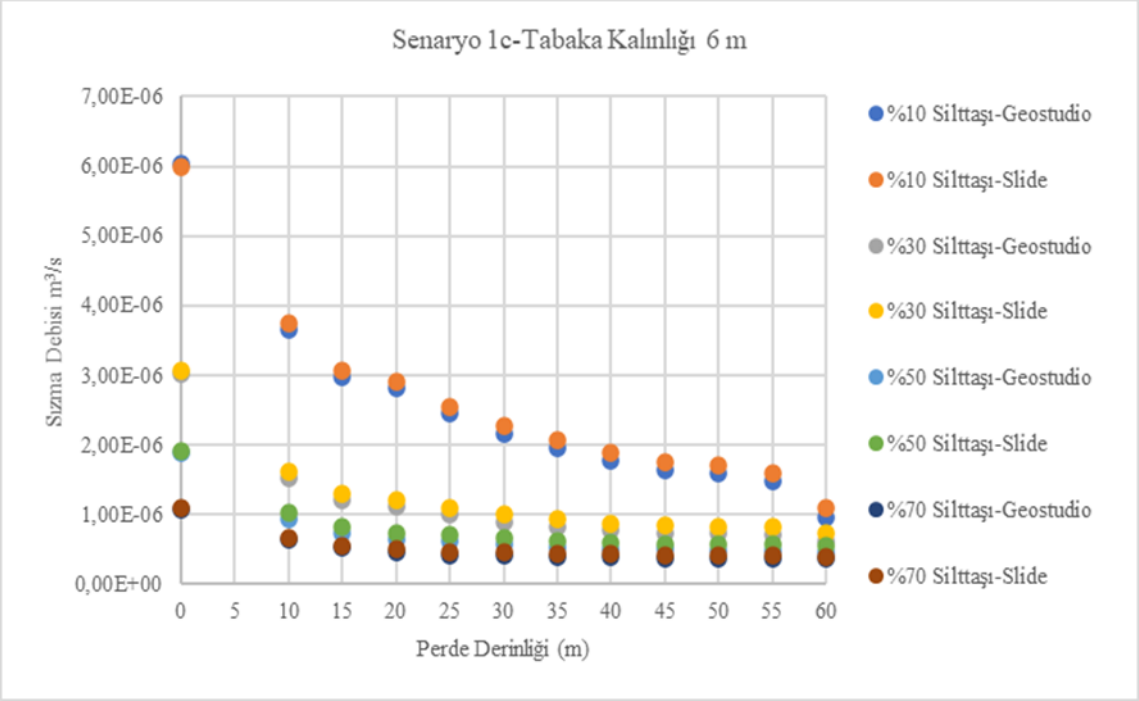
Çizelge 4.25. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}6694\times10^{-6}$	39	$1{,}5267\times10^{-6}$	50	$9{,}3935\times10^{-7}$	50	$6{,}3821\times10^{-7}$	40
15	$2{,}9775\times10^{-6}$	51	$1{,}2037\times10^{-6}$	60	$7{,}4551\times10^{-7}$	60	$5{,}2328\times10^{-7}$	51
20	$2{,}8165\times10^{-6}$	53	$1{,}1175\times10^{-6}$	63	$6{,}4132\times10^{-7}$	66	$4{,}6084\times10^{-7}$	57
25	$2{,}4493\times10^{-6}$	59	$9{,}9848\times10^{-7}$	67	$6{,}2851\times10^{-7}$	67	$4{,}2716\times10^{-7}$	60
30	$2{,}1661\times10^{-6}$	64	$8{,}9359\times10^{-7}$	70	$5{,}7384\times10^{-7}$	70	$4{,}2215\times10^{-7}$	61
35	$1{,}9518\times10^{-6}$	68	$8{,}2295\times10^{-7}$	73	$5{,}3803\times10^{-7}$	71	$4{,}0194\times10^{-7}$	63
40	$1{,}7843\times10^{-6}$	70	$7{,}7480\times10^{-7}$	74	$5{,}1524\times10^{-7}$	73	$3{,}8958\times10^{-7}$	64
45	$1{,}6462\times10^{-6}$	73	$7{,}4124\times10^{-7}$	75	$5{,}0064\times10^{-7}$	73	$3{,}8196\times10^{-7}$	64
50	$1{,}6051\times10^{-6}$	73	$7{,}3006\times10^{-7}$	76	$4{,}9060\times10^{-7}$	74	$3{,}7682\times10^{-7}$	65
55	$1{,}4901\times10^{-6}$	75	$7{,}1184\times10^{-7}$	76	$4{,}8896\times10^{-7}$	74	$3{,}7238\times10^{-7}$	65
60	$9{,}6456\times10^{-7}$	84	$6{,}2818\times10^{-7}$	79	$4{,}6245\times10^{-7}$	75	$3{,}6470\times10^{-7}$	66
Perdesiz	$6{,}0346\times10^{-6}$		$3{,}0238\times10^{-6}$		$1{,}8870\times10^{-6}$		$1{,}0723\times10^{-6}$	

Çizelge 4.26. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7455\times10^{-6}$	38	$1,6275\times10^{-6}$	47	$1,0199\times10^{-6}$	47	$6,7550\times10^{-7}$	38
15	$3,0693\times10^{-6}$	49	$1,3058\times10^{-6}$	58	$8,2906\times10^{-7}$	57	$5,6364\times10^{-7}$	49
20	$2,9024\times10^{-6}$	52	$1,2115\times10^{-6}$	61	$7,2584\times10^{-7}$	62	$5,0255\times10^{-7}$	54
25	$2,5500\times10^{-6}$	57	$1,1013\times10^{-6}$	64	$7,1316\times10^{-7}$	63	$4,6842\times10^{-7}$	57
30	$2,2735\times10^{-6}$	62	$9,9821\times10^{-7}$	68	$6,6006\times10^{-7}$	66	$4,6426\times10^{-7}$	58
35	$2,0629\times10^{-6}$	66	$9,2824\times10^{-7}$	70	$6,2493\times10^{-7}$	67	$4,4437\times10^{-7}$	60
40	$1,8982\times10^{-6}$	68	$8,8046\times10^{-7}$	71	$6,0249\times10^{-7}$	69	$4,3207\times10^{-7}$	61
45	$1,7613\times10^{-6}$	71	$8,4681\times10^{-7}$	72	$5,8807\times10^{-7}$	69	$4,2448\times10^{-7}$	61
50	$1,7185\times10^{-6}$	71	$8,3443\times10^{-7}$	73	$5,7815\times10^{-7}$	70	$4,1936\times10^{-7}$	62
55	$1,6059\times10^{-6}$	73	$8,1731\times10^{-7}$	73	$5,7652\times10^{-7}$	70	$4,1482\times10^{-7}$	62
60	$1,0880\times10^{-6}$	82	$7,3400\times10^{-7}$	76	$5,5057\times10^{-7}$	71	$4,0715\times10^{-7}$	63
Perdesiz	$5,9930\times10^{-6}$		$3,0778\times10^{-6}$		$1,9145\times10^{-6}$		$1,0975\times10^{-6}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.25. ve 4.26.'da sunulmuş ve Şekil 4.13.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.13. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

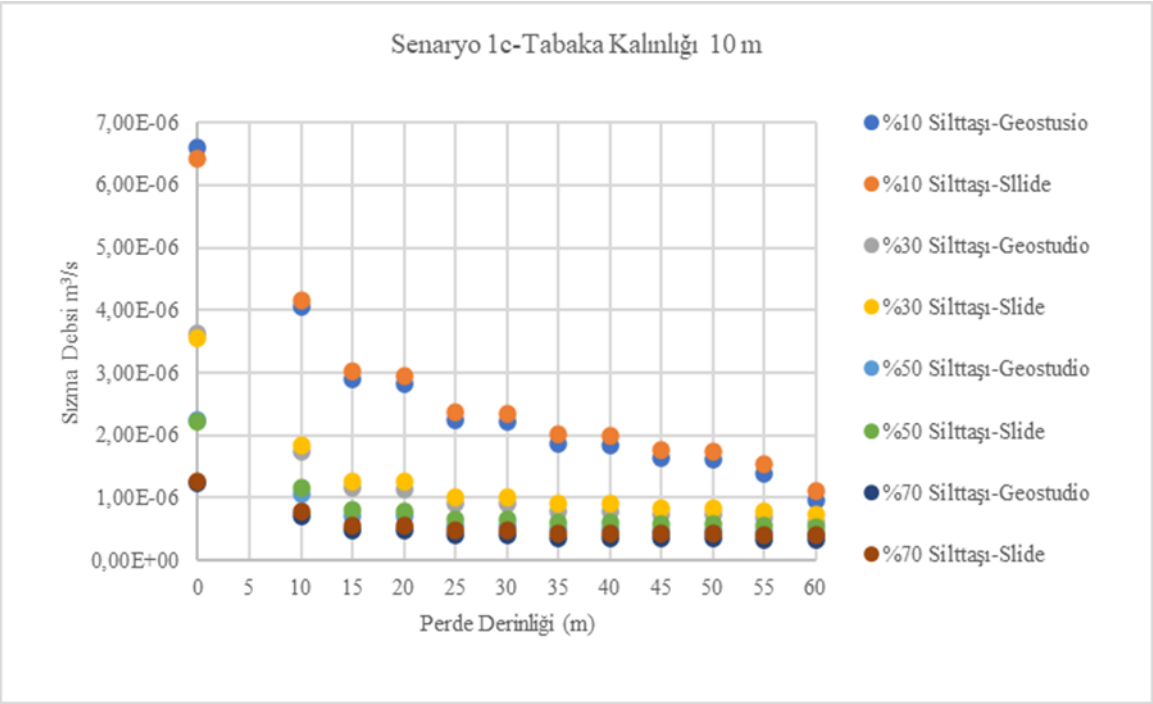
Çizelge 4.27. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}0666\times10^{-6}$	39	$1{,}7530\times10^{-6}$	52	$1{,}0688\times10^{-6}$	53	$7{,}0311\times10^{-7}$	44
15	$2{,}9071\times10^{-6}$	56	$1{,}1629\times10^{-6}$	68	$7{,}0609\times10^{-7}$	69	$4{,}8397\times10^{-7}$	61
20	$2{,}8309\times10^{-6}$	57	$1{,}1458\times10^{-6}$	69	$6{,}9955\times10^{-7}$	69	$4{,}7939\times10^{-7}$	62
25	$2{,}2506\times10^{-6}$	66	$9{,}0767\times10^{-7}$	75	$5{,}6519\times10^{-7}$	75	$3{,}9808\times10^{-7}$	68
30	$2{,}2094\times10^{-6}$	67	$9{,}0002\times10^{-7}$	75	$5{,}6194\times10^{-7}$	75	$3{,}9623\times10^{-7}$	68
35	$1{,}8774\times10^{-6}$	72	$7{,}8803\times10^{-7}$	78	$5{,}0454\times10^{-7}$	78	$3{,}6283\times10^{-7}$	71
40	$1{,}8517\times10^{-6}$	72	$7{,}8417\times10^{-7}$	78	$5{,}0306\times10^{-7}$	78	$3{,}6203\times10^{-7}$	71
45	$1{,}6308\times10^{-6}$	75	$7{,}2518\times10^{-7}$	80	$4{,}7613\times10^{-7}$	79	$3{,}4711\times10^{-7}$	72
50	$1{,}6101\times10^{-6}$	76	$7{,}2309\times10^{-7}$	80	$4{,}7397\times10^{-7}$	79	$3{,}4672\times10^{-7}$	72
55	$1{,}3946\times10^{-6}$	79	$6{,}8048\times10^{-7}$	81	$4{,}5728\times10^{-7}$	80	$3{,}3794\times10^{-7}$	73
60	$9{,}6202\times10^{-7}$	85	$6{,}1024\times10^{-7}$	83	$4{,}3666\times10^{-7}$	81	$3{,}2814\times10^{-7}$	74
Perdesiz	$6{,}6125\times10^{-6}$		$3{,}6423\times10^{-6}$		$2{,}2530\times10^{-6}$		$1{,}2492\times10^{-6}$	

Çizelge 4.28. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}1624\times10^{-6}$	35	$1{,}8403\times10^{-6}$	48	$1{,}1534\times10^{-6}$	48	$7{,}7416\times10^{-7}$	39
15	$3{,}0277\times10^{-6}$	53	$1{,}2700\times10^{-6}$	64	$8{,}0342\times10^{-7}$	64	$5{,}6034\times10^{-7}$	56
20	$2{,}9520\times10^{-6}$	54	$1{,}2533\times10^{-6}$	65	$7{,}9546\times10^{-7}$	64	$5{,}5580\times10^{-7}$	56
25	$2{,}3801\times10^{-6}$	63	$1{,}0202\times10^{-6}$	71	$6{,}6466\times10^{-7}$	70	$4{,}7564\times10^{-7}$	63
30	$2{,}3391\times10^{-6}$	64	$1{,}0127\times10^{-6}$	72	$6{,}6154\times10^{-7}$	70	$4{,}7377\times10^{-7}$	63
35	$2{,}0109\times10^{-6}$	69	$9{,}0289\times10^{-7}$	75	$6{,}0579\times10^{-7}$	73	$4{,}4085\times10^{-7}$	65
40	$1{,}9853\times10^{-6}$	69	$8{,}9913\times10^{-7}$	75	$6{,}0439\times10^{-7}$	73	$4{,}3999\times10^{-7}$	65
45	$1{,}7666\times10^{-6}$	73	$8{,}4123\times10^{-7}$	76	$5{,}7835\times10^{-7}$	74	$4{,}2527\times10^{-7}$	67
50	$1{,}7457\times10^{-6}$	73	$8{,}3891\times10^{-7}$	76	$5{,}7761\times10^{-7}$	74	$4{,}2492\times10^{-7}$	67
55	$1{,}5318\times10^{-6}$	76	$7{,}9716\times10^{-7}$	78	$5{,}6155\times10^{-7}$	75	$4{,}1621\times10^{-7}$	67
60	$1{,}1029\times10^{-6}$	83	$7{,}3026\times10^{-7}$	79	$5{,}4040\times10^{-7}$	76	$4{,}0647\times10^{-7}$	68
Perdesiz	$6{,}4318\times10^{-6}$		$3{,}5594\times10^{-6}$		$2{,}2248\times10^{-6}$		$1{,}2737\times10^{-6}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.27. ve 4.28.'de sunulmuş ve Şekil 4.14.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.14. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

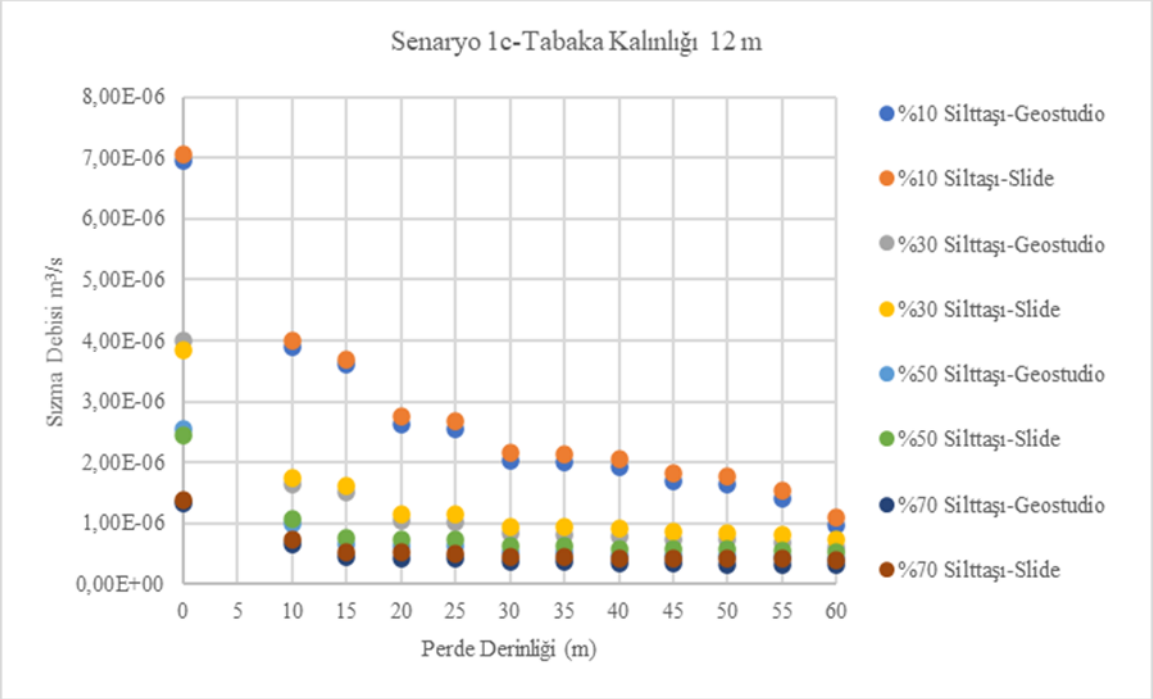
Çizelge 4.29. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,8927\times10^{-6}$	44	$1,6366\times10^{-6}$	59	$9,9082\times10^{-7}$	61	$6,5002\times10^{-7}$	52
15	$3,6030\times10^{-6}$	48	$1,5210\times10^{-6}$	62	$6,7000\times10^{-7}$	74	$4,4366\times10^{-7}$	67
20	$2,6248\times10^{-6}$	62	$1,0444\times10^{-6}$	74	$6,3463\times10^{-7}$	75	$4,3429\times10^{-7}$	68
25	$2,5439\times10^{-6}$	63	$1,0269\times10^{-6}$	74	$6,2660\times10^{-7}$	75	$4,2852\times10^{-7}$	68
30	$2,0278\times10^{-6}$	71	$8,2949\times10^{-7}$	79	$5,1880\times10^{-7}$	80	$3,6528\times10^{-7}$	73
35	$2,0017\times10^{-6}$	71	$8,2532\times10^{-7}$	79	$5,1716\times10^{-7}$	80	$3,6441\times10^{-7}$	73
40	$1,9204\times10^{-6}$	72	$7,9252\times10^{-7}$	80	$4,7479\times10^{-7}$	81	$3,4007\times10^{-7}$	75
45	$1,6829\times10^{-6}$	76	$7,3385\times10^{-7}$	82	$4,7306\times10^{-7}$	81	$3,3923\times10^{-7}$	75
50	$1,6464\times10^{-6}$	76	$7,2851\times10^{-7}$	82	$4,7069\times10^{-7}$	81	$3,2883\times10^{-7}$	76
55	$1,4132\times10^{-6}$	80	$6,7912\times10^{-7}$	83	$4,4998\times10^{-7}$	82	$3,2734\times10^{-7}$	76
60	$9,6202\times10^{-7}$	86	$6,0656\times10^{-7}$	85	$4,2684\times10^{-7}$	83	$3,1638\times10^{-7}$	76
Perdesiz	$6,9509\times10^{-6}$		$3,9930\times10^{-6}$		$2,5399\times10^{-6}$		$1,3455\times10^{-6}$	

Çizelge 4.30. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,9930\times10^{-6}$	43	$1,7405\times10^{-6}$	55	$1,0858\times10^{-6}$	56	$7,3327\times10^{-7}$	47
15	$3,7011\times10^{-6}$	48	$1,6218\times10^{-6}$	58	$7,6730\times10^{-7}$	69	$5,2902\times10^{-7}$	62
20	$2,7513\times10^{-6}$	61	$1,1637\times10^{-6}$	70	$7,4002\times10^{-7}$	70	$5,2012\times10^{-7}$	62
25	$2,6696\times10^{-6}$	62	$1,1459\times10^{-6}$	70	$7,3184\times10^{-7}$	70	$5,1381\times10^{-7}$	63
30	$2,1614\times10^{-6}$	69	$9,5260\times10^{-7}$	75	$6,2753\times10^{-7}$	74	$4,5180\times10^{-7}$	67
35	$2,1356\times10^{-6}$	70	$9,4861\times10^{-7}$	75	$6,2608\times10^{-7}$	74	$4,5106\times10^{-7}$	67
40	$2,0522\times10^{-6}$	71	$9,1356\times10^{-7}$	76	$5,8506\times10^{-7}$	76	$4,2692\times10^{-7}$	69
45	$1,8201\times10^{-6}$	74	$8,5895\times10^{-7}$	78	$5,8353\times10^{-7}$	76	$4,2615\times10^{-7}$	69
50	$1,7831\times10^{-6}$	75	$8,5350\times10^{-7}$	78	$5,8100\times10^{-7}$	76	$4,1566\times10^{-7}$	70
55	$1,5531\times10^{-6}$	78	$8,0529\times10^{-7}$	79	$5,6220\times10^{-7}$	77	$4,1438\times10^{-7}$	70
60	$1,1050\times10^{-6}$	84	$7,3449\times10^{-7}$	81	$5,3920\times10^{-7}$	78	$4,0355\times10^{-7}$	71
Perdesiz	$7,0522\times10^{-6}$		$3,8369\times10^{-6}$		$2,4495\times10^{-6}$		$1,3768\times10^{-6}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.29. ve 4.30.'da sunulmuş ve Şekil 4.15.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.15. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

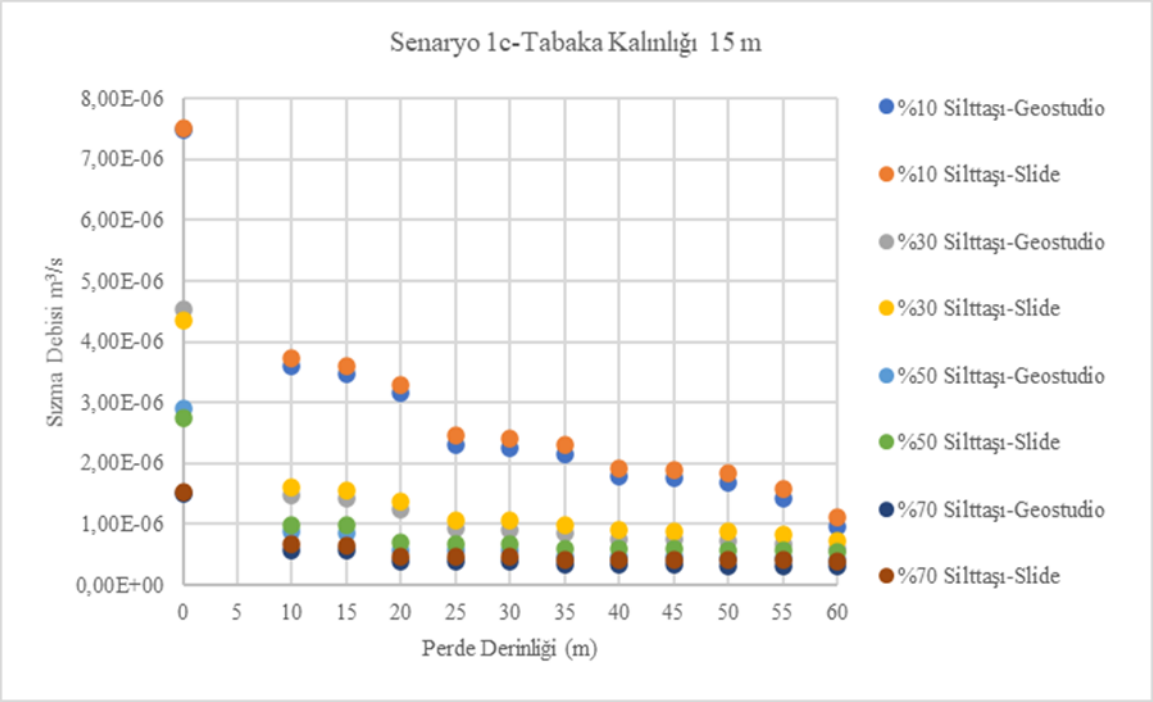
Çizelge 4.31. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,6038\times10^{-6}$	52	$1,4673\times10^{-6}$	68	$8,7608\times10^{-7}$	70	$5,7580\times10^{-7}$	62
15	$3,4674\times10^{-6}$	54	$1,4358\times10^{-6}$	68	$8,6258\times10^{-7}$	70	$5,6946\times10^{-7}$	62
20	$3,1601\times10^{-6}$	58	$1,2433\times10^{-6}$	73	$5,7107\times10^{-7}$	80	$3,8759\times10^{-7}$	74
25	$2,3137\times10^{-6}$	69	$9,2304\times10^{-7}$	80	$5,6174\times10^{-7}$	81	$3,8303\times10^{-7}$	75
30	$2,2639\times10^{-6}$	70	$9,1454\times10^{-7}$	80	$5,5855\times10^{-7}$	81	$3,8142\times10^{-7}$	75
35	$2,1477\times10^{-6}$	71	$8,5982\times10^{-7}$	81	$4,7825\times10^{-7}$	84	$3,3329\times10^{-7}$	78
40	$1,7787\times10^{-6}$	76	$7,5363\times10^{-7}$	83	$4,7530\times10^{-7}$	84	$3,3192\times10^{-7}$	78
45	$1,7521\times10^{-6}$	77	$7,5034\times10^{-7}$	84	$4,7425\times10^{-7}$	84	$3,3142\times10^{-7}$	78
50	$1,6860\times10^{-6}$	77	$7,2821\times10^{-7}$	84	$4,4481\times10^{-7}$	85	$3,1479\times10^{-7}$	79
55	$1,4359\times10^{-6}$	81	$6,7936\times10^{-7}$	85	$4,4358\times10^{-7}$	85	$3,1425\times10^{-7}$	79
60	$9,5963\times10^{-7}$	87	$6,0092\times10^{-7}$	87	$4,1685\times10^{-7}$	86	$3,0147\times10^{-7}$	80
Perdesiz	$7,4897\times10^{-6}$		$4,5346\times10^{-6}$		$2,9073\times10^{-6}$		$1,5094\times10^{-6}$	

Çizelge 4.32. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7424\times10^{-6}$	50	$1,5998\times10^{-6}$	63	$9,9388\times10^{-7}$	64	$6,6714\times10^{-7}$	56
15	$3,5939\times10^{-6}$	52	$1,5681\times10^{-6}$	64	$9,8077\times10^{-7}$	64	$6,6032\times10^{-7}$	57
20	$3,2822\times10^{-6}$	56	$1,3664\times10^{-6}$	69	$6,9221\times10^{-7}$	75	$4,8021\times10^{-7}$	69
25	$2,4630\times10^{-6}$	67	$1,0639\times10^{-6}$	75	$6,8370\times10^{-7}$	75	$4,7617\times10^{-7}$	69
30	$2,4139\times10^{-6}$	68	$1,0554\times10^{-6}$	76	$6,8062\times10^{-7}$	75	$4,7456\times10^{-7}$	69
35	$2,2940\times10^{-6}$	69	$9,9742\times10^{-7}$	77	$6,0123\times10^{-7}$	78	$4,2689\times10^{-7}$	72
40	$1,9280\times10^{-6}$	74	$8,9701\times10^{-7}$	79	$5,9859\times10^{-7}$	78	$4,2565\times10^{-7}$	72
45	$1,9009\times10^{-6}$	75	$8,9371\times10^{-7}$	79	$5,9745\times10^{-7}$	78	$4,2516\times10^{-7}$	72
50	$1,8370\times10^{-6}$	76	$8,7006\times10^{-7}$	80	$5,6839\times10^{-7}$	79	$4,0870\times10^{-7}$	73
55	$1,5917\times10^{-6}$	79	$8,2388\times10^{-7}$	81	$5,6726\times10^{-7}$	79	$4,0819\times10^{-7}$	73
60	$1,1177\times10^{-6}$	85	$7,2489\times10^{-7}$	83	$5,4096\times10^{-7}$	80	$3,9552\times10^{-7}$	74
Perdesiz	$7,5168\times10^{-6}$		$4,3389\times10^{-6}$		$2,7348\times10^{-6}$		$1,5316\times10^{-6}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.31. ve 4.32.'de sunulmuş ve Şekil 4.16.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.16. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

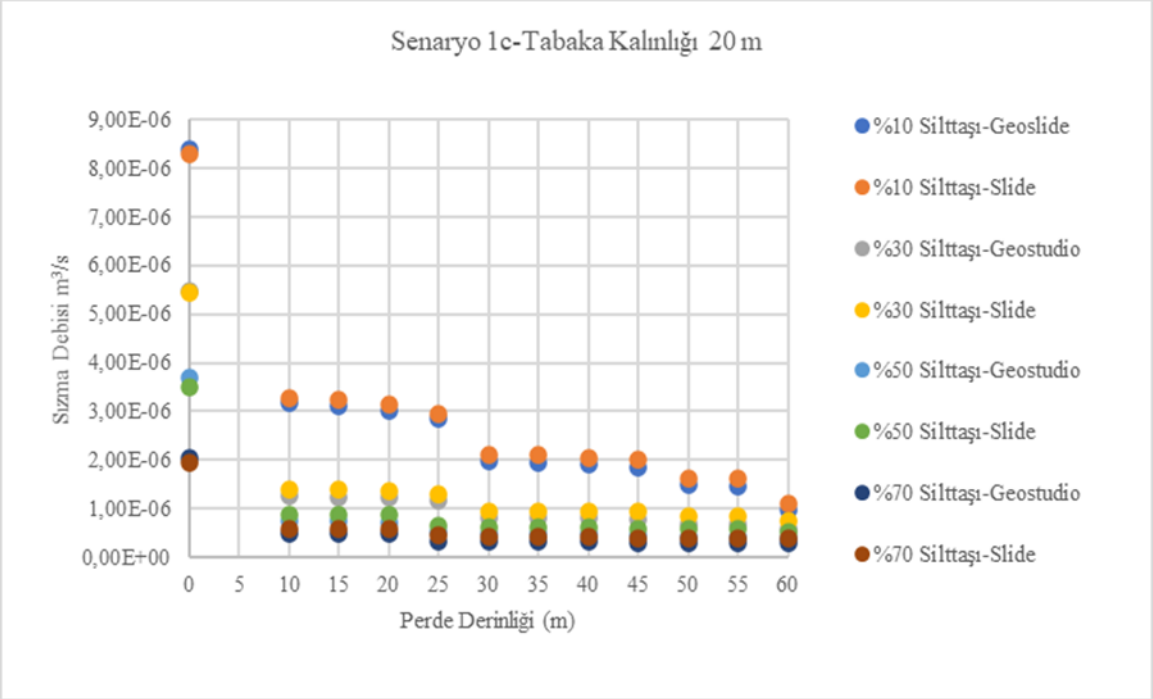
Çizelge 4.33. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,1650\times10^{-6}$	62	$1,2561\times10^{-6}$	77	$7,4683\times10^{-7}$	80	$4,8800\times10^{-7}$	76
15	$3,1185\times10^{-6}$	63	$1,2458\times10^{-6}$	77	$7,4119\times10^{-7}$	80	$4,8420\times10^{-7}$	76
20	$3,0141\times10^{-6}$	64	$1,2237\times10^{-6}$	78	$7,3132\times10^{-7}$	80	$4,7978\times10^{-7}$	76
25	$2,8396\times10^{-6}$	66	$1,1640\times10^{-6}$	79	$5,2056\times10^{-7}$	86	$3,3591\times10^{-7}$	84
30	$1,9718\times10^{-6}$	76	$8,0638\times10^{-7}$	85	$4,9418\times10^{-7}$	87	$3,3036\times10^{-7}$	84
35	$1,9552\times10^{-6}$	77	$8,0368\times10^{-7}$	85	$4,9278\times10^{-7}$	87	$3,2978\times10^{-7}$	84
40	$1,9212\times10^{-6}$	77	$7,9869\times10^{-7}$	85	$4,9104\times10^{-7}$	87	$3,2856\times10^{-7}$	84
45	$1,8601\times10^{-6}$	78	$7,8495\times10^{-7}$	86	$4,4475\times10^{-7}$	88	$2,9854\times10^{-7}$	85
50	$1,4848\times10^{-6}$	82	$6,8526\times10^{-7}$	88	$4,3787\times10^{-7}$	88	$2,9718\times10^{-7}$	85
55	$1,4673\times10^{-6}$	82	$6,8396\times10^{-7}$	88	$4,3748\times10^{-7}$	88	$2,9691\times10^{-7}$	85
60	$9,6027\times10^{-7}$	89	$5,9694\times10^{-7}$	89	$4,0617\times10^{-7}$	89	$2,8098\times10^{-7}$	86
Perdesiz	$8,3841\times10^{-6}$		$5,4832\times10^{-6}$		$3,6843\times10^{-6}$		$2,0375\times10^{-6}$	

Çizelge 4.34. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,2769\times10^{-6}$	61	$1,3973\times10^{-6}$	74	$8,8277\times10^{-7}$	75	$5,9529\times10^{-7}$	69
15	$3,2394\times10^{-6}$	61	$1,3921\times10^{-6}$	74	$8,7862\times10^{-7}$	75	$5,9193\times10^{-7}$	70
20	$3,1355\times10^{-6}$	62	$1,3674\times10^{-6}$	75	$8,6912\times10^{-7}$	75	$5,8749\times10^{-7}$	70
25	$2,9620\times10^{-6}$	64	$1,3065\times10^{-6}$	76	$6,5473\times10^{-7}$	81	$4,4574\times10^{-7}$	77
30	$2,1050\times10^{-6}$	75	$9,5986\times10^{-7}$	82	$6,3388\times10^{-7}$	82	$4,4075\times10^{-7}$	77
35	$2,0949\times10^{-6}$	75	$9,5748\times10^{-7}$	82	$6,3277\times10^{-7}$	82	$4,4008\times10^{-7}$	77
40	$2,0578\times10^{-6}$	75	$9,5024\times10^{-7}$	83	$6,3105\times10^{-7}$	82	$4,3926\times10^{-7}$	77
45	$2,0012\times10^{-6}$	76	$9,3793\times10^{-7}$	83	$5,8405\times10^{-7}$	83	$4,0964\times10^{-7}$	79
50	$1,6308\times10^{-6}$	80	$8,3791\times10^{-7}$	85	$5,7832\times10^{-7}$	84	$4,0842\times10^{-7}$	79
55	$1,6124\times10^{-6}$	81	$8,3671\times10^{-7}$	85	$5,7804\times10^{-7}$	84	$4,0824\times10^{-7}$	79
60	$1,1139\times10^{-6}$	87	$7,5467\times10^{-7}$	86	$5,2819\times10^{-7}$	85	$3,9260\times10^{-7}$	80
Perdesiz	$8,3001\times10^{-6}$		$5,4520\times10^{-6}$		$3,5103\times10^{-6}$		$1,9474\times10^{-6}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.33. ve 4.34.'da sunulmuş ve Şekil 4.17.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.17. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

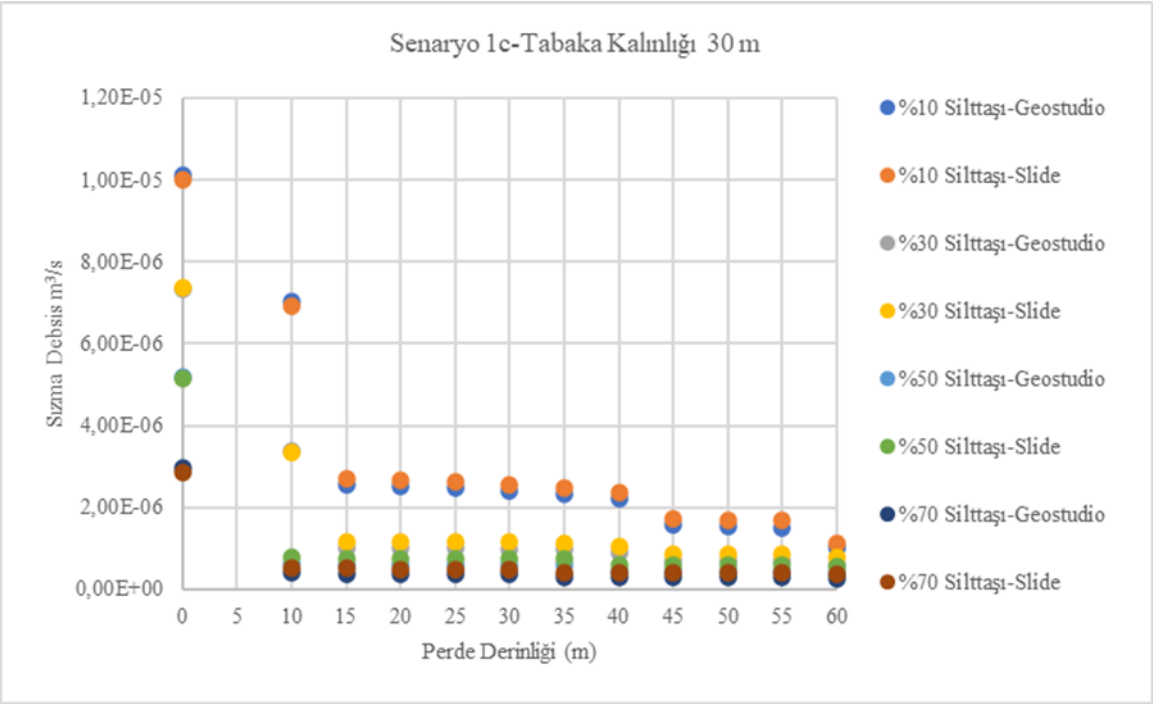
Çizelge 4.35. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$7{,}0347\times10^{-6}$	28	$3{,}3920\times10^{-6}$	54	$6{,}2487\times10^{-7}$	88	$3{,}9504\times10^{-7}$	87
15	$2{,}5368\times10^{-6}$	75	$1{,}0092\times10^{-6}$	86	$6{,}0209\times10^{-7}$	88	$3{,}8626\times10^{-7}$	87
20	$2{,}5152\times10^{-6}$	75	$1{,}0026\times10^{-6}$	86	$5{,}9763\times10^{-7}$	88	$3{,}8346\times10^{-7}$	87
25	$2{,}4764\times10^{-6}$	76	$9{,}9788\times10^{-7}$	86	$5{,}9659\times10^{-7}$	89	$3{,}8280\times10^{-7}$	87
30	$2{,}4195\times10^{-6}$	76	$9{,}8749\times10^{-7}$	87	$5{,}9213\times10^{-7}$	89	$3{,}8044\times10^{-7}$	87
35	$2{,}3402\times10^{-6}$	77	$9{,}6870\times10^{-7}$	87	$5{,}8001\times10^{-7}$	89	$2{,}9714\times10^{-7}$	90
40	$2{,}2134\times10^{-6}$	78	$9{,}0391\times10^{-7}$	88	$4{,}4841\times10^{-7}$	91	$2{,}8932\times10^{-7}$	90
45	$1{,}5584\times10^{-6}$	85	$7{,}0953\times10^{-7}$	90	$4{,}4506\times10^{-7}$	91	$2{,}8802\times10^{-7}$	90
50	$1{,}5484\times10^{-6}$	85	$7{,}0829\times10^{-7}$	90	$4{,}4439\times10^{-7}$	91	$2{,}8760\times10^{-7}$	90
55	$1{,}5186\times10^{-6}$	85	$7{,}0595\times10^{-7}$	90	$4{,}4228\times10^{-7}$	91	$2{,}8589\times10^{-7}$	90
60	$9{,}9660\times10^{-7}$	90	$6{,}0376\times10^{-7}$	92	$4{,}0409\times10^{-7}$	92	$2{,}6549\times10^{-7}$	91
Perdesiz	$1{,}0128\times10^{-5}$		$7{,}3346\times10^{-6}$		$5{,}1954\times10^{-6}$		$2{,}9670\times10^{-6}$	

Çizelge 4.36. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6{,}9054\times10^{-6}$	31	$3{,}3420\times10^{-6}$	55	$7{,}7053\times10^{-7}$	85	$5{,}1235\times10^{-7}$	82
15	$2{,}6859\times10^{-6}$	73	$1{,}1695\times10^{-6}$	84	$7{,}5234\times10^{-7}$	85	$5{,}0501\times10^{-7}$	82
20	$2{,}6572\times10^{-6}$	73	$1{,}1704\times10^{-6}$	84	$7{,}4720\times10^{-7}$	85	$5{,}0256\times10^{-7}$	82
25	$2{,}6187\times10^{-6}$	74	$1{,}1627\times10^{-6}$	84	$7{,}4589\times10^{-7}$	85	$5{,}0211\times10^{-7}$	82
30	$2{,}5626\times10^{-6}$	74	$1{,}1551\times10^{-6}$	84	$7{,}4134\times10^{-7}$	86	$4{,}9975\times10^{-7}$	82
35	$2{,}4879\times10^{-6}$	75	$1{,}1331\times10^{-6}$	85	$7{,}3168\times10^{-7}$	86	$4{,}1687\times10^{-7}$	85
40	$2{,}3558\times10^{-6}$	76	$1{,}0657\times10^{-6}$	86	$5{,}9889\times10^{-7}$	88	$4{,}1017\times10^{-7}$	86
45	$1{,}7147\times10^{-6}$	83	$8{,}7531\times10^{-7}$	88	$5{,}9832\times10^{-7}$	88	$4{,}0900\times10^{-7}$	86
50	$1{,}7033\times10^{-6}$	83	$8{,}7424\times10^{-7}$	88	$5{,}9595\times10^{-7}$	88	$4{,}0860\times10^{-7}$	86
55	$1{,}6732\times10^{-6}$	83	$8{,}7183\times10^{-7}$	88	$5{,}9560\times10^{-7}$	88	$4{,}0854\times10^{-7}$	86
60	$1{,}1334\times10^{-6}$	89	$7{,}7399\times10^{-7}$	89	$5{,}5536\times10^{-7}$	89	$3{,}8689\times10^{-7}$	86
Perdesiz	$1{,}0000\times10^{-5}$		$7{,}3691\times10^{-6}$		$5{,}1367\times10^{-6}$		$2{,}8506\times10^{-6}$	

30 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.35. ve 4.36.'da sunulmuş ve Şekil 4.18.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.3. Senaryo-2 Sızma Analizi Sonuçları

Senaryo-2'de yapılan alt analizlerin tamamında; kumtaşı hidrolik iletkenlik değeri 10^{-5} m/s olarak alınmış olup silttaşı hidrolik iletkenlik değeri ilk iki alt senaryoda 10^{-7} m/s üçüncü alt senaryo da ise 10^{-8} m/s değeri olarak kabul edilmiştir. Plastik beton hidrolik iletkenlik değeri ise ilk iki alt senaryoda 10^{-8} m/s, üçüncü alt senaryoda 10^{-9} m/s olarak dikkate alınmıştır.

4.3.1. Senaryo-2a Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları

Senaryo-2a'da yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s, plastik betonda 10^{-8} m/s olarak alınmıştır.

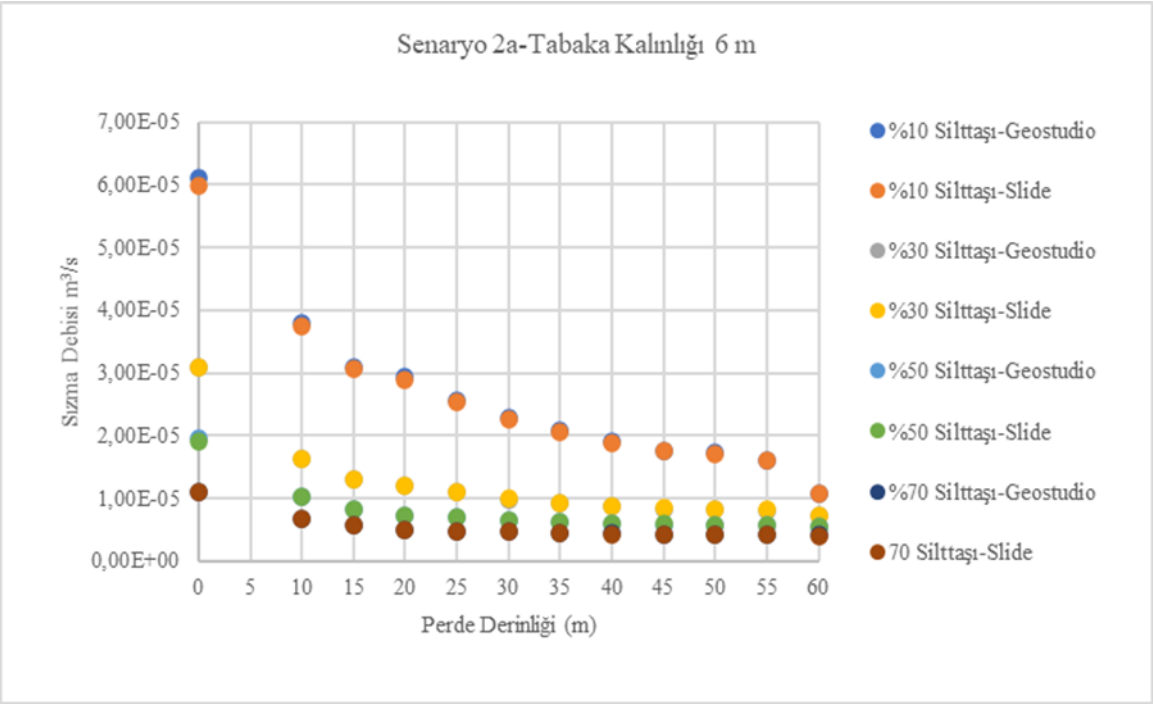
Çizelge 4.37. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7831\times10^{-5}$	38	$1,6171\times10^{-5}$	48	$1,0170\times10^{-5}$	48	$6,8284\times10^{-6}$	38
15	$3,0936\times10^{-5}$	49	$1,2957\times10^{-5}$	58	$8,2435\times10^{-6}$	58	$5,6907\times10^{-6}$	48
20	$2,9330\times10^{-5}$	52	$1,2097\times10^{-5}$	61	$7,2068\times10^{-6}$	63	$5,0711\times10^{-6}$	54
25	$2,5673\times10^{-5}$	58	$1,0911\times10^{-5}$	65	$7,0793\times10^{-6}$	64	$4,7366\times10^{-6}$	57
30	$2,2847\times10^{-5}$	63	$9,8659\times10^{-6}$	68	$6,5349\times10^{-6}$	66	$4,6869\times10^{-6}$	58
35	$2,0710\times10^{-5}$	66	$9,1617\times10^{-6}$	70	$6,1783\times10^{-6}$	68	$4,4860\times10^{-6}$	59
40	$1,9040\times10^{-5}$	69	$8,6817\times10^{-6}$	72	$5,9514\times10^{-6}$	69	$4,3632\times10^{-6}$	60
45	$1,7662\times10^{-5}$	71	$8,3471\times10^{-6}$	73	$5,8060\times10^{-6}$	70	$4,2875\times10^{-6}$	61
50	$1,7253\times10^{-5}$	72	$8,2356\times10^{-6}$	73	$5,7059\times10^{-6}$	71	$4,2364\times10^{-6}$	62
55	$1,6104\times10^{-5}$	74	$8,0540\times10^{-6}$	74	$5,6897\times10^{-6}$	71	$4,1922\times10^{-6}$	62
60	$1,0860\times10^{-5}$	82	$7,2199\times10^{-6}$	77	$5,4256\times10^{-6}$	72	$4,1159\times10^{-6}$	63
Perdesiz	$6,1233\times10^{-5}$		$3,0938\times10^{-5}$		$1,9471\times10^{-5}$		$1,1038\times10^{-5}$	

Çizelge 4.38. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri tablosu ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7416\times10^{-5}$	38	$1,6238\times10^{-5}$	47	$1,0169\times10^{-5}$	47	$6,7385\times10^{-6}$	39
15	$3,0649\times10^{-5}$	49	$1,3018\times10^{-5}$	58	$8,2587\times10^{-6}$	57	$5,6185\times10^{-6}$	49
20	$2,8979\times10^{-5}$	52	$1,2075\times10^{-5}$	96	$7,2257\times10^{-6}$	62	$5,0072\times10^{-6}$	54
25	$2,5453\times10^{-5}$	58	$1,0973\times10^{-5}$	64	$7,0986\times10^{-6}$	63	$4,6658\times10^{-6}$	58
30	$2,2686\times10^{-5}$	62	$9,9409\times10^{-6}$	68	$6,5674\times10^{-6}$	66	$4,6240\times10^{-6}$	58
35	$2,0580\times10^{-5}$	66	$9,2407\times10^{-6}$	70	$6,2158\times10^{-6}$	68	$4,4251\times10^{-6}$	60
40	$1,8932\times10^{-5}$	68	$8,7625\times10^{-6}$	72	$5,9915\times10^{-6}$	69	$4,3020\times10^{-6}$	61
45	$1,7562\times10^{-5}$	71	$8,4261\times10^{-6}$	73	$5,8475\times10^{-6}$	69	$4,2259\times10^{-6}$	62
50	$1,7133\times10^{-5}$	71	$8,3023\times10^{-6}$	73	$5,7480\times10^{-6}$	70	$4,1747\times10^{-6}$	62
55	$1,6008\times10^{-5}$	73	$8,1307\times10^{-6}$	74	$5,7315\times10^{-6}$	70	$4,1289\times10^{-6}$	62
60	$1,0827\times10^{-5}$	82	$7,2976\times10^{-6}$	76	$5,4721\times10^{-6}$	71	$4,0525\times10^{-6}$	63
Perdesiz	$5,9945\times10^{-5}$		$3,0788\times10^{-5}$		$1,9153\times10^{-5}$		$1,0980\times10^{-5}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.37. ve 4.38.'de sunulmuş ve Şekil 4.19.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.19. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

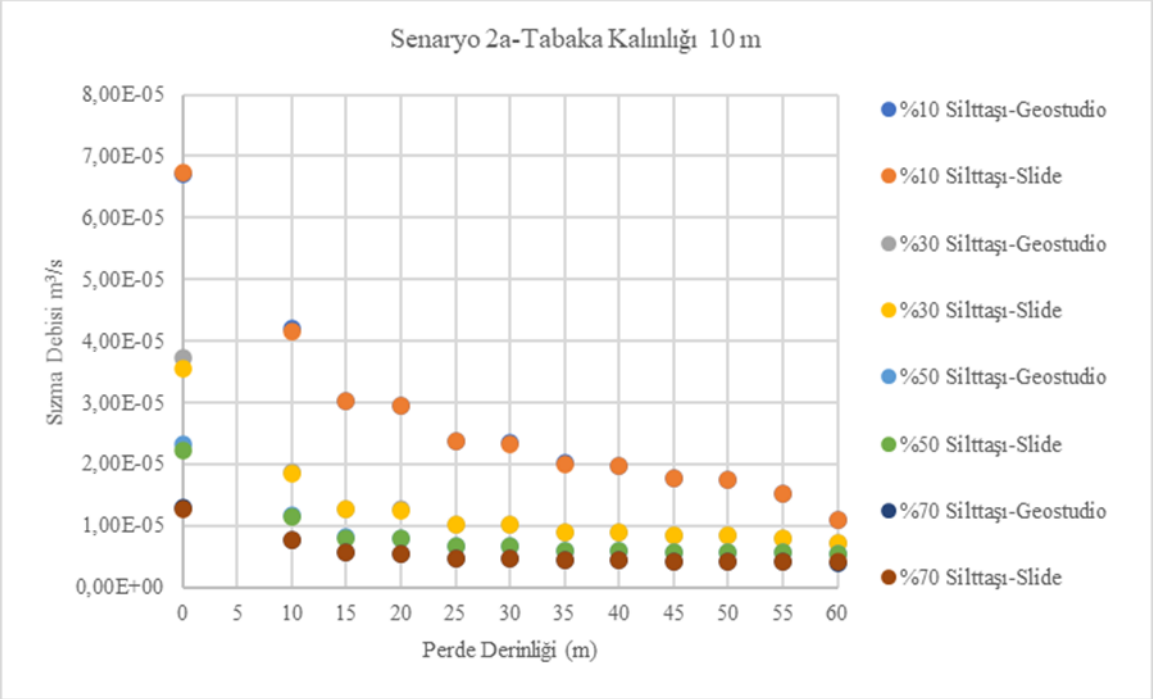
Çizelge 4.39. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}1907\times10^{-5}$	38	$1{,}8658\times10^{-5}$	50	$1{,}1652\times10^{-5}$	50	$7{,}7323\times10^{-6}$	41
15	$3{,}0358\times10^{-5}$	55	$1{,}2781\times10^{-5}$	66	$8{,}0557\times10^{-6}$	65	$5{,}5589\times10^{-6}$	57
20	$2{,}9598\times10^{-5}$	56	$1{,}2611\times10^{-5}$	66	$7{,}9782\times10^{-6}$	66	$5{,}5134\times10^{-6}$	58
25	$2{,}3809\times10^{-5}$	65	$1{,}0236\times10^{-5}$	73	$6{,}6391\times10^{-6}$	71	$4{,}7044\times10^{-6}$	64
30	$2{,}3398\times10^{-5}$	65	$1{,}0160\times10^{-5}$	73	$6{,}6066\times10^{-6}$	72	$4{,}6860\times10^{-6}$	64
35	$2{,}0083\times10^{-5}$	70	$9{,}0423\times10^{-6}$	76	$6{,}0342\times10^{-6}$	74	$4{,}3534\times10^{-6}$	67
40	$1{,}9827\times10^{-5}$	70	$9{,}0039\times10^{-6}$	76	$6{,}0195\times10^{-6}$	74	$4{,}3455\times10^{-6}$	67
45	$1{,}7622\times10^{-5}$	74	$8{,}4153\times10^{-6}$	77	$5{,}7510\times10^{-6}$	75	$4{,}1969\times10^{-6}$	68
50	$1{,}7415\times10^{-5}$	74	$8{,}3920\times10^{-6}$	78	$5{,}7418\times10^{-6}$	75	$4{,}1930\times10^{-6}$	68
55	$1{,}5264\times10^{-5}$	77	$7{,}9671\times10^{-6}$	79	$5{,}5755\times10^{-6}$	76	$4{,}1055\times10^{-6}$	69
60	$1{,}0945\times10^{-5}$	84	$7{,}2823\times10^{-6}$	80	$5{,}3573\times10^{-6}$	77	$4{,}0079\times10^{-6}$	69
Perdesiz	$6{,}7134\times10^{-5}$		$3{,}7325\times10^{-5}$		$2{,}3293\times10^{-5}$		$1{,}3056\times10^{-5}$	

Çizelge 4.40. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}1583\times10^{-5}$	38	$1{,}8362\times10^{-5}$	48	$1{,}1500\times10^{-5}$	48	$7{,}7168\times10^{-6}$	39
15	$3{,}0228\times10^{-5}$	55	$1{,}2655\times10^{-5}$	64	$7{,}9973\times10^{-6}$	64	$5{,}5762\times10^{-6}$	56
20	$2{,}9470\times10^{-5}$	56	$1{,}2489\times10^{-5}$	65	$7{,}9181\times10^{-6}$	64	$5{,}5303\times10^{-6}$	57
25	$2{,}3748\times10^{-5}$	65	$1{,}0156\times10^{-5}$	71	$6{,}6094\times10^{-6}$	70	$4{,}7286\times10^{-6}$	63
30	$2{,}3338\times10^{-5}$	65	$1{,}0080\times10^{-5}$	72	$6{,}5783\times10^{-6}$	70	$4{,}7099\times10^{-6}$	63
35	$2{,}0054\times10^{-5}$	70	$8{,}9822\times10^{-6}$	75	$6{,}0205\times10^{-6}$	73	$4{,}3801\times10^{-6}$	66
40	$1{,}9799\times10^{-5}$	71	$8{,}9445\times10^{-6}$	75	$6{,}0065\times10^{-6}$	73	$4{,}3718\times10^{-6}$	66
45	$1{,}7610\times10^{-5}$	74	$8{,}3656\times10^{-6}$	77	$5{,}7459\times10^{-6}$	74	$4{,}2246\times10^{-6}$	67
50	$1{,}7402\times10^{-5}$	74	$8{,}3421\times10^{-6}$	77	$5{,}7385\times10^{-6}$	74	$4{,}2206\times10^{-6}$	67
55	$1{,}5261\times10^{-5}$	77	$7{,}9246\times10^{-6}$	78	$5{,}5779\times10^{-6}$	75	$4{,}1340\times10^{-6}$	68
60	$1{,}0971\times10^{-5}$	84	$7{,}2548\times10^{-6}$	80	$5{,}3665\times10^{-6}$	76	$4{,}0363\times10^{-6}$	68
Perdesiz	$6{,}7229\times10^{-5}$		$3{,}5607\times10^{-5}$		$2{,}2258\times10^{-5}$		$1{,}2744\times10^{-5}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.39. ve 4.40.'ta sunulmuş ve Şekil 4.20.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.20. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

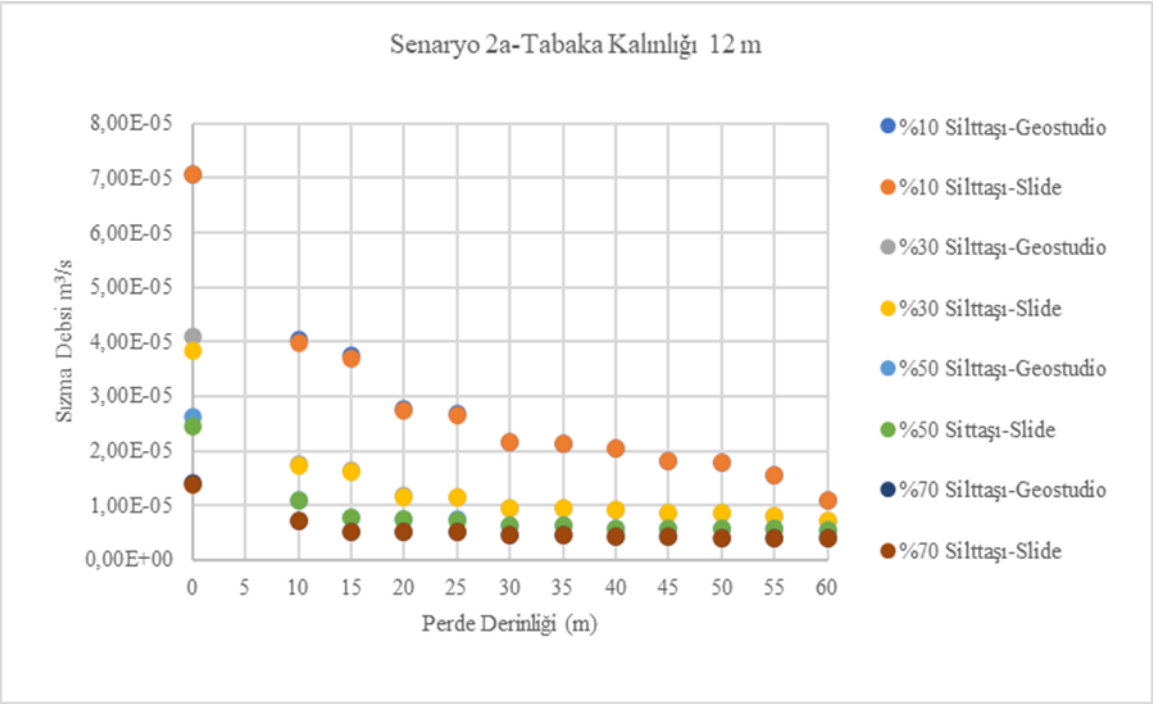
Çizelge 4.41. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}0229\times10^{-5}$	43	$1{,}7572\times10^{-5}$	57	$1{,}0986\times10^{-5}$	58	$7{,}2613\times10^{-6}$	48
15	$3{,}7337\times10^{-5}$	47	$1{,}6420\times10^{-5}$	60	$7{,}7904\times10^{-6}$	70	$5{,}2106\times10^{-6}$	63
20	$2{,}7586\times10^{-5}$	61	$1{,}1669\times10^{-5}$	71	$7{,}4381\times10^{-6}$	72	$5{,}1174\times10^{-6}$	64
25	$2{,}6779\times10^{-5}$	62	$1{,}1495\times10^{-5}$	72	$7{,}3580\times10^{-6}$	72	$5{,}0600\times10^{-6}$	64
30	$2{,}1628\times10^{-5}$	69	$9{,}5248\times10^{-6}$	77	$6{,}2829\times10^{-6}$	76	$4{,}4301\times10^{-6}$	69
35	$2{,}1368\times10^{-5}$	70	$9{,}4831\times10^{-6}$	77	$6{,}2665\times10^{-6}$	76	$4{,}4214\times10^{-6}$	69
40	$2{,}0556\times10^{-5}$	71	$9{,}1558\times10^{-6}$	78	$5{,}8439\times10^{-6}$	78	$4{,}1789\times10^{-6}$	70
45	$1{,}8184\times10^{-5}$	74	$8{,}5702\times10^{-6}$	79	$5{,}8266\times10^{-6}$	78	$4{,}1705\times10^{-6}$	70
50	$1{,}7821\times10^{-5}$	75	$8{,}5169\times10^{-6}$	79	$5{,}8030\times10^{-6}$	78	$4{,}0668\times10^{-6}$	71
55	$1{,}5492\times10^{-5}$	78	$8{,}0240\times10^{-6}$	80	$5{,}5963\times10^{-6}$	79	$4{,}0520\times10^{-6}$	71
60	$1{,}0987\times10^{-5}$	84	$7{,}2997\times10^{-6}$	82	$5{,}3655\times10^{-6}$	80	$3{,}9428\times10^{-6}$	72
Perdesiz	$7{,}0559\times10^{-5}$		$4{,}0891\times10^{-5}$		$2{,}6257\times10^{-5}$		$1{,}4064\times10^{-5}$	

Çizelge 4.42. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}9885\times10^{-5}$	43	$1{,}7360\times10^{-5}$	55	$1{,}0819\times10^{-5}$	56	$7{,}3038\times10^{-6}$	47
15	$3{,}6964\times10^{-5}$	48	$1{,}6172\times10^{-5}$	58	$7{,}6319\times10^{-6}$	69	$5{,}2594\times10^{-6}$	62
20	$2{,}7459\times10^{-5}$	61	$1{,}1589\times10^{-5}$	70	$7{,}3598\times10^{-6}$	70	$5{,}1707\times10^{-6}$	62
25	$2{,}6643\times10^{-5}$	62	$1{,}1410\times10^{-5}$	70	$7{,}2776\times10^{-6}$	70	$5{,}1074\times10^{-6}$	63
30	$2{,}1558\times10^{-5}$	69	$9{,}4765\times10^{-6}$	75	$6{,}2345\times10^{-6}$	75	$4{,}4871\times10^{-6}$	67
35	$2{,}1300\times10^{-5}$	70	$9{,}4366\times10^{-6}$	75	$6{,}2195\times10^{-6}$	75	$4{,}4795\times10^{-6}$	67
40	$2{,}0466\times10^{-5}$	71	$9{,}0863\times10^{-6}$	76	$5{,}8087\times10^{-6}$	78	$4{,}2380\times10^{-6}$	69
45	$1{,}8144\times10^{-5}$	74	$8{,}5401\times10^{-6}$	78	$5{,}7941\times10^{-6}$	76	$4{,}2304\times10^{-6}$	69
50	$1{,}7774\times10^{-5}$	75	$8{,}4855\times10^{-6}$	78	$5{,}7691\times10^{-6}$	76	$4{,}1255\times10^{-6}$	70
55	$1{,}5473\times10^{-5}$	78	$8{,}0033\times10^{-6}$	79	$5{,}5805\times10^{-6}$	77	$4{,}1127\times10^{-6}$	70
60	$1{,}0991\times10^{-5}$	84	$7{,}2947\times10^{-6}$	81	$5{,}3504\times10^{-6}$	78	$4{,}0042\times10^{-6}$	71
Perdesiz	$7{,}0542\times10^{-5}$		$3{,}8383\times10^{-5}$		$2{,}4506\times10^{-5}$		$1{,}3775\times10^{-5}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.41. ve 4.42.'de sunulmuş ve Şekil 4.21.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.21. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

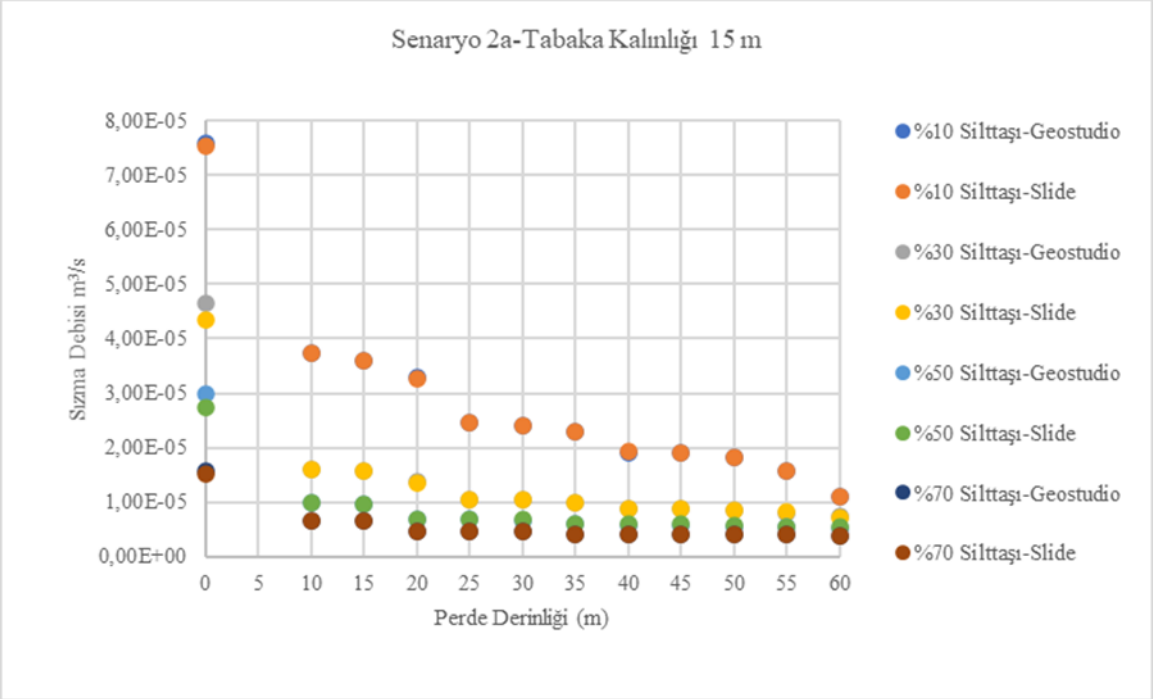
Çizelge 4.43. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7410\times10^{-5}$	51	$1,5963\times10^{-5}$	66	$9,8984\times10^{-6}$	67	$6,5773\times10^{-6}$	58
15	$3,6050\times10^{-5}$	53	$1,5649\times10^{-5}$	66	$9,7750\times10^{-6}$	67	$6,5142\times10^{-6}$	59
20	$3,2985\times10^{-5}$	57	$1,3729\times10^{-5}$	70	$6,8551\times10^{-6}$	77	$4,7035\times10^{-6}$	70
25	$2,4541\times10^{-5}$	68	$1,0534\times10^{-5}$	77	$6,7620\times10^{-6}$	77	$4,6581\times10^{-6}$	70
30	$2,4044\times10^{-5}$	68	$1,0449\times10^{-5}$	77	$6,7302\times10^{-6}$	78	$4,6421\times10^{-6}$	71
35	$2,2884\times10^{-5}$	70	$9,9025\times10^{-6}$	79	$5,9289\times10^{-6}$	80	$4,1621\times10^{-6}$	74
40	$1,9200\times10^{-5}$	75	$8,8425\times10^{-6}$	81	$5,8994\times10^{-6}$	80	$4,1485\times10^{-6}$	74
45	$1,8934\times10^{-5}$	75	$8,8097\times10^{-6}$	81	$5,8890\times10^{-6}$	80	$4,1435\times10^{-6}$	74
50	$1,8274\times10^{-5}$	76	$8,5887\times10^{-6}$	81	$5,5951\times10^{-6}$	81	$3,9777\times10^{-6}$	75
55	$1,5776\times10^{-5}$	79	$8,1010\times10^{-6}$	83	$5,5829\times10^{-6}$	81	$3,9723\times10^{-6}$	75
60	$1,1020\times10^{-5}$	85	$7,3179\times10^{-6}$	84	$5,3161\times10^{-6}$	82	$3,8448\times10^{-6}$	76
Perdesiz	$7,5997\times10^{-5}$		$4,6363\times10^{-5}$		$2,9971\times10^{-5}$		$1,5744\times10^{-5}$	

Çizelge 4.44. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,7372\times10^{-5}$	50	$1,5946\times10^{-5}$	63	$9,8936\times10^{-6}$	64	$6,6387\times10^{-6}$	57
15	$3,5887\times10^{-5}$	52	$1,5628\times10^{-5}$	64	$9,7626\times10^{-6}$	64	$6,5704\times10^{-6}$	57
20	$3,2768\times10^{-5}$	56	$1,3611\times10^{-5}$	69	$6,8751\times10^{-6}$	75	$4,7682\times10^{-6}$	69
25	$2,4572\times10^{-5}$	67	$1,0584\times10^{-5}$	76	$6,7903\times10^{-6}$	75	$4,7278\times10^{-6}$	69
30	$2,4080\times10^{-5}$	68	$1,0500\times10^{-5}$	76	$6,7596\times10^{-6}$	75	$4,7118\times10^{-6}$	69
35	$2,2880\times10^{-5}$	70	$9,9194\times10^{-6}$	77	$5,9653\times10^{-6}$	78	$4,2348\times10^{-6}$	72
40	$1,9220\times10^{-5}$	74	$8,9147\times10^{-6}$	79	$5,9383\times10^{-6}$	78	$4,2222\times10^{-6}$	72
45	$1,8948\times10^{-5}$	75	$8,8820\times10^{-6}$	80	$5,9278\times10^{-6}$	78	$4,2174\times10^{-6}$	72
50	$1,8309\times10^{-5}$	76	$8,6455\times10^{-6}$	80	$5,6363\times10^{-6}$	79	$4,0528\times10^{-6}$	74
55	$1,5855\times10^{-5}$	79	$8,1835\times10^{-6}$	81	$5,6252\times10^{-6}$	79	$4,0477\times10^{-6}$	74
60	$1,1113\times10^{-5}$	85	$7,1976\times10^{-6}$	83	$5,3621\times10^{-6}$	80	$3,9212\times10^{-6}$	74
Perdesiz	$7,5189\times10^{-5}$		$4,3405\times10^{-5}$		$2,7360\times10^{-5}$		$1,5324\times10^{-5}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.43. ve 4.44.'te sunulmuş ve Şekil 4.22.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.22. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

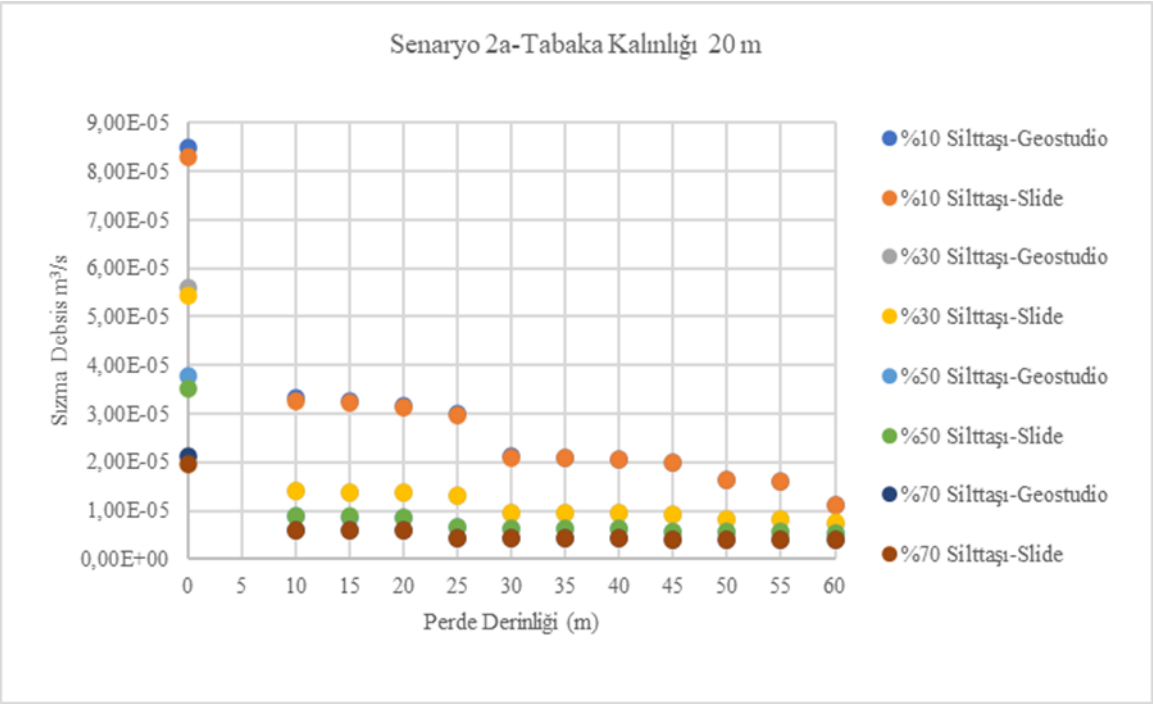
Çizelge 4.45. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}3097\times10^{-5}$	61	$1{,}3947\times10^{-5}$	75	$8{,}7449\times10^{-6}$	77	$5{,}9521\times10^{-6}$	72
15	$3{,}2633\times10^{-5}$	62	$1{,}3845\times10^{-5}$	75	$8{,}6888\times10^{-6}$	77	$5{,}9144\times10^{-6}$	72
20	$3{,}1592\times10^{-5}$	63	$1{,}3624\times10^{-5}$	76	$8{,}5904\times10^{-6}$	77	$5{,}8704\times10^{-6}$	72
25	$2{,}9850\times10^{-5}$	65	$1{,}3028\times10^{-5}$	77	$6{,}4870\times10^{-6}$	83	$4{,}4358\times10^{-6}$	79
30	$2{,}1187\times10^{-5}$	75	$9{,}4581\times10^{-6}$	83	$6{,}2238\times10^{-6}$	84	$4{,}3804\times10^{-6}$	79
35	$2{,}1022\times10^{-5}$	75	$9{,}4312\times10^{-6}$	83	$6{,}2098\times10^{-6}$	84	$4{,}3710\times10^{-6}$	79
40	$2{,}0682\times10^{-5}$	76	$9{,}3814\times10^{-6}$	83	$6{,}1924\times10^{-6}$	84	$4{,}3625\times10^{-6}$	79
45	$2{,}0072\times10^{-5}$	76	$9{,}2441\times10^{-6}$	83	$5{,}7303\times10^{-6}$	85	$4{,}0629\times10^{-6}$	81
50	$1{,}6324\times10^{-5}$	81	$8{,}2486\times10^{-6}$	85	$5{,}6616\times10^{-6}$	85	$4{,}0493\times10^{-6}$	81
55	$1{,}6148\times10^{-5}$	81	$8{,}2356\times10^{-6}$	85	$5{,}6577\times10^{-6}$	85	$4{,}0467\times10^{-6}$	81
60	$1{,}1084\times10^{-5}$	87	$7{,}3666\times10^{-6}$	87	$5{,}3451\times10^{-6}$	86	$3{,}8877\times10^{-6}$	82
Perdesiz	$8{,}4984\times10^{-5}$		$5{,}5917\times10^{-5}$		$3{,}7847\times10^{-5}$		$2{,}1225\times10^{-5}$	

Çizelge 4.46. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}2713\times10^{-5}$	61	$1{,}3915\times10^{-5}$	74	$8{,}7753\times10^{-6}$	75	$5{,}9122\times10^{-6}$	70
15	$3{,}2337\times10^{-5}$	61	$1{,}3862\times10^{-5}$	75	$8{,}7337\times10^{-6}$	75	$5{,}8783\times10^{-6}$	70
20	$3{,}1298\times10^{-5}$	62	$1{,}3616\times10^{-5}$	75	$8{,}6383\times10^{-6}$	75	$5{,}8343\times10^{-6}$	70
25	$2{,}9562\times10^{-5}$	64	$1{,}3007\times10^{-5}$	76	$6{,}4934\times10^{-6}$	82	$4{,}4157\times10^{-6}$	77
30	$2{,}0989\times10^{-5}$	75	$9{,}5378\times10^{-6}$	83	$6{,}2850\times10^{-6}$	82	$4{,}3662\times10^{-6}$	78
35	$2{,}0887\times10^{-5}$	75	$9{,}5140\times10^{-6}$	83	$6{,}2739\times10^{-6}$	82	$4{,}3590\times10^{-6}$	78
40	$2{,}0517\times10^{-5}$	75	$9{,}4429\times10^{-6}$	83	$6{,}2565\times10^{-6}$	82	$4{,}3510\times10^{-6}$	78
45	$1{,}9950\times10^{-5}$	76	$9{,}3189\times10^{-6}$	83	$5{,}7864\times10^{-6}$	84	$4{,}0548\times10^{-6}$	79
50	$1{,}6245\times10^{-5}$	80	$8{,}3190\times10^{-6}$	85	$5{,}7293\times10^{-6}$	84	$4{,}0427\times10^{-6}$	79
55	$1{,}6061\times10^{-5}$	81	$8{,}3069\times10^{-6}$	85	$5{,}7267\times10^{-6}$	84	$4{,}0408\times10^{-6}$	79
60	$1{,}1073\times10^{-5}$	87	$7{,}4849\times10^{-6}$	86	$5{,}2321\times10^{-6}$	85	$3{,}8841\times10^{-6}$	80
Perdesiz	$8{,}3023\times10^{-5}$		$5{,}4540\times10^{-5}$		$3{,}5118\times10^{-5}$		$1{,}9484\times10^{-5}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.46. ve 4.47.'de sunulmuş ve Şekil 4.23.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.23. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

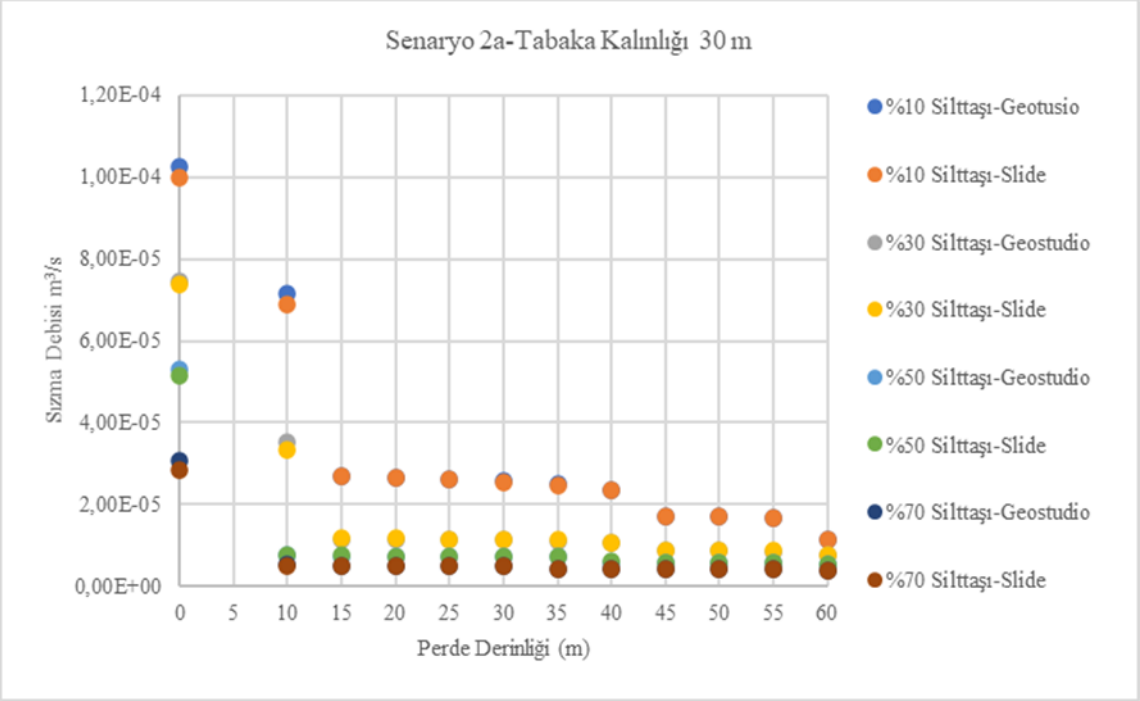
Çizelge 4.47. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$7{,}1695\times10^{-5}$	30	$3{,}5300\times10^{-5}$	53	$7{,}6521\times10^{-6}$	86	$5{,}1725\times10^{-6}$	83
15	$2{,}6907\times10^{-5}$	74	$1{,}1588\times10^{-5}$	84	$7{,}4256\times10^{-6}$	86	$5{,}0850\times10^{-6}$	83
20	$2{,}6692\times10^{-5}$	74	$1{,}1522\times10^{-5}$	85	$7{,}3812\times10^{-6}$	86	$5{,}0572\times10^{-6}$	83
25	$2{,}6305\times10^{-5}$	74	$1{,}1475\times10^{-5}$	85	$7{,}3708\times10^{-6}$	86	$5{,}0507\times10^{-6}$	84
30	$2{,}5736\times10^{-5}$	75	$1{,}1371\times10^{-5}$	85	$7{,}3263\times10^{-6}$	86	$5{,}0271\times10^{-6}$	84
35	$2{,}4944\times10^{-5}$	76	$1{,}1184\times10^{-5}$	85	$7{,}2053\times10^{-6}$	86	$4{,}1954\times10^{-6}$	86
40	$2{,}3678\times10^{-5}$	77	$1{,}0537\times10^{-5}$	86	$5{,}8909\times10^{-6}$	89	$4{,}1173\times10^{-6}$	87
45	$1{,}7134\times10^{-5}$	83	$8{,}5952\times10^{-6}$	88	$5{,}8575\times10^{-6}$	89	$4{,}1043\times10^{-6}$	87
50	$1{,}7036\times10^{-5}$	83	$8{,}5828\times10^{-6}$	88	$5{,}8508\times10^{-6}$	89	$4{,}1002\times10^{-6}$	87
55	$1{,}6738\times10^{-5}$	84	$8{,}5595\times10^{-6}$	89	$5{,}8457\times10^{-6}$	89	$4{,}0976\times10^{-6}$	87
60	$1{,}1224\times10^{-5}$	89	$7{,}5386\times10^{-6}$	90	$5{,}4482\times10^{-6}$	90	$3{,}8794\times10^{-6}$	87
Perdesiz	$1{,}0247\times10^{-4}$		$7{,}4505\times10^{-5}$		$5{,}3049\times10^{-5}$		$3{,}0626\times10^{-5}$	

Çizelge 4.48. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6{,}9043\times10^{-5}$	31	$3{,}3389\times10^{-5}$	55	$7{,}6454\times10^{-6}$	85	$5{,}0764\times10^{-6}$	82
15	$2{,}6793\times10^{-5}$	73	$1{,}1629\times10^{-5}$	84	$7{,}4627\times10^{-6}$	85	$5{,}0028\times10^{-6}$	82
20	$2{,}6507\times10^{-5}$	74	$1{,}1637\times10^{-5}$	84	$7{,}4116\times10^{-6}$	86	$4{,}9783\times10^{-6}$	83
25	$2{,}6122\times10^{-5}$	74	$1{,}1560\times10^{-5}$	84	$7{,}3983\times10^{-6}$	86	$4{,}9736\times10^{-6}$	83
30	$2{,}5560\times10^{-5}$	74	$1{,}1484\times10^{-5}$	84	$7{,}3529\times10^{-6}$	86	$4{,}9499\times10^{-6}$	83
35	$2{,}4813\times10^{-5}$	75	$1{,}1264\times10^{-5}$	85	$7{,}2559\times10^{-6}$	86	$4{,}1211\times10^{-6}$	86
40	$2{,}3493\times10^{-5}$	77	$1{,}0590\times10^{-5}$	86	$5{,}9282\times10^{-6}$	88	$4{,}0537\times10^{-6}$	86
45	$1{,}7079\times10^{-5}$	83	$8{,}6854\times10^{-6}$	88	$5{,}9220\times10^{-6}$	88	$4{,}0426\times10^{-6}$	86
50	$1{,}6964\times10^{-5}$	83	$8{,}6751\times10^{-6}$	88	$5{,}8987\times10^{-6}$	89	$4{,}0385\times10^{-6}$	86
55	$1{,}6664\times10^{-5}$	83	$8{,}6506\times10^{-6}$	88	$5{,}8951\times10^{-6}$	89	$4{,}0376\times10^{-6}$	86
60	$1{,}1262\times10^{-5}$	89	$7{,}6707\times10^{-6}$	90	$5{,}4917\times10^{-6}$	89	$3{,}8210\times10^{-6}$	87
Perdesiz	$1{,}0003\times10^{-4}$		$7{,}3715\times10^{-5}$		$5{,}1387\times10^{-5}$		$2{,}8520\times10^{-5}$	

30 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.47. ve 4.48.'de sunulmuş ve Şekil 4.24.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.24. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.3.2. Senaryo-2b Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları

Senaryo-2b'de yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s, plastik betonda 10^{-9} m/s olarak alınmıştır.

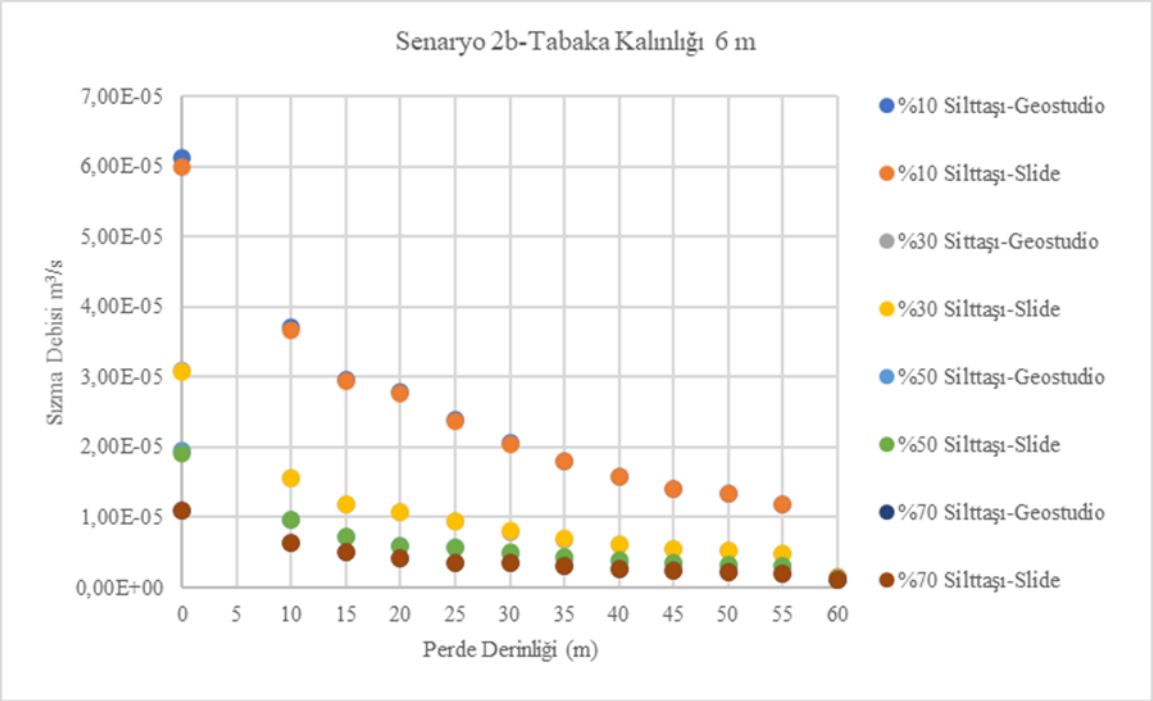
Çizelge 4.49. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}7082\times10^{-5}$	39	$1{,}5507\times10^{-5}$	50	$9{,}6081\times10^{-6}$	51	$6{,}4314\times10^{-6}$	42
15	$2{,}9688\times10^{-5}$	52	$1{,}1863\times10^{-5}$	62	$7{,}3056\times10^{-6}$	62	$4{,}9850\times10^{-6}$	55
20	$2{,}7949\times10^{-5}$	54	$1{,}0854\times10^{-5}$	65	$5{,}9328\times10^{-6}$	70	$4{,}0886\times10^{-6}$	63
25	$2{,}3844\times10^{-5}$	61	$9{,}3568\times10^{-6}$	70	$5{,}7387\times10^{-6}$	71	$3{,}5251\times10^{-6}$	68
30	$2{,}0566\times10^{-5}$	66	$7{,}9498\times10^{-6}$	74	$4{,}9008\times10^{-6}$	75	$3{,}4138\times10^{-6}$	69
35	$1{,}7984\times10^{-5}$	71	$6{,}9052\times10^{-6}$	78	$4{,}2705\times10^{-6}$	78	$2{,}9989\times10^{-6}$	73
40	$1{,}5869\times10^{-5}$	74	$6{,}1070\times10^{-6}$	80	$3{,}7973\times10^{-6}$	80	$2{,}6897\times10^{-6}$	76
45	$1{,}4026\times10^{-5}$	77	$5{,}4731\times10^{-6}$	82	$3{,}4323\times10^{-6}$	82	$2{,}4518\times10^{-6}$	78
50	$1{,}3464\times10^{-5}$	78	$5{,}2429\times10^{-6}$	83	$3{,}1236\times10^{-6}$	84	$2{,}2471\times10^{-6}$	80
55	$1{,}1779\times10^{-5}$	81	$4{,}8182\times10^{-6}$	84	$3{,}0629\times10^{-6}$	84	$2{,}0094\times10^{-6}$	82
60	$1{,}3996\times10^{-6}$	98	$1{,}2795\times10^{-6}$	96	$1{,}1754\times10^{-6}$	94	$1{,}0704\times10^{-6}$	90
Perdesiz	$6{,}1233\times10^{-5}$		$3{,}0938\times10^{-5}$		$1{,}9471\times10^{-5}$		$1{,}1038\times10^{-5}$	

Çizelge 4.50. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}6721\times10^{-5}$	39	$1{,}5590\times10^{-5}$	49	$9{,}6312\times10^{-6}$	50	$6{,}3841\times10^{-6}$	42
15	$2{,}9457\times10^{-5}$	51	$1{,}1939\times10^{-5}$	61	$7{,}3472\times10^{-6}$	62	$4{,}9670\times10^{-6}$	55
20	$2{,}7649\times10^{-5}$	54	$1{,}0827\times10^{-5}$	65	$5{,}9771\times10^{-6}$	69	$4{,}0872\times10^{-6}$	63
25	$2{,}3690\times10^{-5}$	60	$9{,}4322\times10^{-6}$	69	$5{,}7839\times10^{-6}$	70	$3{,}5157\times10^{-6}$	68
30	$2{,}0479\times10^{-5}$	66	$8{,}0432\times10^{-6}$	74	$4{,}9625\times10^{-6}$	74	$3{,}4214\times10^{-6}$	69
35	$1{,}7935\times10^{-5}$	70	$7{,}0052\times10^{-6}$	77	$4{,}3385\times10^{-6}$	77	$3{,}0145\times10^{-6}$	73
40	$1{,}5849\times10^{-5}$	74	$6{,}2103\times10^{-6}$	80	$3{,}8683\times10^{-6}$	80	$2{,}7084\times10^{-6}$	75
45	$1{,}4017\times10^{-5}$	77	$5{,}5742\times10^{-6}$	82	$3{,}5050\times10^{-6}$	82	$2{,}4730\times10^{-6}$	77
50	$1{,}3426\times10^{-5}$	78	$5{,}3175\times10^{-6}$	83	$3{,}1958\times10^{-6}$	83	$2{,}2712\times10^{-6}$	79
55	$1{,}1776\times10^{-5}$	80	$4{,}9151\times10^{-6}$	84	$3{,}1339\times10^{-6}$	84	$2{,}0283\times10^{-6}$	82
60	$1{,}5239\times10^{-6}$	97	$1{,}3899\times10^{-6}$	95	$1{,}2635\times10^{-6}$	93	$1{,}1090\times10^{-6}$	90
Perdesiz	$5{,}9945\times10^{-5}$		$3{,}0788\times10^{-5}$		$1{,}9153\times10^{-5}$		$1{,}0980\times10^{-5}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.49. ve 4.50.'de sunulmuş ve Şekil 4.25.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.25. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

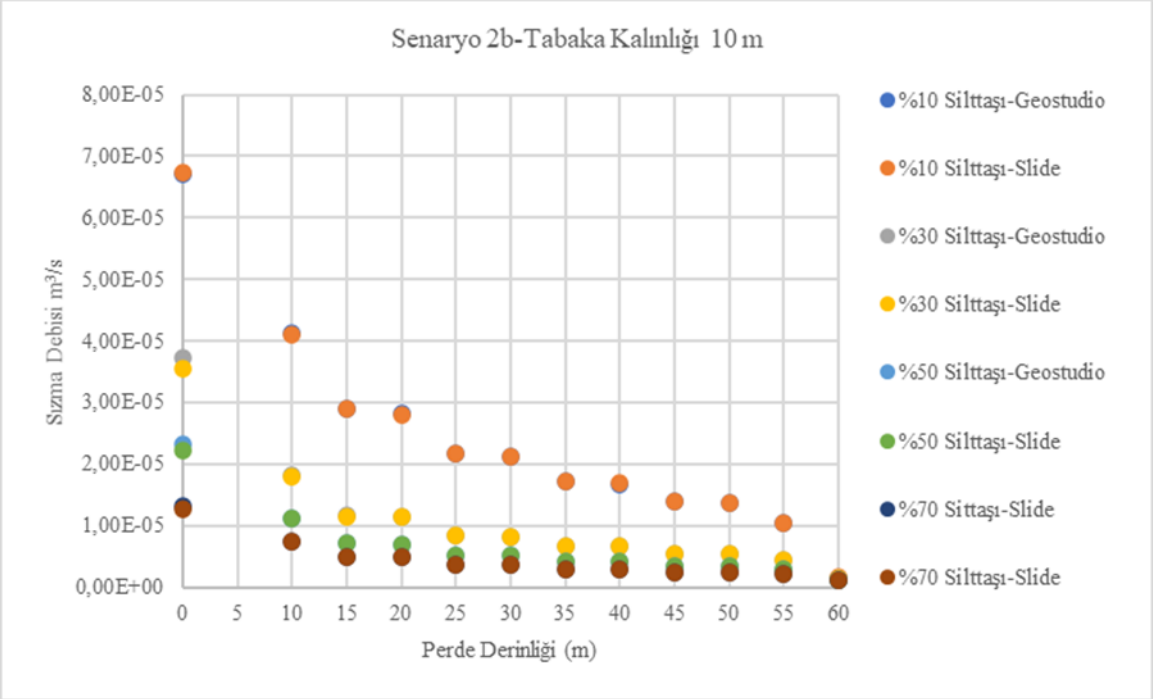
Çizelge 4.51. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}1295\times10^{-5}$	38	$1{,}8103\times10^{-5}$	51	$1{,}1233\times10^{-5}$	52	$7{,}4739\times10^{-6}$	43
15	$2{,}8956\times10^{-5}$	57	$1{,}1568\times10^{-5}$	69	$7{,}0840\times10^{-6}$	70	$4{,}8620\times10^{-6}$	63
20	$2{,}8125\times10^{-5}$	58	$1{,}1350\times10^{-5}$	70	$6{,}9621\times10^{-6}$	70	$4{,}7725\times10^{-6}$	63
25	$2{,}1591\times10^{-5}$	68	$8{,}3646\times10^{-6}$	78	$5{,}1206\times10^{-6}$	78	$3{,}5672\times10^{-6}$	73
30	$2{,}1112\times10^{-5}$	69	$8{,}2515\times10^{-6}$	78	$5{,}0574\times10^{-6}$	78	$3{,}5201\times10^{-6}$	73
35	$1{,}7095\times10^{-5}$	75	$6{,}5954\times10^{-6}$	82	$4{,}0632\times10^{-6}$	83	$2{,}8664\times10^{-6}$	78
40	$1{,}6772\times10^{-5}$	75	$6{,}5269\times10^{-6}$	83	$4{,}0261\times10^{-6}$	83	$2{,}8387\times10^{-6}$	78
45	$1{,}3846\times10^{-5}$	79	$5{,}4539\times10^{-6}$	85	$3{,}4030\times10^{-6}$	85	$2{,}4296\times10^{-6}$	81
50	$1{,}3558\times10^{-5}$	80	$5{,}4021\times10^{-6}$	86	$3{,}3752\times10^{-6}$	86	$2{,}4102\times10^{-6}$	82
55	$1{,}0302\times10^{-5}$	85	$4{,}3782\times10^{-6}$	88	$2{,}8139\times10^{-6}$	88	$2{,}0402\times10^{-6}$	84
60	$1{,}3986\times10^{-6}$	98	$1{,}2759\times10^{-6}$	97	$1{,}1618\times10^{-6}$	95	$1{,}0479\times10^{-6}$	92
Perdesiz	$6{,}7134\times10^{-5}$		$3{,}7325\times10^{-5}$		$2{,}3293\times10^{-5}$		$1{,}3056\times10^{-5}$	

Çizelge 4.52. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}0997\times10^{-5}$	39	$1{,}7870\times10^{-5}$	50	$1{,}1135\times10^{-5}$	50	$7{,}4804\times10^{-6}$	41
15	$2{,}8871\times10^{-5}$	57	$1{,}1518\times10^{-5}$	68	$7{,}0933\times10^{-6}$	68	$4{,}9085\times10^{-6}$	61
20	$2{,}8049\times10^{-5}$	58	$1{,}1308\times10^{-5}$	68	$6{,}9724\times10^{-6}$	69	$4{,}8201\times10^{-6}$	62
25	$2{,}1585\times10^{-5}$	68	$8{,}3712\times10^{-6}$	76	$5{,}1605\times10^{-6}$	77	$3{,}6257\times10^{-6}$	72
30	$2{,}1112\times10^{-5}$	69	$8{,}2602\times10^{-6}$	77	$5{,}0987\times10^{-6}$	77	$3{,}5790\times10^{-6}$	72
35	$1{,}7128\times10^{-5}$	75	$6{,}6294\times10^{-6}$	81	$4{,}1185\times10^{-6}$	81	$2{,}9307\times10^{-6}$	77
40	$1{,}6809\times10^{-5}$	75	$6{,}5630\times10^{-6}$	82	$4{,}0821\times10^{-6}$	82	$2{,}9030\times10^{-6}$	77
45	$1{,}3903\times10^{-5}$	79	$5{,}5048\times10^{-6}$	85	$3{,}4676\times10^{-6}$	84	$2{,}4972\times10^{-6}$	80
50	$1{,}3616\times10^{-5}$	80	$5{,}4533\times10^{-6}$	85	$3{,}4416\times10^{-6}$	85	$2{,}4778\times10^{-6}$	81
55	$1{,}0376\times10^{-5}$	85	$4{,}4433\times10^{-6}$	88	$2{,}8875\times10^{-6}$	87	$2{,}1104\times10^{-6}$	83
60	$1{,}5424\times10^{-6}$	98	$1{,}3885\times10^{-6}$	96	$1{,}2574\times10^{-6}$	94	$1{,}1251\times10^{-6}$	91
Perdesiz	$6{,}7229\times10^{-5}$		$3{,}5607\times10^{-5}$		$2{,}2258\times10^{-5}$		$1{,}2744\times10^{-5}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.51. ve 4.52.'de sunulmuş ve Şekil 4.26.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.26. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

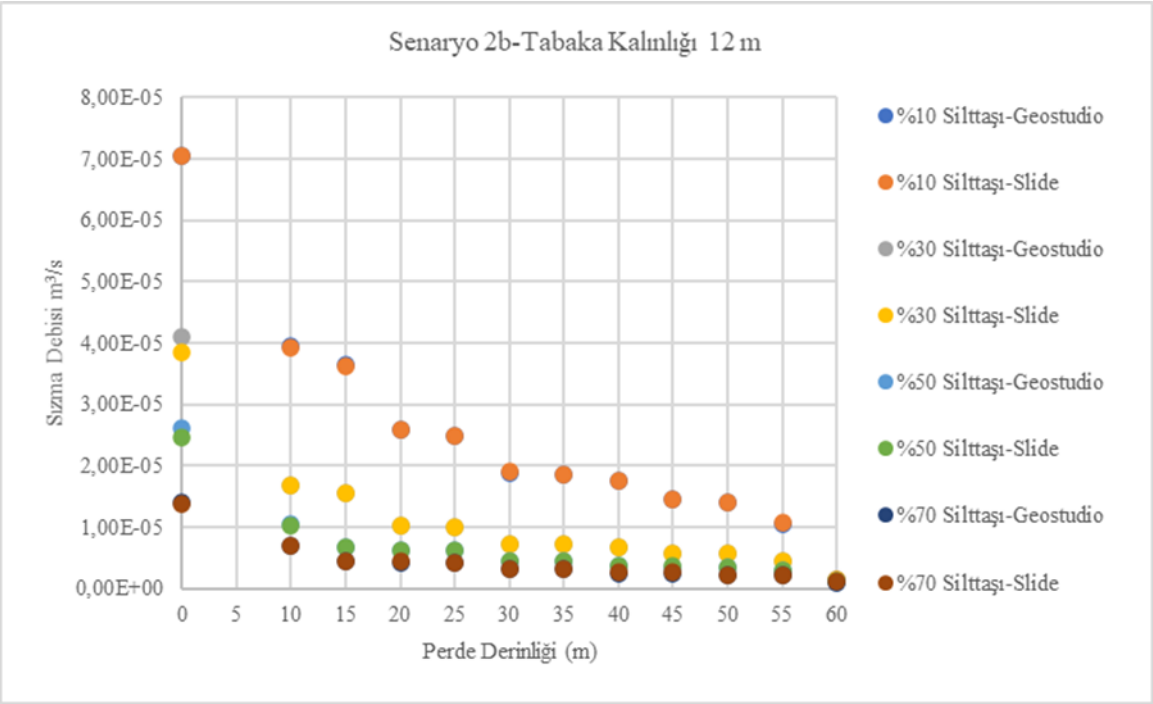
Çizelge 4.53. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}9428\times10^{-5}$	44	$1{,}6863\times10^{-5}$	59	$1{,}0435\times10^{-5}$	60	$6{,}9354\times10^{-6}$	51
15	$3{,}6443\times10^{-5}$	48	$1{,}5655\times10^{-5}$	62	$6{,}7717\times10^{-6}$	74	$4{,}4772\times10^{-6}$	68
20	$2{,}5818\times10^{-5}$	63	$1{,}0162\times10^{-5}$	75	$6{,}2169\times10^{-6}$	76	$4{,}2633\times10^{-6}$	70
25	$2{,}4940\times10^{-5}$	65	$9{,}9526\times10^{-6}$	76	$6{,}1104\times10^{-6}$	77	$4{,}1758\times10^{-6}$	70
30	$1{,}8947\times10^{-5}$	73	$7{,}3086\times10^{-6}$	82	$4{,}4952\times10^{-6}$	83	$3{,}1365\times10^{-6}$	78
35	$1{,}8626\times10^{-5}$	74	$7{,}2369\times10^{-6}$	82	$4{,}4536\times10^{-6}$	83	$3{,}1037\times10^{-6}$	78
40	$1{,}7651\times10^{-5}$	75	$6{,}7467\times10^{-6}$	84	$3{,}6101\times10^{-6}$	86	$2{,}5490\times10^{-6}$	82
45	$1{,}4549\times10^{-5}$	79	$5{,}7055\times10^{-6}$	86	$3{,}5487\times10^{-6}$	86	$2{,}5070\times10^{-6}$	82
50	$1{,}4066\times10^{-5}$	80	$5{,}6059\times10^{-6}$	86	$3{,}4920\times10^{-6}$	87	$2{,}1503\times10^{-6}$	85
55	$1{,}0592\times10^{-5}$	85	$4{,}4652\times10^{-6}$	89	$2{,}8642\times10^{-6}$	89	$2{,}0587\times10^{-6}$	85
60	$1{,}3988\times10^{-6}$	98	$1{,}2760\times10^{-6}$	97	$1{,}1584\times10^{-6}$	96	$1{,}0365\times10^{-6}$	93
Perdesiz	$7{,}0559\times10^{-5}$		$4{,}0891\times10^{-5}$		$2{,}6257\times10^{-5}$		$1{,}4064\times10^{-5}$	

Çizelge 4.54. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Kesit Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}9145\times10^{-5}$	45	$1{,}6718\times10^{-5}$	56	$1{,}0345\times10^{-5}$	58	$6{,}9958\times10^{-6}$	49
15	$3{,}6121\times10^{-5}$	49	$1{,}5467\times10^{-5}$	60	$6{,}6805\times10^{-6}$	73	$4{,}5387\times10^{-6}$	67
20	$2{,}5765\times10^{-5}$	63	$1{,}0161\times10^{-5}$	74	$6{,}2328\times10^{-6}$	75	$4{,}3381\times10^{-6}$	69
25	$2{,}4872\times10^{-5}$	65	$9{,}9448\times10^{-6}$	74	$6{,}1237\times10^{-6}$	75	$4{,}2431\times10^{-6}$	69
30	$1{,}8949\times10^{-5}$	73	$7{,}3444\times10^{-6}$	81	$4{,}5409\times10^{-6}$	81	$3{,}2152\times10^{-6}$	77
35	$1{,}8638\times10^{-5}$	74	$7{,}2761\times10^{-6}$	81	$4{,}5007\times10^{-6}$	82	$3{,}1842\times10^{-6}$	77
40	$1{,}7633\times10^{-5}$	75	$6{,}7457\times10^{-6}$	82	$3{,}6678\times10^{-6}$	85	$2{,}6290\times10^{-6}$	81
45	$1{,}4579\times10^{-5}$	79	$5{,}7666\times10^{-6}$	85	$3{,}6114\times10^{-6}$	85	$2{,}5898\times10^{-6}$	81
50	$1{,}4104\times10^{-5}$	80	$5{,}6632\times10^{-6}$	85	$3{,}5502\times10^{-6}$	86	$2{,}2245\times10^{-6}$	84
55	$1{,}0672\times10^{-5}$	85	$4{,}5418\times10^{-6}$	88	$2{,}9368\times10^{-6}$	88	$2{,}1425\times10^{-6}$	84
60	$1{,}5446\times10^{-6}$	98	$1{,}3959\times10^{-6}$	96	$1{,}2596\times10^{-6}$	95	$1{,}1246\times10^{-6}$	92
Perdesiz	$7{,}0542\times10^{-5}$		$3{,}8383\times10^{-5}$		$2{,}4506\times10^{-5}$		$1{,}3775\times10^{-5}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.53. ve 4.54.'te sunulmuş ve Şekil 4.27.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.27. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

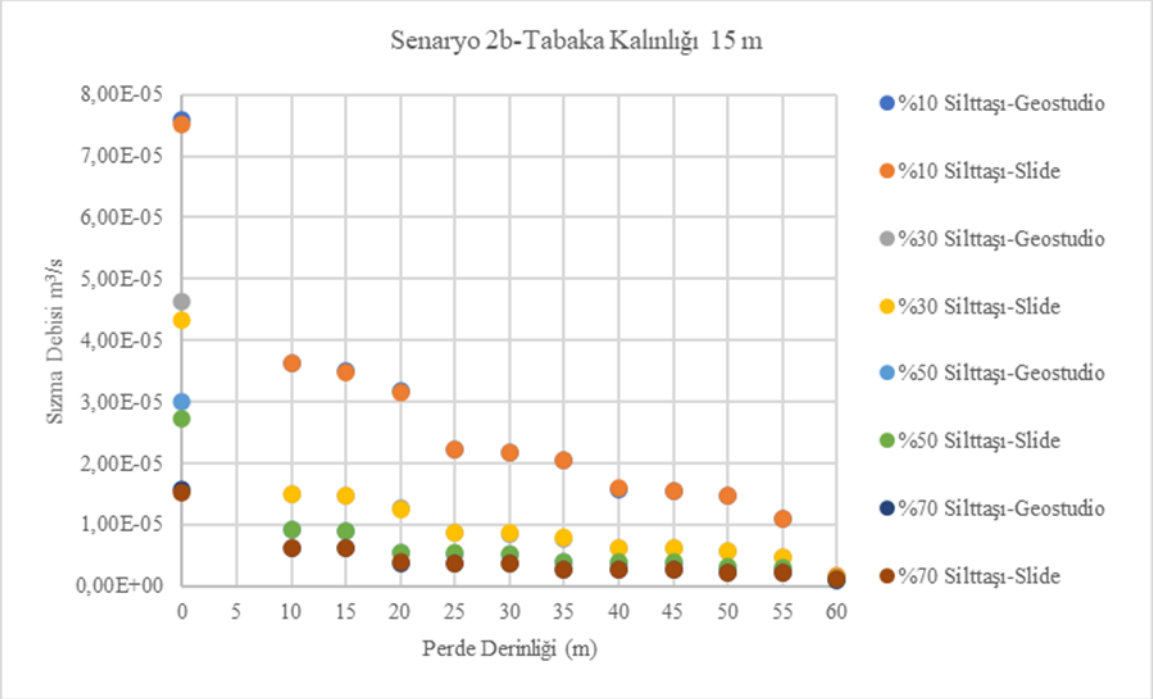
Çizelge 4.55. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,6345\times10^{-5}$	52	$1,5005\times10^{-5}$	68	$9,1818\times10^{-6}$	69	$6,1611\times10^{-6}$	61
15	$3,4939\times10^{-5}$	54	$1,4673\times10^{-5}$	68	$9,0357\times10^{-6}$	70	$6,0764\times10^{-6}$	61
20	$3,1727\times10^{-5}$	58	$1,2593\times10^{-5}$	73	$5,4794\times10^{-6}$	82	$3,7665\times10^{-6}$	76
25	$2,2293\times10^{-5}$	71	$8,6408\times10^{-6}$	81	$5,2700\times10^{-6}$	82	$3,6375\times10^{-6}$	77
30	$2,1732\times10^{-5}$	71	$8,5313\times10^{-6}$	82	$5,2223\times10^{-6}$	83	$3,6038\times10^{-6}$	77
35	$2,0408\times10^{-5}$	73	$7,8099\times10^{-6}$	83	$3,8779\times10^{-6}$	87	$2,7151\times10^{-6}$	83
40	$1,5819\times10^{-5}$	79	$6,1313\times10^{-6}$	87	$3,7804\times10^{-6}$	87	$2,6545\times10^{-6}$	83
45	$1,5480\times10^{-5}$	80	$6,0756\times10^{-6}$	87	$3,7574\times10^{-6}$	87	$2,6383\times10^{-6}$	83
50	$1,4624\times10^{-5}$	81	$5,6840\times10^{-6}$	88	$2,9802\times10^{-6}$	90	$2,1240\times10^{-6}$	87
55	$1,0956\times10^{-5}$	86	$4,5789\times10^{-6}$	90	$2,9112\times10^{-6}$	90	$2,0804\times10^{-6}$	87
60	$1,3987\times10^{-6}$	98	$1,2730\times10^{-6}$	97	$1,1486\times10^{-6}$	96	$1,0192\times10^{-6}$	94
Perdesiz	$7,5997\times10^{-5}$		$4,6363\times10^{-5}$		$2,9971\times10^{-5}$		$1,5744\times10^{-5}$	

Çizelge 4.56. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3,6340\times10^{-5}$	52	$1,5036\times10^{-5}$	65	$9,2186\times10^{-6}$	66	$6,2381\times10^{-6}$	59
15	$3,4820\times10^{-5}$	54	$1,4689\times10^{-5}$	66	$9,0693\times10^{-6}$	67	$6,1487\times10^{-6}$	60
20	$3,1546\times10^{-5}$	58	$1,2493\times10^{-5}$	71	$5,5489\times10^{-6}$	80	$3,8485\times10^{-6}$	75
25	$2,2365\times10^{-5}$	70	$8,7315\times10^{-6}$	80	$5,3534\times10^{-6}$	80	$3,7249\times10^{-6}$	76
30	$2,1804\times10^{-5}$	71	$8,6178\times10^{-6}$	80	$5,3045\times10^{-6}$	81	$3,6900\times10^{-6}$	76
35	$2,0439\times10^{-5}$	73	$7,8455\times10^{-6}$	82	$3,9694\times10^{-6}$	85	$2,8033\times10^{-6}$	82
40	$1,5899\times10^{-5}$	79	$6,2398\times10^{-6}$	86	$3,8774\times10^{-6}$	86	$2,7451\times10^{-6}$	82
45	$1,5553\times10^{-5}$	79	$6,1829\times10^{-6}$	86	$3,8537\times10^{-6}$	86	$2,7283\times10^{-6}$	82
50	$1,4697\times10^{-5}$	80	$5,7585\times10^{-6}$	87	$3,0794\times10^{-6}$	89	$2,2146\times10^{-6}$	86
55	$1,1078\times10^{-5}$	85	$4,6976\times10^{-6}$	89	$3,0154\times10^{-6}$	89	$2,1725\times10^{-6}$	86
60	$1,5593\times10^{-6}$	98	$1,3803\times10^{-6}$	97	$1,2682\times10^{-6}$	95	$1,1143\times10^{-6}$	93
Perdesiz	$7,5189\times10^{-5}$		$4,3405\times10^{-5}$		$2,7360\times10^{-5}$		$1,5324\times10^{-5}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.55. ve 4.56.'da sunulmuş ve Şekil 4.28.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.28. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

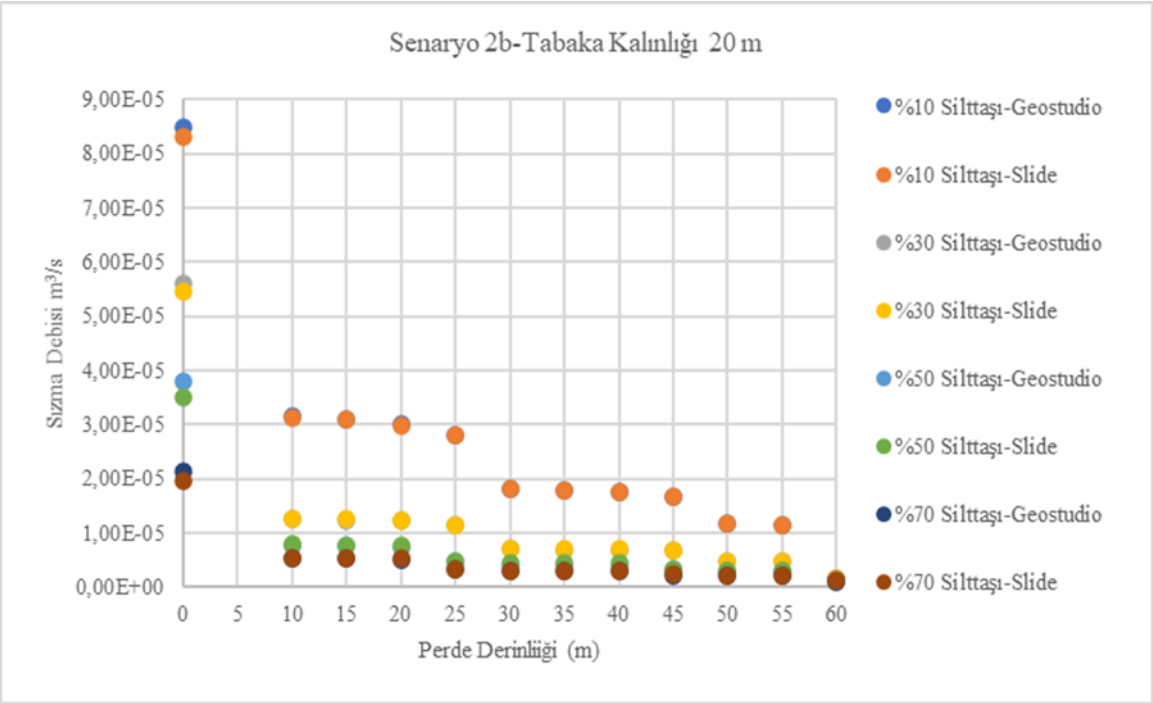
Çizelge 4.57. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}1585\times10^{-5}$	63	$1{,}2616\times10^{-5}$	77	$7{,}7432\times10^{-6}$	80	$5{,}3204\times10^{-6}$	75
15	$3{,}1047\times10^{-5}$	63	$1{,}2442\times10^{-5}$	78	$7{,}6063\times10^{-6}$	80	$5{,}2105\times10^{-6}$	75
20	$2{,}9981\times10^{-5}$	65	$1{,}2206\times10^{-5}$	78	$7{,}5045\times10^{-6}$	80	$5{,}1538\times10^{-6}$	76
25	$2{,}8125\times10^{-5}$	67	$1{,}1562\times10^{-5}$	79	$4{,}8175\times10^{-6}$	87	$3{,}1963\times10^{-6}$	85
30	$1{,}8172\times10^{-5}$	79	$6{,}9902\times10^{-6}$	87	$4{,}3064\times10^{-6}$	89	$3{,}0331\times10^{-6}$	86
35	$1{,}7961\times10^{-5}$	79	$6{,}9250\times10^{-6}$	88	$4{,}2516\times10^{-6}$	89	$2{,}9840\times10^{-6}$	86
40	$1{,}7557\times10^{-5}$	79	$6{,}8526\times10^{-6}$	88	$4{,}2223\times10^{-6}$	89	$2{,}9658\times10^{-6}$	86
45	$1{,}6818\times10^{-5}$	80	$6{,}6508\times10^{-6}$	88	$3{,}2612\times10^{-6}$	91	$2{,}2472\times10^{-6}$	89
50	$1{,}1647\times10^{-5}$	86	$4{,}7597\times10^{-6}$	91	$3{,}0191\times10^{-6}$	92	$2{,}1682\times10^{-6}$	90
55	$1{,}1378\times10^{-5}$	87	$4{,}7149\times10^{-6}$	92	$2{,}9903\times10^{-6}$	92	$2{,}1420\times10^{-6}$	90
60	$1{,}3975\times10^{-6}$	98	$1{,}2680\times10^{-6}$	98	$1{,}1397\times10^{-6}$	97	$1{,}0090\times10^{-6}$	95
Perdesiz	$8{,}4984\times10^{-5}$		$5{,}5917\times10^{-5}$		$3{,}7847\times10^{-5}$		$2{,}1225\times10^{-5}$	

Çizelge 4.58. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$3{,}1276\times10^{-5}$	62	$1{,}2648\times10^{-5}$	77	$7{,}8196\times10^{-6}$	78	$5{,}3478\times10^{-6}$	73
15	$3{,}0843\times10^{-5}$	63	$1{,}2512\times10^{-5}$	77	$7{,}6958\times10^{-6}$	78	$5{,}2491\times10^{-6}$	73
20	$2{,}9764\times10^{-5}$	64	$1{,}2249\times10^{-5}$	78	$7{,}5907\times10^{-6}$	78	$5{,}1934\times10^{-6}$	73
25	$2{,}7923\times10^{-5}$	66	$1{,}1588\times10^{-5}$	79	$4{,}8458\times10^{-6}$	86	$3{,}2618\times10^{-6}$	83
30	$1{,}8100\times10^{-5}$	78	$7{,}1034\times10^{-6}$	87	$4{,}4193\times10^{-6}$	87	$3{,}1064\times10^{-6}$	84
35	$1{,}7939\times10^{-5}$	78	$7{,}0414\times10^{-6}$	87	$4{,}3683\times10^{-6}$	88	$3{,}0593\times10^{-6}$	84
40	$1{,}7515\times10^{-5}$	79	$6{,}9565\times10^{-6}$	87	$4{,}3378\times10^{-6}$	88	$3{,}0413\times10^{-6}$	84
45	$1{,}6801\times10^{-5}$	80	$6{,}7547\times10^{-6}$	88	$3{,}3509\times10^{-6}$	90	$2{,}3294\times10^{-6}$	88
50	$1{,}1687\times10^{-5}$	86	$4{,}8767\times10^{-6}$	91	$3{,}1421\times10^{-6}$	91	$2{,}2538\times10^{-6}$	88
55	$1{,}1417\times10^{-5}$	86	$4{,}8335\times10^{-6}$	91	$3{,}1152\times10^{-6}$	91	$2{,}2286\times10^{-6}$	89
60	$1{,}5502\times10^{-6}$	98	$1{,}4202\times10^{-6}$	97	$1{,}2431\times10^{-6}$	96	$1{,}1102\times10^{-6}$	94
Perdesiz	$8{,}3023\times10^{-5}$		$5{,}4540\times10^{-5}$		$3{,}5118\times10^{-5}$		$1{,}9484\times10^{-5}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.57. ve 4.58.'de sunulmuş ve Şekil 4.29.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.29. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

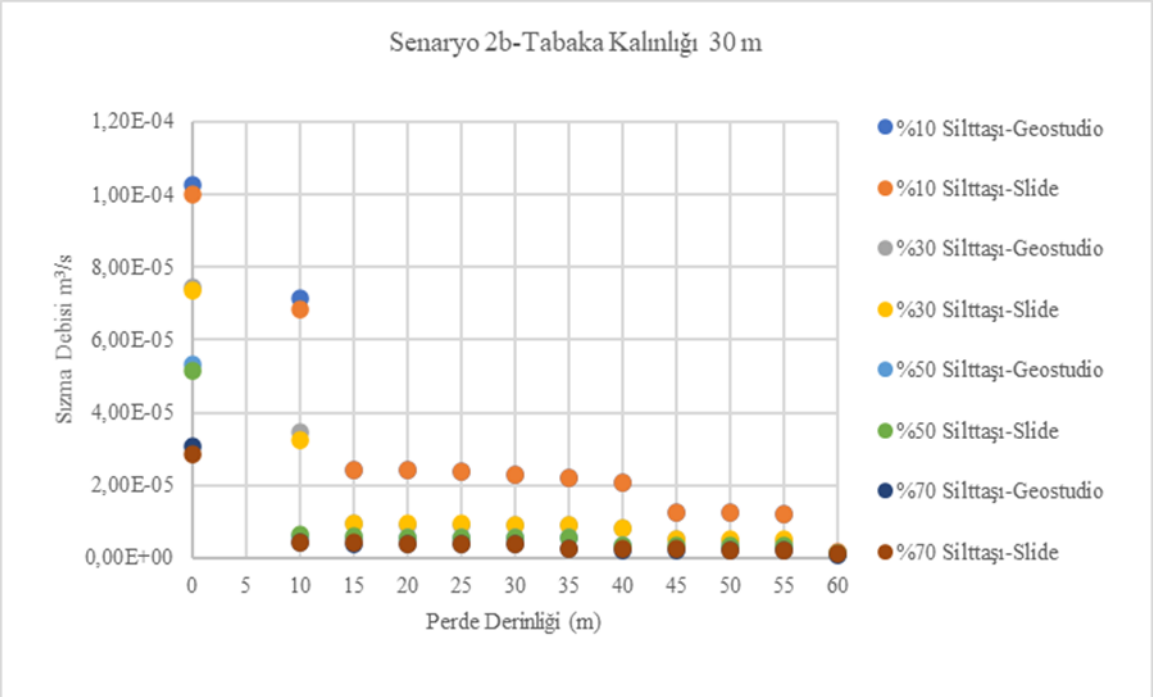
Çizelge 4.59. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$7,1205\times10^{-5}$	31	$3,4540\times10^{-5}$	54	$6,2155\times10^{-6}$	88	$4,2530\times10^{-6}$	86
15	$2,4347\times10^{-5}$	76	$9,3831\times10^{-6}$	87	$5,7669\times10^{-6}$	89	$4,0277\times10^{-6}$	87
20	$2,4064\times10^{-5}$	77	$9,2261\times10^{-6}$	88	$5,6284\times10^{-6}$	89	$3,9244\times10^{-6}$	87
25	$2,3656\times10^{-5}$	77	$9,1725\times10^{-6}$	88	$5,6054\times10^{-6}$	89	$3,8909\times10^{-6}$	87
30	$2,3052\times10^{-5}$	78	$9,0575\times10^{-6}$	88	$5,5536\times10^{-6}$	90	$3,8625\times10^{-6}$	87
35	$2,2198\times10^{-5}$	78	$8,8479\times10^{-6}$	88	$5,4128\times10^{-6}$	90	$2,5690\times10^{-6}$	92
40	$2,0798\times10^{-5}$	80	$8,0795\times10^{-6}$	89	$3,2854\times10^{-6}$	94	$2,3281\times10^{-6}$	92
45	$1,2463\times10^{-5}$	88	$4,9811\times10^{-6}$	93	$3,1424\times10^{-6}$	94	$2,2501\times10^{-6}$	93
50	$1,2303\times10^{-5}$	88	$4,9238\times10^{-6}$	93	$3,0949\times10^{-6}$	94	$2,2127\times10^{-6}$	93
55	$1,1891\times10^{-5}$	88	$4,8771\times10^{-6}$	93	$3,0809\times10^{-6}$	94	$2,1983\times10^{-6}$	93
60	$1,3945\times10^{-6}$	99	$1,2597\times10^{-6}$	98	$1,1225\times10^{-6}$	98	$9,8044\times10^{-7}$	97
Perdesiz	$1,0247\times10^{-4}$		$7,4505\times10^{-5}$		$5,3049\times10^{-5}$		$3,0626\times10^{-5}$	

Çizelge 4.60. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6,8561\times10^{-5}$	31	$3,2584\times10^{-5}$	56	$6,2765\times10^{-6}$	88	$4,2647\times10^{-6}$	85
15	$2,4312\times10^{-5}$	76	$9,4903\times10^{-6}$	87	$5,8693\times10^{-6}$	89	$4,0665\times10^{-6}$	86
20	$2,3993\times10^{-5}$	76	$9,3727\times10^{-6}$	87	$5,7330\times10^{-6}$	89	$3,9740\times10^{-6}$	86
25	$2,3586\times10^{-5}$	76	$9,3033\times10^{-6}$	87	$5,7117\times10^{-6}$	89	$3,9444\times10^{-6}$	86
30	$2,2986\times10^{-5}$	77	$9,2012\times10^{-6}$	88	$5,6588\times10^{-6}$	89	$3,9155\times10^{-6}$	86
35	$2,2163\times10^{-5}$	78	$8,9744\times10^{-6}$	88	$5,5258\times10^{-6}$	89	$2,6274\times10^{-6}$	91
40	$2,0719\times10^{-5}$	79	$8,1568\times10^{-6}$	89	$3,4072\times10^{-6}$	93	$2,4074\times10^{-6}$	92
45	$1,2522\times10^{-5}$	87	$5,1262\times10^{-6}$	93	$3,2763\times10^{-6}$	94	$2,3325\times10^{-6}$	92
50	$1,2360\times10^{-5}$	88	$5,0726\times10^{-6}$	93	$3,2254\times10^{-6}$	94	$2,2960\times10^{-6}$	92
55	$1,1941\times10^{-5}$	88	$5,0243\times10^{-6}$	93	$3,2133\times10^{-6}$	94	$2,2840\times10^{-6}$	92
60	$1,5602\times10^{-6}$	98	$1,4293\times10^{-6}$	98	$1,2666\times10^{-6}$	98	$1,0842\times10^{-6}$	96
Perdesiz	$1,0003\times10^{-4}$		$7,3715\times10^{-5}$		$5,1387\times10^{-5}$		$2,8520\times10^{-5}$	

30 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.59. ve 4.60.'ta sunulmuş ve Şekil 4.30.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.30. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.3.3. Senaryo-2c Geostudio 12-Slide 6.0 Programlarından Elde Edilen Sızma Değerleri Tabloları

Senaryo-2c'de yapılan analizlerde hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-8} m/s ve plastik betonda 10^{-9} m/s olarak alınmıştır.

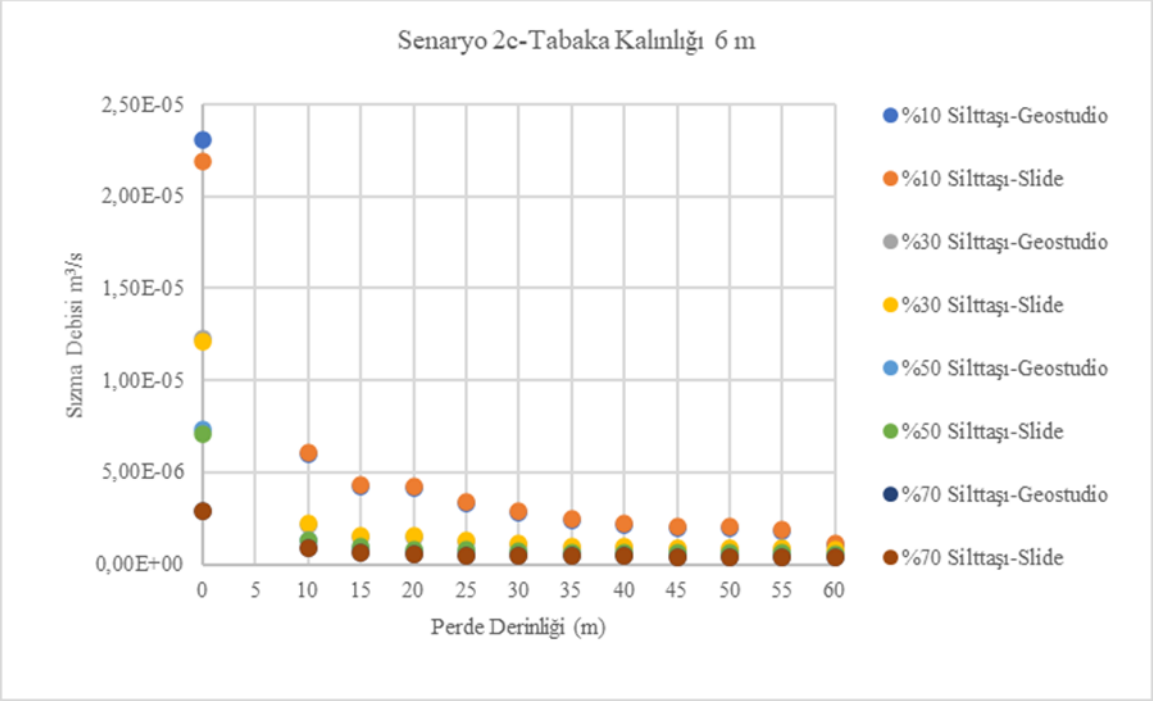
Çizelge 4.61. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6{,}0039\times10^{-6}$	74	$2{,}1193\times10^{-6}$	83	$1{,}2656\times10^{-6}$	83	$8{,}7923\times10^{-7}$	70
15	$4{,}2785\times10^{-6}$	81	$1{,}4986\times10^{-6}$	88	$9{,}0537\times10^{-7}$	88	$6{,}4553\times10^{-7}$	78
20	$4{,}1694\times10^{-6}$	82	$1{,}4500\times10^{-6}$	88	$7{,}3827\times10^{-7}$	90	$5{,}3911\times10^{-7}$	81
25	$3{,}3199\times10^{-6}$	86	$1{,}1867\times10^{-6}$	90	$7{,}3217\times10^{-7}$	90	$4{,}8584\times10^{-7}$	83
30	$2{,}7784\times10^{-6}$	88	$1{,}0194\times10^{-6}$	92	$6{,}4458\times10^{-7}$	91	$4{,}8233\times10^{-7}$	83
35	$2{,}4156\times10^{-6}$	90	$9{,}1657\times10^{-7}$	93	$5{,}9351\times10^{-7}$	92	$4{,}5258\times10^{-7}$	84
40	$2{,}1610\times10^{-6}$	91	$8{,}5085\times10^{-7}$	93	$5{,}6301\times10^{-7}$	92	$4{,}3573\times10^{-7}$	85
45	$1{,}9766\times10^{-6}$	91	$8{,}0796\times10^{-7}$	93	$5{,}4453\times10^{-7}$	93	$4{,}2607\times10^{-7}$	85
50	$1{,}9618\times10^{-6}$	91	$8{,}0379\times10^{-7}$	93	$5{,}3322\times10^{-7}$	93	$4{,}2044\times10^{-7}$	85
55	$1{,}8294\times10^{-6}$	92	$7{,}7834\times10^{-7}$	94	$5{,}3275\times10^{-7}$	93	$4{,}1675\times10^{-7}$	86
60	$1{,}0414\times10^{-6}$	95	$6{,}7432\times10^{-7}$	95	$5{,}0140\times10^{-7}$	93	$4{,}0727\times10^{-7}$	86
Perdesiz	$2{,}3074\times10^{-5}$		$1{,}2286\times10^{-5}$		$7{,}3712\times10^{-6}$		$2{,}8983\times10^{-6}$	

Çizelge 4.62. 6 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6{,}0389\times10^{-6}$	72	$2{,}2080\times10^{-6}$	82	$1{,}3331\times10^{-6}$	81	$8{,}9596\times10^{-7}$	69
15	$4{,}3349\times10^{-6}$	80	$1{,}5874\times10^{-6}$	87	$9{,}7527\times10^{-7}$	86	$6{,}6529\times10^{-7}$	77
20	$4{,}2185\times10^{-6}$	81	$1{,}5309\times10^{-6}$	87	$8{,}0911\times10^{-7}$	89	$5{,}6024\times10^{-7}$	80
25	$3{,}3889\times10^{-6}$	85	$1{,}2764\times10^{-6}$	89	$8{,}0344\times10^{-7}$	89	$5{,}0669\times10^{-7}$	82
30	$2{,}8559\times10^{-6}$	87	$1{,}1099\times10^{-6}$	91	$7{,}1696\times10^{-7}$	90	$5{,}0393\times10^{-7}$	82
35	$2{,}4980\times10^{-6}$	89	$1{,}0073\times10^{-6}$	92	$6{,}6643\times10^{-7}$	91	$4{,}7439\times10^{-7}$	83
40	$2{,}2468\times10^{-6}$	90	$9{,}4174\times10^{-7}$	92	$6{,}3627\times10^{-7}$	91	$4{,}5757\times10^{-7}$	84
45	$2{,}0643\times10^{-6}$	91	$8{,}9871\times10^{-7}$	93	$6{,}1798\times10^{-7}$	91	$4{,}4789\times10^{-7}$	84
50	$2{,}0488\times10^{-6}$	91	$8{,}9386\times10^{-7}$	93	$6{,}0679\times10^{-7}$	91	$4{,}4226\times10^{-7}$	85
55	$1{,}9188\times10^{-6}$	91	$8{,}6911\times10^{-7}$	93	$6{,}0637\times10^{-7}$	91	$4{,}3851\times10^{-7}$	85
60	$1{,}1404\times10^{-6}$	95	$7{,}6487\times10^{-7}$	94	$5{,}7548\times10^{-7}$	92	$4{,}2888\times10^{-7}$	85
Perdesiz	$2{,}1868\times10^{-5}$		$1{,}2139\times10^{-5}$		$7{,}0661\times10^{-6}$		$2{,}8537\times10^{-6}$	

6 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.61. ve 4.62.'de sunulmuş ve Şekil 4.31.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.31. 6 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

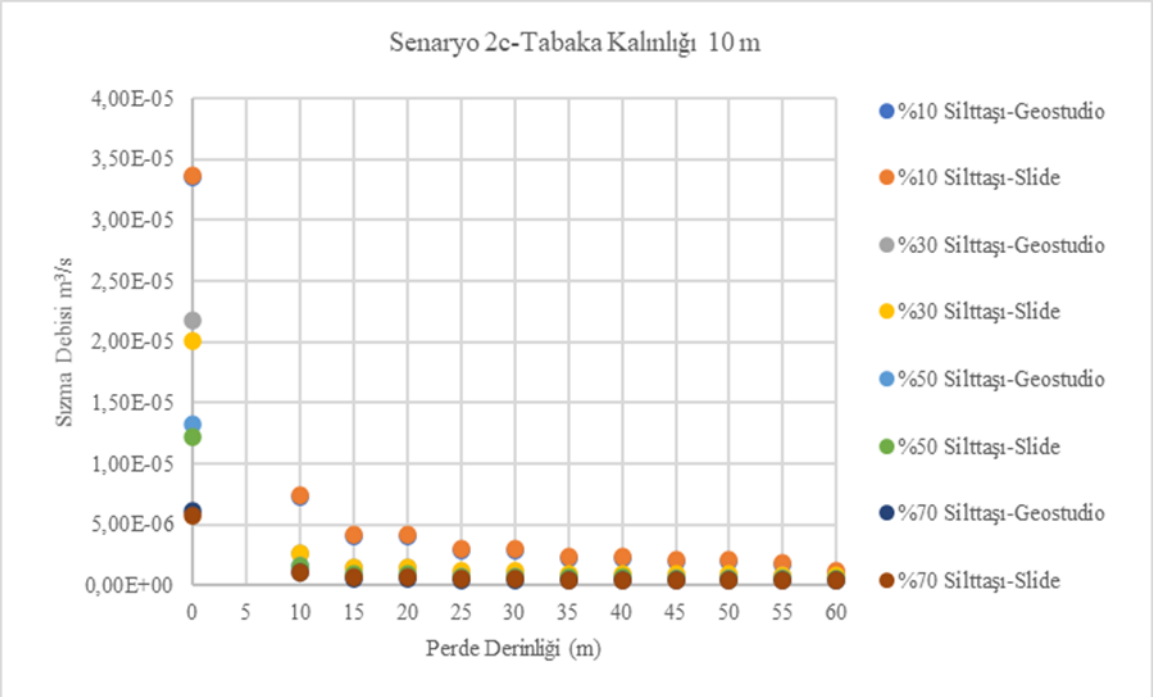
Çizelge 4.63. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$7{,}3046\times10^{-6}$	78	$2{,}6002\times10^{-6}$	88	$1{,}5293\times10^{-6}$	88	$1{,}0395\times10^{-6}$	83
15	$4{,}0809\times10^{-6}$	88	$1{,}4088\times10^{-6}$	94	$8{,}3310\times10^{-7}$	94	$5{,}7976\times10^{-7}$	90
20	$4{,}0466\times10^{-6}$	88	$1{,}4022\times10^{-6}$	94	$8{,}3078\times10^{-7}$	94	$5{,}7711\times10^{-7}$	91
25	$2{,}8770\times10^{-6}$	91	$1{,}0268\times10^{-6}$	95	$6{,}2679\times10^{-7}$	95	$4{,}4664\times10^{-7}$	93
30	$2{,}8617\times10^{-6}$	91	$1{,}0242\times10^{-6}$	95	$6{,}2544\times10^{-7}$	95	$4{,}4572\times10^{-7}$	93
35	$2{,}2911\times10^{-6}$	93	$8{,}6366\times10^{-7}$	96	$5{,}4581\times10^{-7}$	96	$3{,}9781\times10^{-7}$	93
40	$2{,}2829\times10^{-6}$	93	$8{,}6244\times10^{-7}$	96	$5{,}4524\times10^{-7}$	96	$3{,}9744\times10^{-7}$	93
45	$1{,}9607\times10^{-6}$	94	$7{,}8471\times10^{-7}$	96	$5{,}1067\times10^{-7}$	96	$3{,}7812\times10^{-7}$	94
50	$1{,}9557\times10^{-6}$	94	$7{,}8432\times10^{-7}$	96	$5{,}0903\times10^{-7}$	96	$3{,}7797\times10^{-7}$	94
55	$1{,}7318\times10^{-6}$	95	$7{,}4209\times10^{-7}$	97	$4{,}9261\times10^{-7}$	96	$3{,}6946\times10^{-7}$	94
60	$1{,}0378\times10^{-6}$	97	$6{,}4999\times10^{-7}$	97	$4{,}6659\times10^{-7}$	96	$3{,}5740\times10^{-7}$	94
Perdesiz	$3{,}3607\times10^{-5}$		$2{,}1739\times10^{-5}$		$1{,}3249\times10^{-5}$		$6{,}0820\times10^{-6}$	

Çizelge 4.64. 10 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 10 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$7{,}3842\times10^{-6}$	78	$2{,}6795\times10^{-6}$	87	$1{,}6091\times10^{-6}$	87	$1{,}1058\times10^{-6}$	81
15	$4{,}1889\times10^{-6}$	88	$1{,}5090\times10^{-6}$	92	$9{,}2495\times10^{-7}$	92	$6{,}4967\times10^{-7}$	89
20	$4{,}1560\times10^{-6}$	88	$1{,}5028\times10^{-6}$	93	$9{,}2142\times10^{-7}$	92	$6{,}4722\times10^{-7}$	89
25	$2{,}9952\times10^{-6}$	91	$1{,}1333\times10^{-6}$	94	$7{,}2116\times10^{-7}$	94	$5{,}1754\times10^{-7}$	91
30	$2{,}9806\times10^{-6}$	91	$1{,}1309\times10^{-6}$	94	$7{,}2003\times10^{-7}$	94	$5{,}1665\times10^{-7}$	91
35	$2{,}4139\times10^{-6}$	93	$9{,}7290\times10^{-7}$	95	$6{,}4223\times10^{-7}$	95	$4{,}6907\times10^{-7}$	92
40	$2{,}4061\times10^{-6}$	93	$9{,}7179\times10^{-7}$	95	$6{,}4176\times10^{-7}$	95	$4{,}6867\times10^{-7}$	92
45	$2{,}0860\times10^{-6}$	94	$8{,}9531\times10^{-7}$	96	$6{,}0818\times10^{-7}$	95	$4{,}4948\times10^{-7}$	92
50	$2{,}0812\times10^{-6}$	94	$8{,}9478\times10^{-7}$	96	$6{,}0797\times10^{-7}$	95	$4{,}4938\times10^{-7}$	92
55	$1{,}8586\times10^{-6}$	94	$8{,}5330\times10^{-7}$	96	$5{,}9212\times10^{-7}$	95	$4{,}4092\times10^{-7}$	92
60	$1{,}1687\times10^{-6}$	97	$7{,}6487\times10^{-7}$	96	$5{,}6578\times10^{-7}$	95	$4{,}2887\times10^{-7}$	93
Perdesiz	$3{,}3694\times10^{-5}$		$2{,}0061\times10^{-5}$		$1{,}2229\times10^{-5}$		$5{,}7775\times10^{-6}$	

10 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.63. ve 4.64.'te sunulmuş ve Şekil 4.32.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.32. 10 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

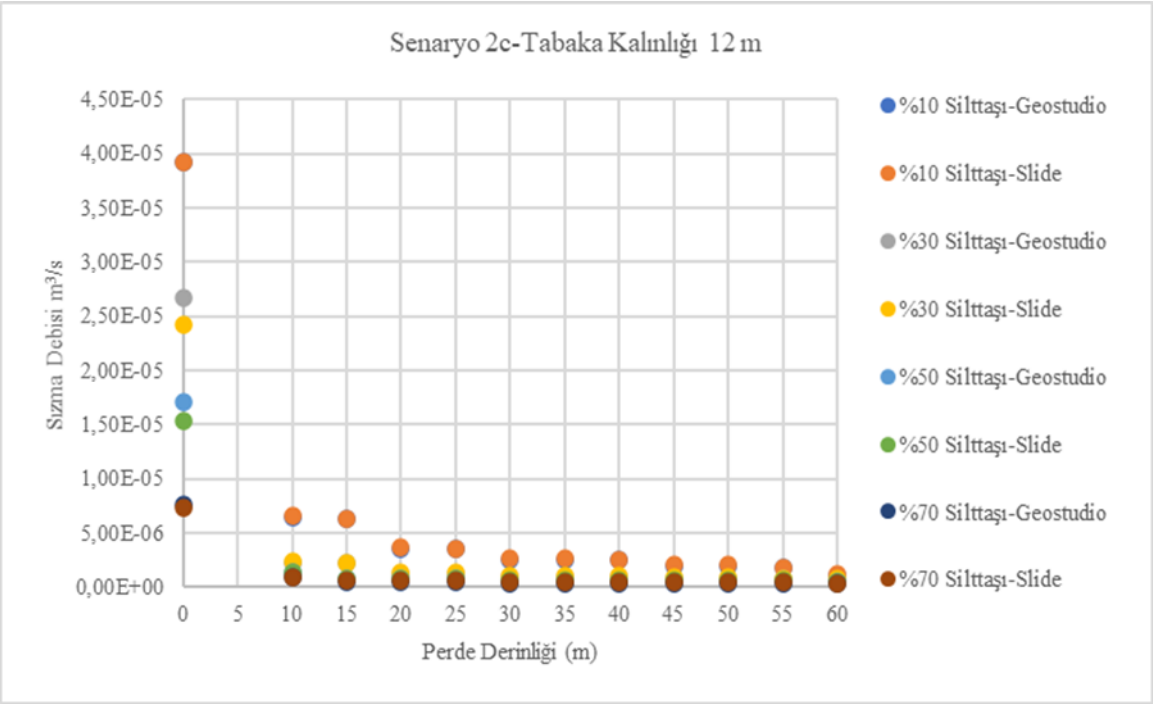
Çizelge 4.65. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6,4580\times10^{-6}$	84	$2,2480\times10^{-6}$	92	$1,3163\times10^{-6}$	92	$8,9100\times10^{-7}$	88
15	$6,2737\times10^{-6}$	84	$2,2064\times10^{-6}$	92	$7,6057\times10^{-7}$	96	$5,1008\times10^{-7}$	93
20	$3,5208\times10^{-6}$	91	$1,2180\times10^{-6}$	95	$7,2246\times10^{-7}$	96	$5,0019\times10^{-7}$	93
25	$3,4914\times10^{-6}$	91	$1,2139\times10^{-6}$	95	$7,2055\times10^{-7}$	96	$4,9853\times10^{-7}$	93
30	$2,5076\times10^{-6}$	94	$9,1519\times10^{-7}$	97	$5,6305\times10^{-7}$	97	$4,0025\times10^{-7}$	95
35	$2,4992\times10^{-6}$	94	$9,1349\times10^{-7}$	97	$5,6214\times10^{-7}$	97	$3,9964\times10^{-7}$	95
40	$2,4676\times10^{-6}$	94	$9,0342\times10^{-7}$	97	$5,0719\times10^{-7}$	97	$3,6758\times10^{-7}$	95
45	$2,0267\times10^{-6}$	95	$7,9325\times10^{-7}$	97	$5,0576\times10^{-7}$	97	$3,6692\times10^{-7}$	95
50	$2,0179\times10^{-6}$	95	$7,9227\times10^{-7}$	97	$5,0534\times10^{-7}$	97	$3,5593\times10^{-7}$	95
55	$1,7449\times10^{-6}$	96	$7,3769\times10^{-7}$	97	$4,8234\times10^{-7}$	97	$3,5498\times10^{-7}$	95
60	$1,0368\times10^{-6}$	97	$6,4427\times10^{-7}$	98	$4,5411\times10^{-7}$	97	$3,4178\times10^{-7}$	96
Perdesiz	$3,9261\times10^{-5}$		$2,6645\times10^{-5}$		$1,7073\times10^{-5}$		$7,6189\times10^{-6}$	

Çizelge 4.66. 12 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 12 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$6,5461\times10^{-6}$	83	$2,3481\times10^{-6}$	90	$1,4078\times10^{-6}$	91	$9,7148\times10^{-7}$	87
15	$6,3555\times10^{-6}$	84	$2,3038\times10^{-6}$	90	$8,5348\times10^{-7}$	94	$5,9141\times10^{-7}$	92
20	$3,6383\times10^{-6}$	91	$1,3331\times10^{-6}$	94	$8,2426\times10^{-7}$	95	$5,8201\times10^{-7}$	92
25	$3,6082\times10^{-6}$	91	$1,3292\times10^{-6}$	95	$8,2248\times10^{-7}$	95	$5,8029\times10^{-7}$	92
30	$2,6328\times10^{-6}$	93	$1,0349\times10^{-6}$	96	$6,6870\times10^{-7}$	96	$4,8261\times10^{-7}$	93
35	$2,6249\times10^{-6}$	93	$1,0334\times10^{-6}$	96	$6,6801\times10^{-7}$	96	$4,8213\times10^{-7}$	93
40	$2,5920\times10^{-6}$	93	$1,0222\times10^{-6}$	96	$6,1465\times10^{-7}$	96	$4,5022\times10^{-7}$	94
45	$2,1563\times10^{-6}$	94	$9,1526\times10^{-7}$	96	$6,1338\times10^{-7}$	96	$4,4959\times10^{-7}$	94
50	$2,1473\times10^{-6}$	95	$9,1426\times10^{-7}$	96	$6,1291\times10^{-7}$	96	$4,3857\times10^{-7}$	94
55	$1,8768\times10^{-6}$	95	$8,6071\times10^{-7}$	96	$5,9180\times10^{-7}$	96	$4,3775\times10^{-7}$	94
60	$1,1728\times10^{-6}$	97	$7,6942\times10^{-7}$	97	$5,6388\times10^{-7}$	96	$4,2466\times10^{-7}$	94
Perdesiz	$3,9195\times10^{-5}$		$2,4182\times10^{-5}$		$1,5350\times10^{-5}$		$7,3358\times10^{-6}$	

12 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.65. ve 4.66.'da sunulmuş ve Şekil 4.33.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.33. 12 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

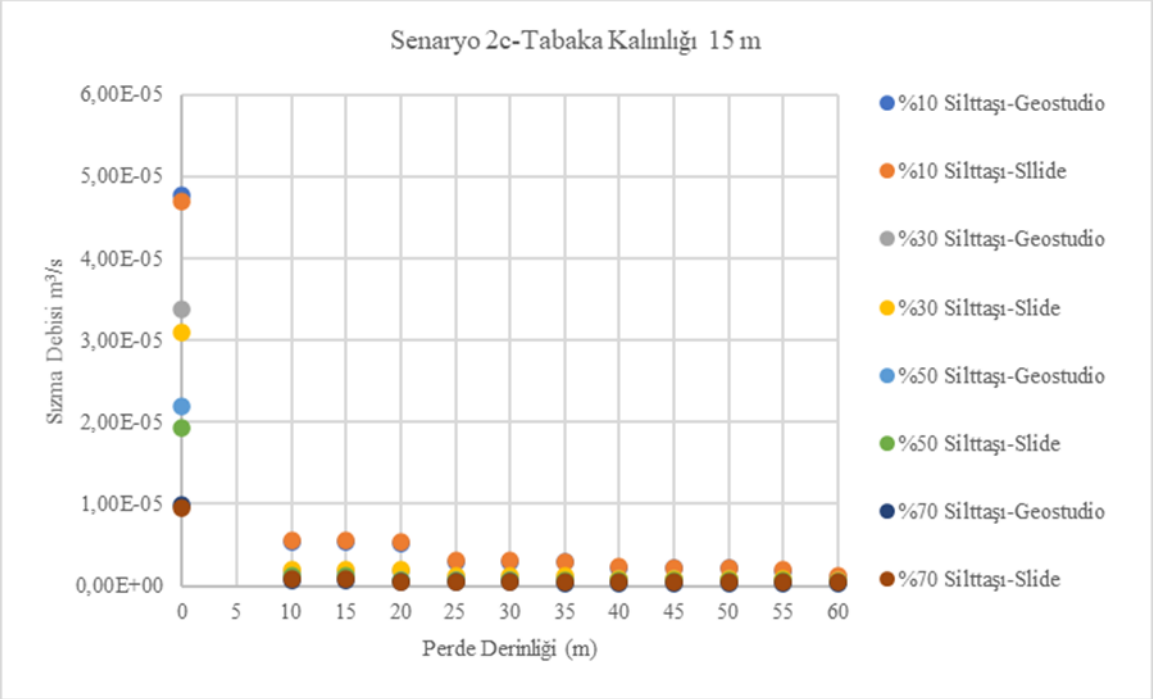
Çizelge 4.67. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$5,4546\times10^{-6}$	89	$1,8659\times10^{-6}$	94	$1,0838\times10^{-6}$	95	$7,3139\times10^{-7}$	93
15	$5,4014\times10^{-6}$	89	$1,8585\times10^{-6}$	95	$1,0801\times10^{-6}$	95	$7,2938\times10^{-7}$	93
20	$5,2265\times10^{-6}$	89	$1,7864\times10^{-6}$	95	$6,2643\times10^{-7}$	97	$4,2867\times10^{-7}$	96
25	$2,9467\times10^{-6}$	94	$1,0351\times10^{-6}$	97	$6,1688\times10^{-7}$	97	$4,2400\times10^{-7}$	96
30	$2,9329\times10^{-6}$	94	$1,0335\times10^{-6}$	97	$6,1616\times10^{-7}$	97	$4,2348\times10^{-7}$	96
35	$2,8874\times10^{-6}$	94	$1,0177\times10^{-6}$	97	$5,0923\times10^{-7}$	98	$3,5758\times10^{-7}$	96
40	$2,1389\times10^{-6}$	96	$8,1388\times10^{-7}$	98	$5,0650\times10^{-7}$	98	$3,5635\times10^{-7}$	96
45	$2,1333\times10^{-6}$	96	$8,1335\times10^{-7}$	98	$5,0630\times10^{-7}$	98	$3,5621\times10^{-7}$	96
50	$2,1144\times10^{-6}$	96	$8,0811\times10^{-7}$	98	$4,7363\times10^{-7}$	98	$3,3789\times10^{-7}$	97
55	$1,7598\times10^{-6}$	96	$7,3423\times10^{-7}$	98	$4,7273\times10^{-7}$	98	$3,3752\times10^{-7}$	97
60	$1,0324\times10^{-6}$	98	$6,3642\times10^{-7}$	98	$4,4121\times10^{-7}$	98	$3,2255\times10^{-7}$	97
Perdesiz	$4,7775\times10^{-5}$		$3,3861\times10^{-5}$		$2,1906\times10^{-5}$		$9,9838\times10^{-6}$	

Çizelge 4.68. 15 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 15 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$5{,}5929\times10^{-6}$	88	$1{,}9983\times10^{-6}$	94	$1{,}2012\times10^{-6}$	94	$8{,}2137\times10^{-7}$	91
15	$5{,}5243\times10^{-6}$	88	$1{,}9915\times10^{-6}$	94	$1{,}1983\times10^{-6}$	94	$8{,}1934\times10^{-7}$	91
20	$5{,}3430\times10^{-6}$	89	$1{,}9127\times10^{-6}$	94	$7{,}4653\times10^{-7}$	96	$5{,}1907\times10^{-7}$	95
25	$3{,}0932\times10^{-6}$	93	$1{,}1750\times10^{-6}$	96	$7{,}3781\times10^{-7}$	96	$5{,}1494\times10^{-7}$	95
30	$3{,}0810\times10^{-6}$	93	$1{,}1738\times10^{-6}$	96	$7{,}3734\times10^{-7}$	96	$5{,}1458\times10^{-7}$	95
35	$3{,}0318\times10^{-6}$	94	$1{,}1564\times10^{-6}$	96	$6{,}3127\times10^{-7}$	97	$4{,}4895\times10^{-7}$	95
40	$2{,}2844\times10^{-6}$	95	$9{,}5657\times10^{-7}$	97	$6{,}2884\times10^{-7}$	97	$4{,}4779\times10^{-7}$	95
45	$2{,}2786\times10^{-6}$	95	$9{,}5609\times10^{-7}$	97	$6{,}2858\times10^{-7}$	97	$4{,}4772\times10^{-7}$	95
50	$2{,}2634\times10^{-6}$	95	$9{,}5027\times10^{-7}$	97	$5{,}9627\times10^{-7}$	97	$4{,}2953\times10^{-7}$	96
55	$1{,}9128\times10^{-6}$	96	$8{,}7803\times10^{-7}$	97	$5{,}9544\times10^{-7}$	97	$4{,}2917\times10^{-7}$	96
60	$1{,}1873\times10^{-6}$	97	$7{,}5883\times10^{-7}$	98	$5{,}6438\times10^{-7}$	97	$4{,}1431\times10^{-7}$	96
Perdesiz	$4{,}6977\times10^{-5}$		$3{,}0940\times10^{-5}$		$1{,}9323\times10^{-5}$		$9{,}5638\times10^{-6}$	

15 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.67. ve 4.68.'de sunulmuş ve Şekil 4.34.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.34. 15 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

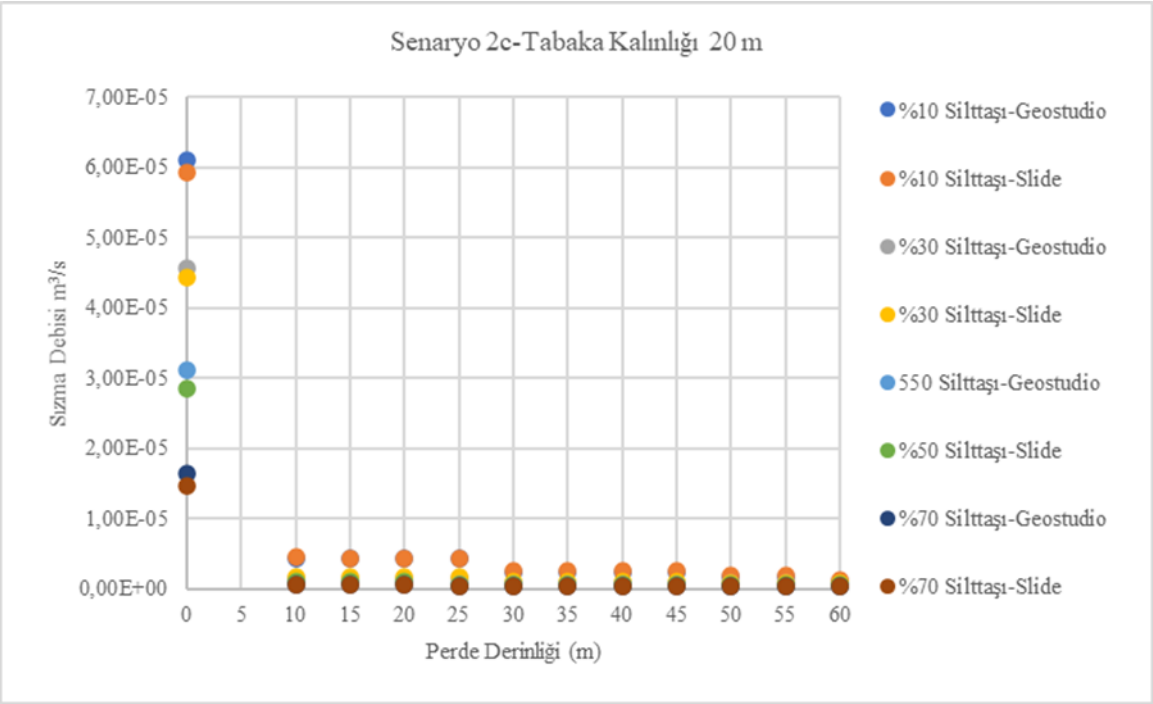
Çizelge 4.69. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}3303\times10^{-6}$	93	$1{,}4802\times10^{-6}$	97	$8{,}5966\times10^{-7}$	97	$5{,}7244\times10^{-7}$	96
15	$4{,}3100\times10^{-6}$	93	$1{,}4718\times10^{-6}$	97	$8{,}5407\times10^{-7}$	97	$5{,}6887\times10^{-7}$	97
20	$4{,}2770\times10^{-6}$	93	$1{,}4678\times10^{-6}$	97	$8{,}5169\times10^{-7}$	97	$5{,}6792\times10^{-7}$	97
25	$4{,}2141\times10^{-6}$	93	$1{,}4545\times10^{-6}$	97	$5{,}5575\times10^{-7}$	98	$3{,}5983\times10^{-7}$	98
30	$2{,}3754\times10^{-6}$	96	$8{,}7262\times10^{-7}$	98	$5{,}2651\times10^{-7}$	98	$3{,}5390\times10^{-7}$	98
35	$2{,}3687\times10^{-6}$	96	$8{,}7048\times10^{-7}$	98	$5{,}2514\times10^{-7}$	98	$3{,}5334\times10^{-7}$	98
40	$2{,}3616\times10^{-6}$	96	$8{,}6971\times10^{-7}$	98	$5{,}2489\times10^{-7}$	98	$3{,}5280\times10^{-7}$	98
45	$2{,}3459\times10^{-6}$	96	$8{,}6726\times10^{-7}$	98	$4{,}7019\times10^{-7}$	98	$3{,}1761\times10^{-7}$	98
50	$1{,}7861\times10^{-6}$	97	$7{,}3584\times10^{-7}$	98	$4{,}6376\times10^{-7}$	99	$3{,}1644\times10^{-7}$	98
55	$1{,}7817\times10^{-6}$	97	$7{,}3519\times10^{-7}$	98	$4{,}6346\times10^{-7}$	99	$3{,}1625\times10^{-7}$	98
60	$1{,}0310\times10^{-6}$	98	$6{,}3027\times10^{-7}$	99	$4{,}2779\times10^{-7}$	99	$2{,}9814\times10^{-7}$	98
Perdesiz	$6{,}1184\times10^{-5}$		$4{,}5705\times10^{-5}$		$3{,}1208\times10^{-5}$		$1{,}6331\times10^{-5}$	

Çizelge 4.70. 20 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 20 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$4{,}4350\times10^{-6}$	93	$1{,}6219\times10^{-6}$	96	$9{,}9635\times10^{-7}$	97	$6{,}7901\times10^{-7}$	95
15	$4{,}4261\times10^{-6}$	93	$1{,}6192\times10^{-6}$	96	$9{,}9236\times10^{-7}$	97	$6{,}7583\times10^{-7}$	95
20	$4{,}3933\times10^{-6}$	93	$1{,}6124\times10^{-6}$	96	$9{,}9066\times10^{-7}$	97	$6{,}7493\times10^{-7}$	95
25	$4{,}3295\times10^{-6}$	93	$1{,}5987\times10^{-6}$	96	$6{,}8955\times10^{-7}$	98	$4{,}6874\times10^{-7}$	97
30	$2{,}5038\times10^{-6}$	96	$1{,}0269\times10^{-6}$	98	$6{,}6664\times10^{-7}$	98	$4{,}6339\times10^{-7}$	97
35	$2{,}5047\times10^{-6}$	96	$1{,}0251\times10^{-6}$	98	$6{,}6559\times10^{-7}$	98	$4{,}6279\times10^{-7}$	97
40	$2{,}4937\times10^{-6}$	96	$1{,}0219\times10^{-6}$	98	$6{,}6541\times10^{-7}$	98	$4{,}6268\times10^{-7}$	97
45	$2{,}4834\times10^{-6}$	96	$1{,}0213\times10^{-6}$	98	$6{,}0993\times10^{-7}$	98	$4{,}2791\times10^{-7}$	97
50	$1{,}9290\times10^{-6}$	97	$8{,}8916\times10^{-7}$	98	$6{,}0465\times10^{-7}$	98	$4{,}2686\times10^{-7}$	97
55	$1{,}9238\times10^{-6}$	97	$8{,}8863\times10^{-7}$	98	$6{,}0445\times10^{-7}$	98	$4{,}2674\times10^{-7}$	97
60	$1{,}1832\times10^{-6}$	98	$7{,}8917\times10^{-7}$	98	$5{,}4936\times10^{-7}$	98	$4{,}0895\times10^{-7}$	97
Perdesiz	$5{,}9243\times10^{-5}$		$4{,}4337\times10^{-5}$		$2{,}8500\times10^{-5}$		$1{,}4609\times10^{-5}$	

20 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.69. ve 4.70.'te sunulmuş ve Şekil 4.35.'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.35. 20 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

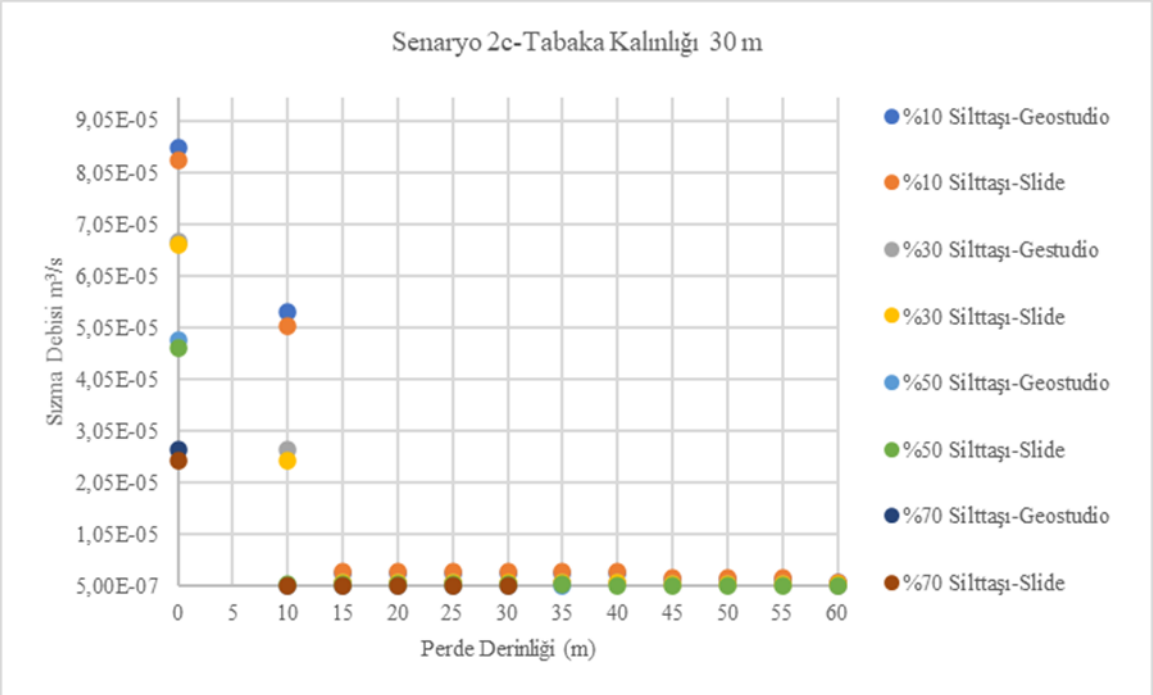
Çizelge 4.71. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Geostudio 12 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$5{,}3489\times10^{-5}$	37	$2{,}6818\times10^{-5}$	60	$6{,}7503\times10^{-7}$	99	$4{,}2954\times10^{-7}$	98
15	$3{,}1215\times10^{-6}$	96	$1{,}1098\times10^{-6}$	98	$6{,}5066\times10^{-7}$	99	$4{,}2043\times10^{-7}$	98
20	$3{,}1093\times10^{-6}$	96	$1{,}1030\times10^{-6}$	98	$6{,}4615\times10^{-7}$	99	$4{,}1771\times10^{-7}$	98
25	$3{,}1022\times10^{-6}$	96	$1{,}1024\times10^{-6}$	98	$6{,}4574\times10^{-7}$	99	$4{,}1715\times10^{-7}$	98
30	$3{,}0907\times10^{-6}$	96	$1{,}0009\times10^{-6}$	99	$6{,}4514\times10^{-7}$	99	$4{,}1677\times10^{-7}$	98
35	$3{,}0722\times10^{-6}$	96	$1{,}0979\times10^{-6}$	98	$6{,}4332\times10^{-7}$	99	$3{,}1322\times10^{-7}$	99
40	$3{,}0355\times10^{-6}$	96	$1{,}0841\times10^{-6}$	98	$4{,}7206\times10^{-7}$	99	$3{,}0488\times10^{-7}$	99
45	$1{,}8347\times10^{-6}$	98	$7{,}5720\times10^{-7}$	99	$4{,}6864\times10^{-7}$	99	$3{,}0359\times10^{-7}$	99
50	$1{,}8310\times10^{-6}$	98	$7{,}5605\times10^{-7}$	99	$4{,}6801\times10^{-7}$	99	$3{,}0322\times10^{-7}$	99
55	$1{,}8259\times10^{-6}$	98	$7{,}5575\times10^{-7}$	99	$4{,}6610\times10^{-7}$	99	$3{,}0149\times10^{-7}$	99
60	$1{,}0354\times10^{-6}$	99	$6{,}3596\times10^{-7}$	99	$4{,}2366\times10^{-7}$	99	$2{,}7886\times10^{-7}$	99
Perdesiz	$8{,}5252\times10^{-5}$		$6{,}7312\times10^{-5}$		$4{,}8239\times10^{-5}$		$2{,}6880\times10^{-5}$	

Çizelge 4.72. 30 m tabaka kalınlığındaki modelin Slide 6.0 programı sızma değerleri ve debi verimliliği tablosu

Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 30 m							
	Silttaşı Yüzdesi							
	10%		30%		50%		70%	
	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)	Sızma Debisi (m^3/s)	Debi Verimliliği (%)
10	$5{,}0893\times10^{-5}$	39	$2{,}4834\times10^{-5}$	63	$8{,}2175\times10^{-7}$	98	$5{,}4673\times10^{-7}$	98
15	$3{,}2703\times10^{-6}$	96	$1{,}2718\times10^{-6}$	98	$8{,}0221\times10^{-7}$	98	$5{,}3918\times10^{-7}$	98
20	$3{,}2503\times10^{-6}$	96	$1{,}2730\times10^{-6}$	98	$7{,}9697\times10^{-7}$	98	$5{,}3678\times10^{-7}$	98
25	$3{,}2432\times10^{-6}$	96	$1{,}2693\times10^{-6}$	98	$7{,}9630\times10^{-7}$	98	$5{,}3645\times10^{-7}$	98
30	$3{,}2322\times10^{-6}$	96	$1{,}2709\times10^{-6}$	98	$7{,}9564\times10^{-7}$	98	$5{,}3613\times10^{-7}$	98
35	$3{,}2184\times10^{-6}$	96	$1{,}2645\times10^{-6}$	98	$7{,}9671\times10^{-7}$	98	$4{,}3285\times10^{-7}$	98
40	$3{,}1755\times10^{-6}$	96	$1{,}2513\times10^{-6}$	98	$6{,}2367\times10^{-7}$	99	$4{,}2572\times10^{-7}$	98
45	$1{,}9903\times10^{-6}$	98	$9{,}2451\times10^{-7}$	99	$6{,}2316\times10^{-7}$	99	$4{,}2457\times10^{-7}$	98
50	$1{,}9850\times10^{-6}$	98	$9{,}2360\times10^{-7}$	99	$6{,}2073\times10^{-7}$	99	$4{,}2421\times10^{-7}$	98
55	$1{,}9798\times10^{-6}$	98	$9{,}2323\times10^{-7}$	99	$6{,}2065\times10^{-7}$	99	$4{,}2417\times10^{-7}$	98
60	$1{,}2031\times10^{-6}$	99	$8{,}0803\times10^{-7}$	99	$5{,}7610\times10^{-7}$	99	$4{,}0028\times10^{-7}$	98
Perdesiz	$8{,}2822\times10^{-5}$		$6{,}6523\times10^{-5}$		$4{,}6584\times10^{-5}$		$2{,}4788\times10^{-5}$	

30 m tabaka kalınlığı için, iki farklı program tarafından hesaplanan sızma debisi değerleri, Çizelge 4.71. ve 4.72.'te sunulmuş ve Şekil 4.36.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.36. 30 m Tabaka Kalınlığı için Sızma Debisi Karşılaştırması

4.4. Optimum Perde Derinliğini Belirleme Kriterleri

Baraj temellerinde geçirimsizlik tasarımında perde derinliğinin belirlenmesi, sızma debisi ile doğrudan ilişkilidir. Optimum perde derinliği; hem temel altından minimum sızmayı sağlayacak hem de gereksiz kazı ve imalat maliyetlerini önleyecek şekilde belirlenmelidir. Bu kapsamda, baraj temelinde sızma tedbirlerinin performansının değerlendirilmesinde geçirimsizlik perdeli ve perdesiz model sonuçları karşılaştırılmaktadır. (2. Barajlar Kongresi, Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, 2014)

Geçirimsizlik yapılarının verimi literatürde iki temel kriter üzerinden tanımlanmaktadır. Bunlardan ilki yük verimi (E_H) olup aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$E_H=h'/h \tag{4.1.}$$

Burada h′ saplamaya dik doğrultuda meydana gelen yük kaybını, h ise memba ve mansap arasındaki toplam yük farkını göstermektedir. İkinci kriter ise sızma debisi verimi (E_Q) olup,

$$E_Q=1-(Q/Q_0) \tag{4.2.}$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada Q_0 perdesiz durumda, Q ise perde uygulandıktan sonraki sızma debisini temsil etmektedir. Literatürde iyi tasarlanmış cut-off perdelerde her iki verim değerinin de genellikle %50–60'ın üzerinde olduğu bildirilmektedir (Ağıralioğlu, 2005).

Literatürde sızma debisini değerlendirmek için yapılan sayısal çalışmalar da mevcuttur.

Wijayawardhana (2015) çalışmasında perdeli ve perdesiz durumda farklı kesitlerdeki sızma debisi verimini Geostudio yazılımı sonuçlarına göre %99,90 ile %99,99 arasında hesaplamıştır.

Rahimpour ve ark (2022), Haigher silindirle sıkıştırılmış beton barajında Plaxis 3D yazılımı kullanılarak yaptıkları analizler sonucunda sızma miktarının enjeksiyon perdesiz durumda 1,075 x 10^{-2} m^3/s olduğunu ve enjeksiyon perdesi inşa edildikten sonra 2,305 x 10^{-3} m^3/s'ye düştüğünü, yani sızıntı debisinde yaklaşık %80'lik bir azalma olduğunu göstermişlerdir.

Hidkal Barajı'nın enjeksiyon perdesiz ve perdeli durumdaki sızma miktarı Midas-Gts yazılımı kullanılarak sırasıyla $6{,}2\times10^{-5}$ m^3/s, $2{,}4\times10^{-6}$ m^3/s olarak hesaplanmışlardır (Dhawan ve ark., 2019:Rahimpour ve ark. 2022'den). Bu durumda sızma debisi verimi %96,13 olmaktadır.

Hamad ve ark (2023), Geostudio ve Slide yazılımları ile yaptıkları sızma analizlerde elde edilen sızma miktarlarını, SPSS 22 programında amprik formüllerden elde ettikleri boyutsuz parametreleri (q/kH) kullanarak karşılaştırılmış ve palplanş derinlikleri arttığında sızma oranının azaldığını tespit ederek, maksimum azalmanın Goestudio programında topukta %35,65, %48,15, Slide programında ise %59,26 ve %44,20 olarak bulmuşlardır.

Benzer şekilde Saleh (2018), Geostudio ve yapay sinir ağları (YSA) kullanarak gerçekleştirdiği sızma analizlerinde hidrolik bir su yapısı altındaki sızma oranını (q/kH) %18 olarak tespit etmiştir.

Literatürdeki farklı sayısal çalışmaların sonuçları sızma debisi verimliliğinin %90'nın üzerinde, sızma oranının ise %18 ile %59,56 arasında geniş bir aralıkta değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte; Sürmeli (2002) , çalışmasında düşük kaliteli kaya temellerde enjeksiyon perdesi derinliğinin etkin su yükünün yaklaşık %70'i oranında seçilmesini uygun bir tasarım kriteri olarak önermektedir.

Bu çalışma kapsamında optimum perde derinliğinin belirlenmesinde sızma debisi verimliliği 1. kriter, su yüksekliği–perde derinliği oranı 2. kriter olarak dikkate alınmıştır. Sızma debisi verimliliği alt sınır değeri %50, su yüksekliği-perde derinliği oranı ise üst sınır değeri %70 olarak kabul edilmiş olup her iki kriteri aynı anda sağlayan perde boyu, optimum perde boyu olarak seçilmiştir.

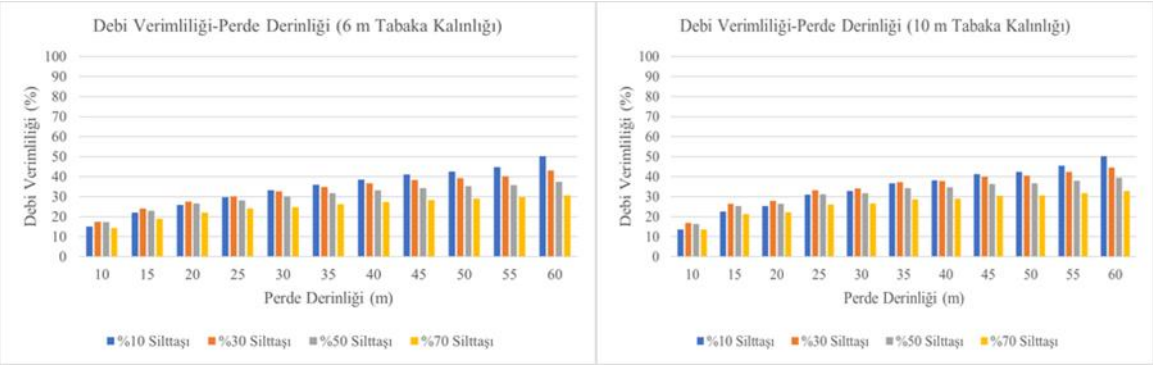
4.5. Sızma Debisi Verimi Ortalamasına Ait Tablolar

Optimum perde derinliği belirlenirken 1. Kriter (sızma debisi verimliliği %50) kapsamında Geostudio 12 ve Slide 6.0 programından elde edilen sızma debisi verimlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. Aşağıda, farklı analiz senaryolarına ait debi verimlilik değerleri (%) olarak tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Tablolar sayısal sonuçları özetlerken, grafikler bu değerlerin tabaka kalınlığı, litolojik oran ve perde boyu gibi parametrelere bağlı değişimini görsel olarak ortaya koymaktadır.

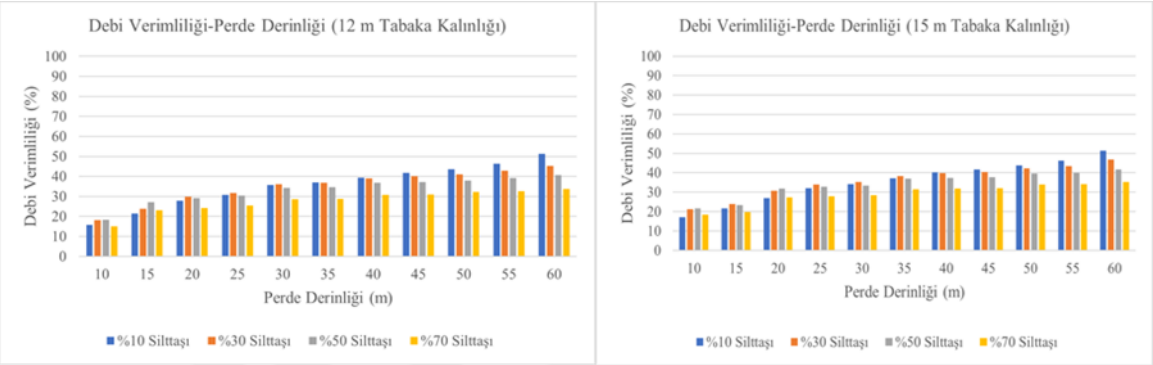
4.5.1. Senaryo-1a

Çizelge 4.73. Senaryo-1a ortalama debi verimliği tablosu

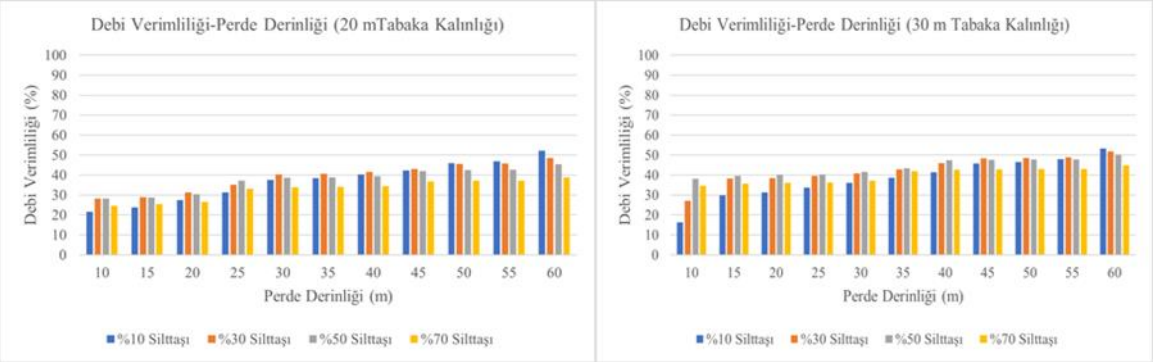
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	15	17	17	14	14	17	16	14	16	18	18	15	17	21	22	18	22	28	28	25	16	27	38	35
15	22	24	23	19	23	26	25	21	21	24	27	23	22	24	23	20	24	29	29	25	30	38	40	36
20	26	28	27	22	25	28	27	22	28	30	29	24	27	31	32	27	27	31	30	27	31	39	40	36
25	30	30	28	24	31	33	31	26	31	32	30	26	32	34	33	28	31	35	37	33	34	39	40	36
30	33	33	30	25	33	34	32	27	36	36	34	29	34	35	33	28	38	40	39	34	36	41	42	37
35	36	35	32	26	37	37	34	29	37	37	35	29	37	38	37	32	38	41	39	34	39	43	43	42
40	39	37	33	27	38	38	35	29	39	39	37	31	40	40	37	32	40	42	39	34	41	46	47	43
45	41	38	34	28	41	40	36	30	42	40	37	31	42	40	38	32	42	43	42	37	46	48	48	43
50	43	39	35	29	42	40	37	31	44	41	38	32	44	42	40	34	46	46	43	37	46	48	48	43
55	45	40	36	30	45	42	38	32	46	43	39	33	46	43	40	34	47	46	43	37	48	49	48	43
60	50	43	37	31	50	45	39	33	51	45	41	34	51	47	42	35	52	48	45	39	53	52	50	45



Şekil 4.37. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.38. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)

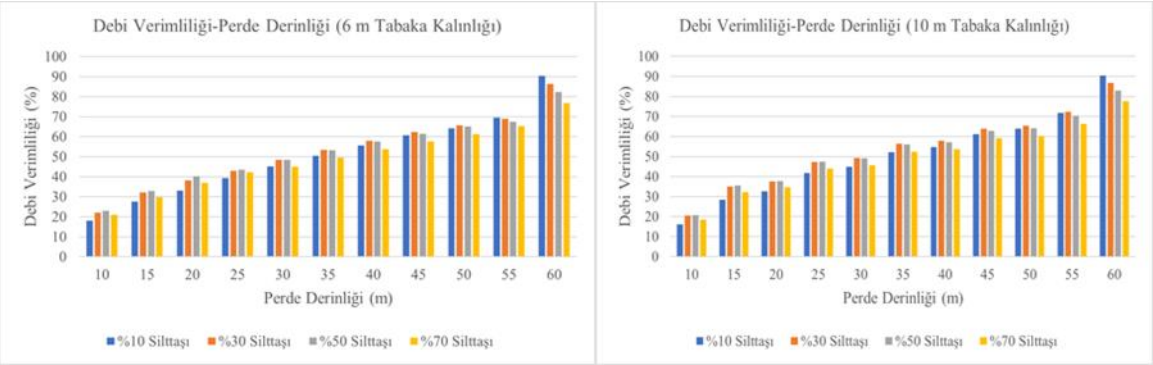


Şekil 4.39. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

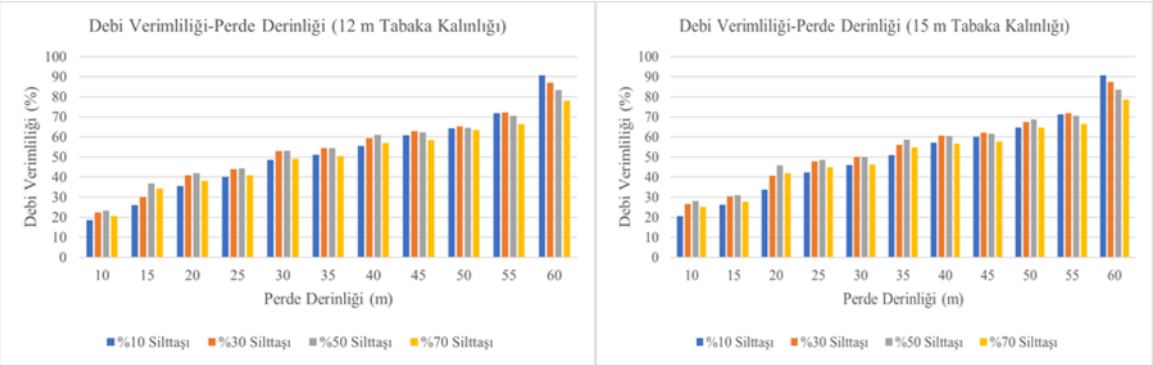
4.5.2. Senaryo-1b

Çizelge 4.74. Senaryo-1b ortalama debi verimliği tablosu

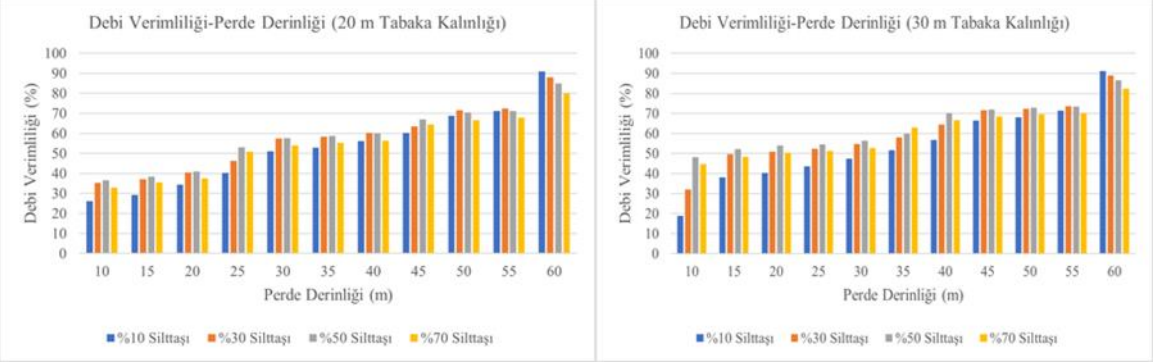
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	18	22	23	21	16	21	21	18	19	22	23	21	21	27	28	25	26	35	37	33	19	32	48	45
15	28	32	33	30	28	35	35	32	26	30	37	34	26	31	31	28	29	37	38	36	38	50	52	48
20	33	38	40	37	33	38	38	35	36	41	42	38	34	41	46	42	34	41	41	38	40	51	54	50
25	39	43	44	42	42	47	47	44	40	44	44	41	42	48	49	45	40	46	53	51	44	52	55	51
30	45	48	48	45	45	49	49	46	49	53	53	49	46	50	50	46	51	57	58	54	47	55	56	53
35	51	53	53	50	52	56	56	52	51	54	54	50	51	56	59	55	53	58	59	55	52	58	60	63
40	56	58	58	54	55	58	57	54	56	59	61	57	57	61	60	57	56	60	60	56	57	64	70	67
45	61	62	61	58	61	64	63	59	61	63	62	59	60	62	62	58	60	64	67	64	67	72	72	68
50	64	66	65	61	64	65	64	60	64	65	65	63	65	67	69	65	69	71	70	67	68	72	73	70
55	69	69	67	65	72	72	70	66	72	72	71	66	71	72	71	67	71	72	71	68	71	74	73	70
60	90	86	82	77	90	87	83	78	91	87	83	78	91	87	84	79	91	88	85	80	91	89	87	82



Şekil 4.40. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.41. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)

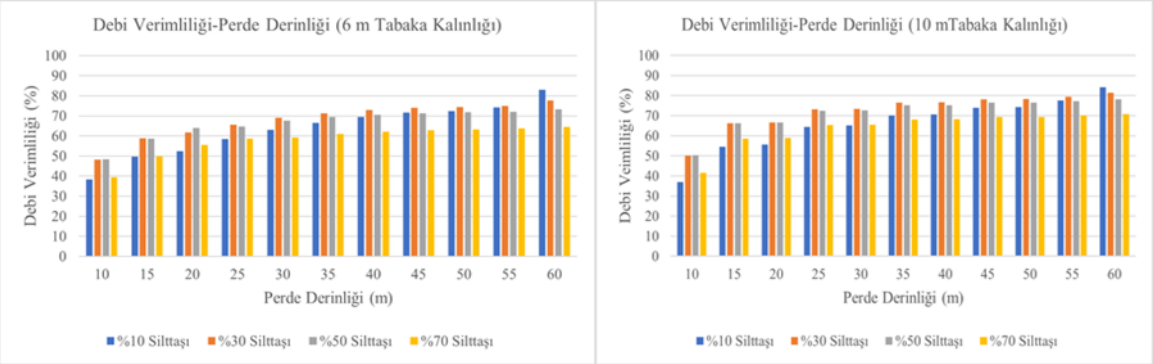


Şekil 4.42. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

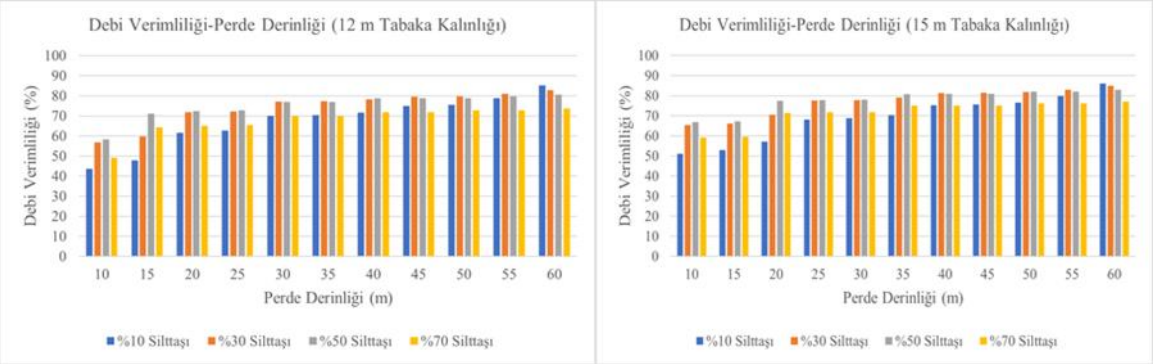
4.5.3. Senaryo-1c

Çizelge 4.75. Senaryo-1c ortalama debi verimliği tablosu

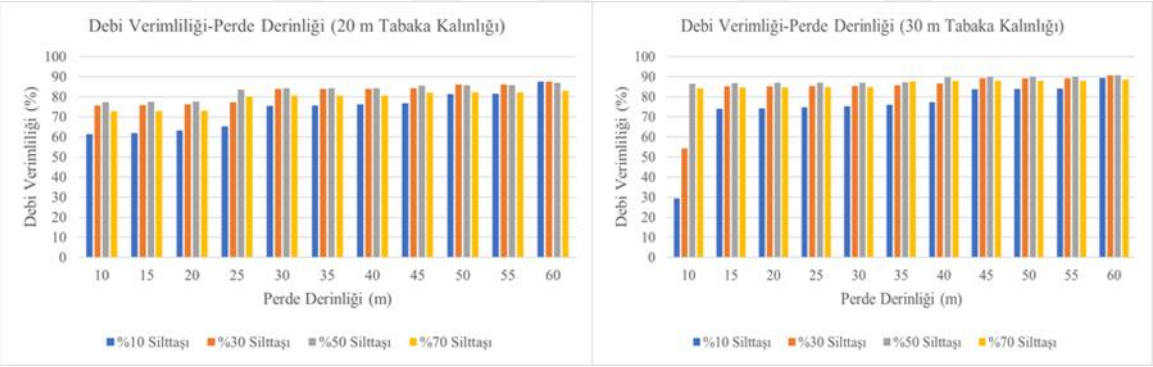
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	38	48	48	39	37	50	50	41	44	57	58	49	51	65	67	59	61	76	77	73	29	54	86	84
15	50	59	59	50	54	66	66	59	48	60	71	64	53	66	67	60	62	76	77	73	74	85	87	85
20	52	62	64	56	56	67	67	59	62	72	72	65	57	71	78	71	63	76	78	73	74	85	87	85
25	58	66	65	59	64	73	73	65	63	72	73	65	68	78	78	72	65	77	84	80	75	85	87	85
30	63	69	68	59	65	73	73	66	70	77	77	70	69	78	78	72	76	84	84	81	75	85	87	85
35	67	71	69	61	70	76	75	68	70	77	77	70	70	79	81	75	76	84	84	81	76	86	87	88
40	69	73	71	62	71	77	75	68	72	78	79	72	75	81	81	75	76	84	84	81	77	87	90	88
45	72	74	71	63	74	78	76	69	75	80	79	72	76	81	81	75	77	84	86	82	84	89	90	88
50	72	74	72	63	74	78	77	69	76	80	79	73	77	82	82	76	81	86	86	82	84	89	90	88
55	74	75	72	64	78	79	77	70	79	81	80	73	80	83	82	76	82	86	86	82	84	89	90	88
60	83	78	73	64	84	81	78	71	85	83	81	74	86	85	83	77	88	88	87	83	89	91	91	89



Şekil 4.43. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.44. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)

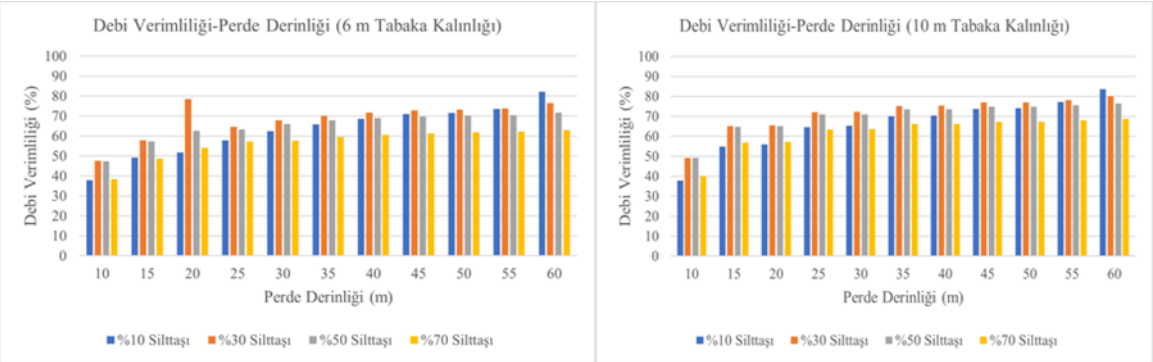


Şekil 4.45. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

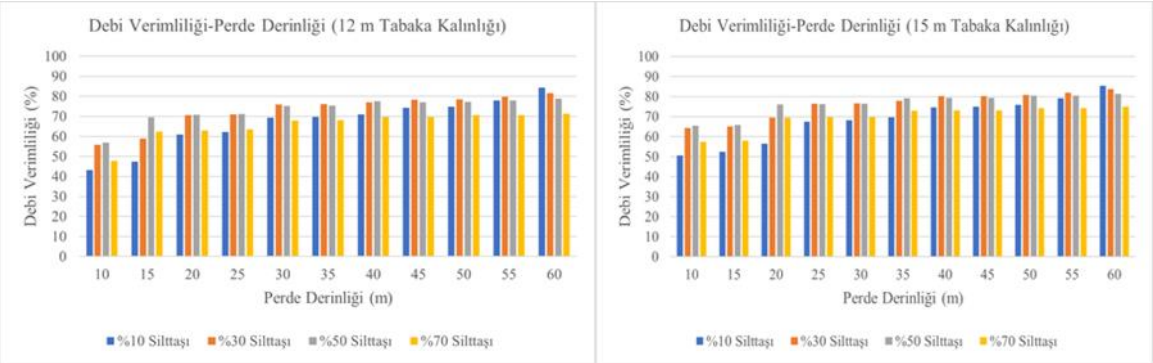
4.5.4. Senaryo-2a

Çizelge 4.76. Senaryo-2a ortalama debi verimliği tablosu

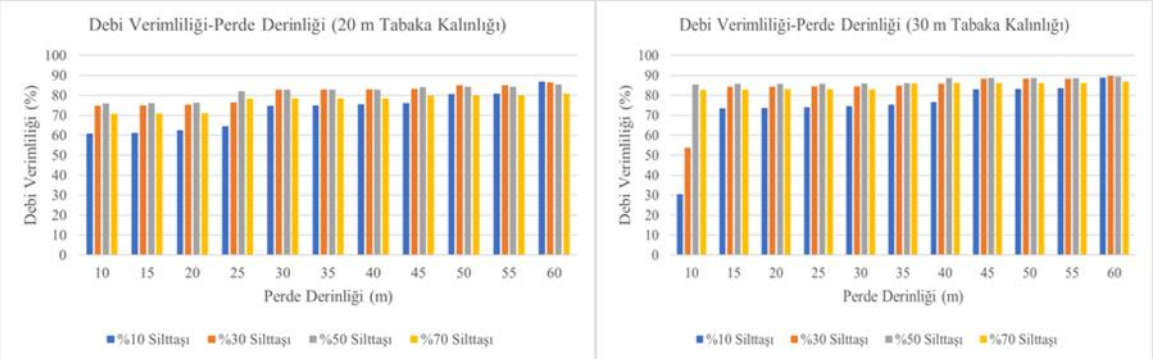
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	38	47	47	38	38	49	49	40	43	56	57	48	51	64	65	57	61	75	76	71	31	54	85	83
15	49	58	57	49	55	65	65	57	47	59	70	62	52	65	66	58	61	75	76	71	73	84	86	83
20	52	78	63	54	56	66	65	57	61	71	71	63	57	70	76	70	63	75	76	71	74	84	86	83
25	58	65	63	57	65	72	71	63	62	71	71	63	68	76	76	70	65	76	82	78	74	84	86	83
30	62	68	66	58	65	72	71	64	69	76	75	68	68	77	76	70	75	83	83	78	75	85	86	83
35	66	70	68	60	70	75	74	66	70	76	75	68	70	78	79	73	75	83	83	79	75	85	86	86
40	69	72	69	61	71	75	74	66	71	77	78	70	75	80	79	73	75	83	83	79	77	86	89	86
45	71	73	70	61	74	77	75	67	74	78	77	70	75	80	79	73	76	83	84	80	83	88	89	86
50	72	73	70	62	74	77	75	67	75	79	77	71	76	81	80	74	81	85	84	80	83	88	89	86
55	73	74	70	62	77	78	76	68	78	80	78	71	79	82	80	74	81	85	84	80	84	88	89	86
60	82	76	72	63	84	80	76	69	84	82	79	71	85	84	81	75	87	87	85	81	89	90	90	87



Şekil 4.46. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.47. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)

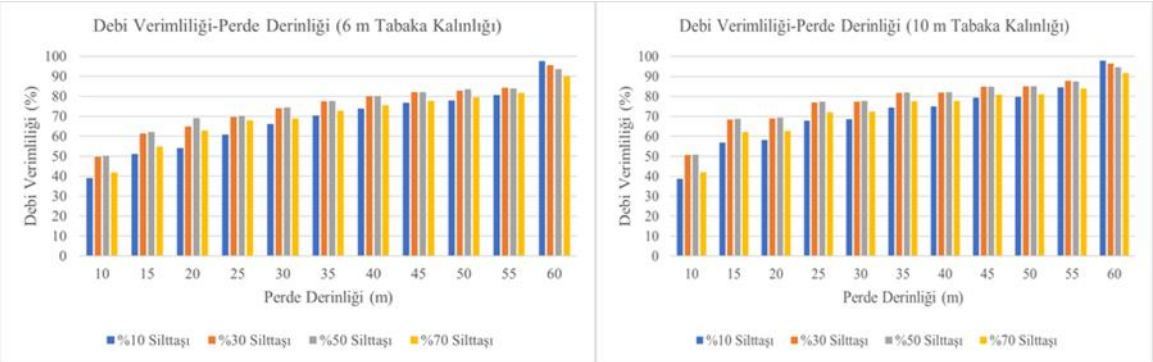


Şekil 4.48. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

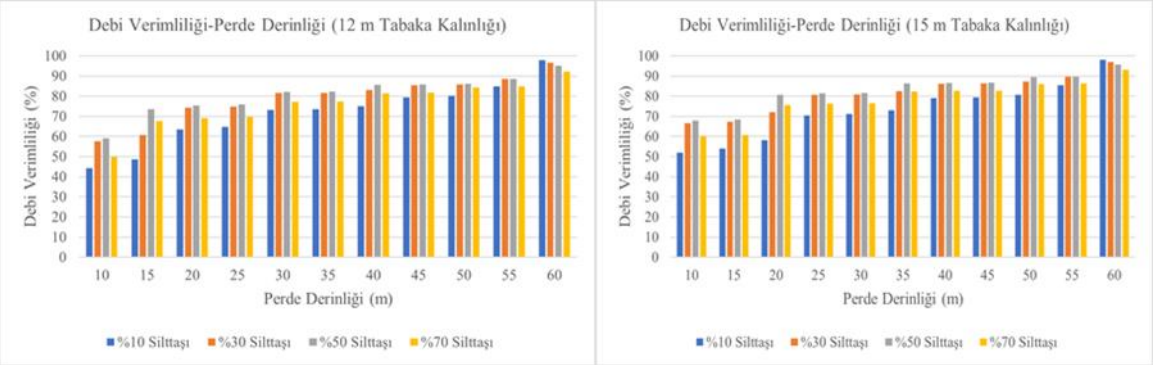
4.5.5. Senaryo-2b

Çizelge 4.77. Senaryo-2b ortalama debi verimliği tablosu

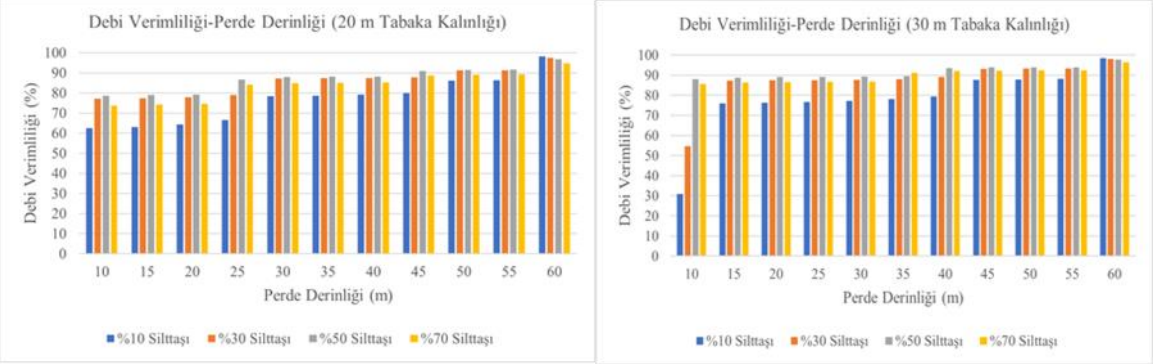
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	39	50	50	42	39	51	51	42	44	58	59	50	52	66	68	60	63	77	79	74	31	55	88	86
15	51	61	62	55	57	68	69	62	49	61	73	68	54	67	68	61	63	77	79	74	76	87	89	86
20	54	65	69	63	58	69	69	63	63	74	75	69	58	72	81	75	64	78	79	75	76	87	89	87
25	61	70	70	68	68	77	77	72	65	75	76	70	70	81	81	76	67	79	87	84	77	88	89	87
30	66	74	74	69	69	77	78	72	73	81	82	77	71	81	82	77	78	87	88	85	77	88	89	87
35	70	77	78	73	75	82	82	78	74	82	82	77	73	83	86	82	79	87	88	85	78	88	90	91
40	74	80	80	75	75	82	82	78	75	83	86	81	79	86	87	83	79	87	88	85	79	89	94	92
45	77	82	82	78	79	85	85	81	79	86	86	82	79	86	87	83	80	88	91	89	88	93	94	92
50	78	83	84	79	80	85	85	81	80	86	86	84	81	87	89	86	86	91	92	89	88	93	94	92
55	81	84	84	82	85	88	87	84	85	89	89	85	85	90	90	86	86	91	92	89	88	93	94	92
60	98	96	94	90	98	96	95	92	98	97	95	92	98	97	96	93	98	98	97	95	99	98	98	96



Şekil 4.49. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10 Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.50. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)

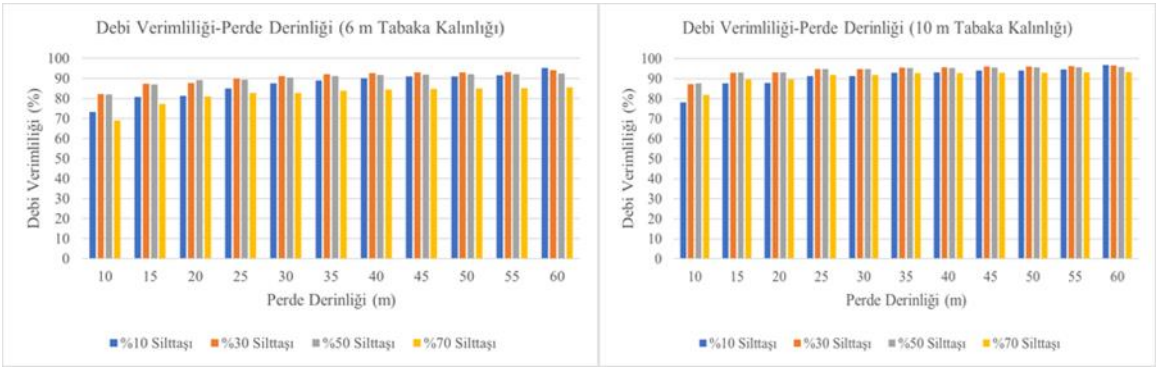


Şekil 4.51. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

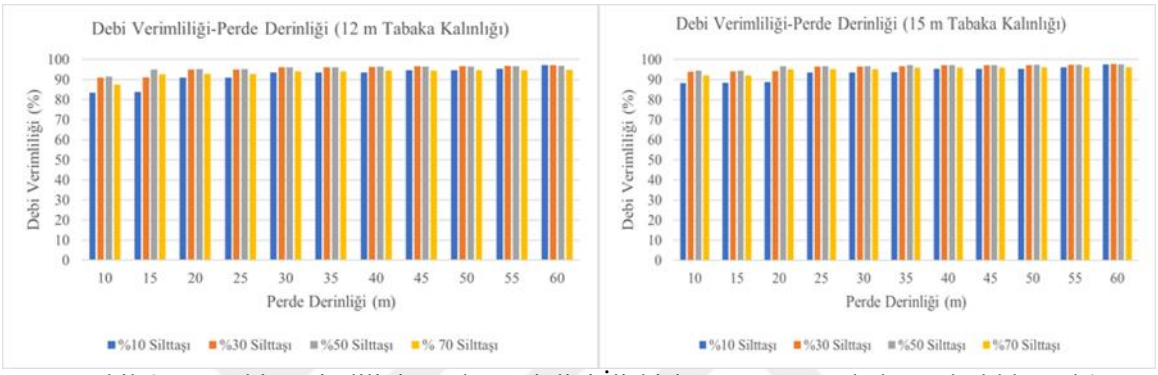
4.5.6. Senaryo-2c

Çizelge 4.78. Senaryo-2c ortalama debi verimliği tablosu

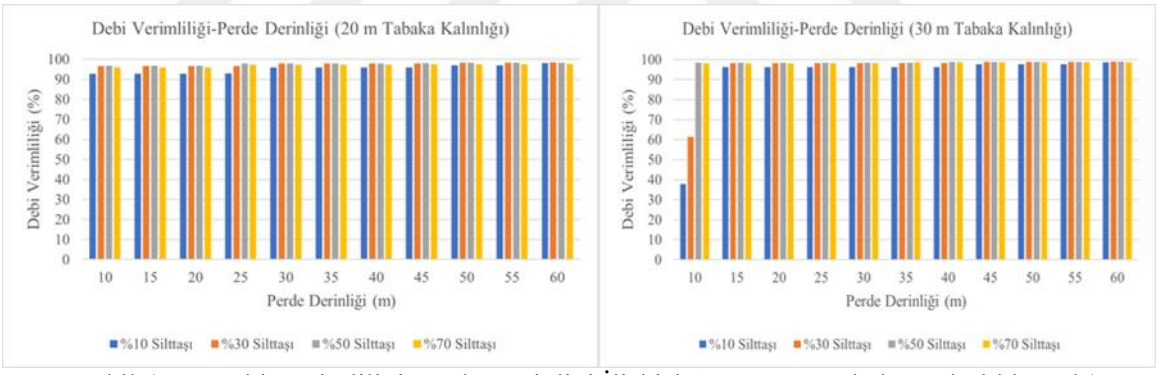
Perde Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı 6 m				Tabaka Kalınlığı 10 m				Tabaka Kalınlığı 12 m				Tabaka Kalınlığı 15 m				Tabaka Kalınlığı 20 m				Tabaka Kalınlığı 30 m			
	Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi				Silttaşı Yüzdesi			
	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%	10%	30%	50%	70%
10	73	82	82	69	78	87	88	82	83	91	92	88	88	94	94	92	93	97	97	96	38	61	98	98
15	81	87	87	77	88	93	93	90	84	91	95	93	88	94	94	92	93	97	97	96	96	98	98	98
20	81	88	89	81	88	93	93	90	91	95	95	93	89	94	97	95	93	97	97	96	96	98	98	98
25	85	90	89	83	91	95	95	92	91	95	95	93	94	97	97	95	93	97	98	97	96	98	98	98
30	87	91	91	83	91	95	95	92	93	96	96	94	94	97	97	95	96	98	98	97	96	98	98	98
35	89	92	91	84	93	96	95	93	93	96	96	94	94	97	97	96	96	98	98	97	96	98	98	99
40	90	93	92	84	93	96	95	93	94	96	97	95	95	97	97	96	96	98	98	97	96	98	99	99
45	91	93	92	85	94	96	96	93	95	97	97	95	95	97	97	96	96	98	98	98	98	99	99	99
50	91	93	92	85	94	96	96	93	95	97	97	95	95	97	97	96	97	98	98	98	98	99	99	99
55	92	93	92	85	95	96	96	93	95	97	97	95	96	97	97	96	97	98	98	98	98	99	99	99
60	95	94	93	85	97	97	96	93	97	97	97	95	98	98	98	96	98	98	98	98	99	99	99	99



Şekil 4.52. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (6m-10m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.53. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (12m-15m Tabaka Kalınlıklarında)



Şekil 4.54. Debi Verimliliği-Perde Derinliği İlişkisi (20m-30m Tabaka Kalınlıklarında)

4.6. 1. Kritere (Debi Verimliliği) Göre Perde Boyunun Belirlenmesi

4.6.1. Senaryo-1a

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s plastik betonda 10^{-8} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre; 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.79.'da verilmiştir.

Çizelge 4.79. Senaryo-1a perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	60	-	-	-
10 m	60	-	-	-
12 m	60	-	-	-
15 m	60	-	-	-
20 m	60	-	-	-
30 m	60	60	60	-

4.6.2. Senaryo-1b

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s plastik betonda 10^{-9} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.80.'de verilmiştir.

Çizelge 4.80. Senaryo-1b perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu(m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	35	35	35	35
10 m	35	35	35	35
12 m	35	30	30	35
15 m	35	30	30	35
20 m	30	30	25	25
30 m	35	15	15	20

4.6.3. Senaryo-1c

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-6} m/s, silttaşında 10^{-8} m/s plastik betonda 10^{-9} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.81.'de verilmiştir.

Çizelge 4.81. Senaryo-1c perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	15	15	15	15
10 m	15	10	10	15
12 m	20	10	10	15
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

4.6.4. Senaryo-2a

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s plastik betonda 10^{-8} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.82.'de verilmiştir.

Çizelge 4.82. Senaryo-2a perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	20	15	15	20
10 m	15	15	15	15
12 m	20	10	10	15
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

4.6.5. Senaryo-2b

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-7} m/s plastik betonda 10^{-9} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.83.'te verilmiştir.

Çizelge 4.83. Senaryo-2b perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	15	10	10	15
10 m	15	10	10	15
12 m	20	10	10	10
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

4.6.6. Senaryo-2c

Hidrolik iletkenlik değeri kumtaşında 10^{-5} m/s, silttaşında 10^{-8} m/s plastik betonda 10^{-9} m/s alınarak yapılan sızma analiz sonuçlarına göre 6 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m ve 30 m tabaka kalınlıklarındaki kesitte %10, %30, %50 ve %70 oranındaki silttaşı yüzdelerinde verimlilik kriterini sağlayan perde boyu aşağıdaki Çizelge 4.84.'te verilmiştir.

Çizelge 4.84. Senaryo-2c perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	10	10	10	10
10 m	10	10	10	10
12 m	10	10	10	10
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

Elde edilen bulgular, litolojik bileşimin geçirimsizlik perde performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Kumtaşı oranının yüksek olduğu (%90 kumtaşı–%10 silttaşı) kesitlerde en yüksek sızma debileri elde edilmiştir. Buna karşılık, silttaşının oranının %70'e çıktığı kesitler en düşük sızma debisini vermiştir. Bu sonuç, Marinos (2011) tarafından kumtaşının baskın olduğu formasyonların daha yüksek geçirgenliğe sahip olduğu ve silttaşının varlığının genel geçirgenliği kontrol ettiği yönündeki bulgularla uyumludur.

Analiz sonuçlarına göre, her iki programda da ağ yapısı üçgen elemanlardan oluşan 6 düğümlü sonlu elemanlar şeklinde tanımlanmasına rağmen, elde edilen sızma debileri arasında mertebe farkı olmaksızın yalnızca küçük farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılığın, SEEP/W yazılımında kullanılan 0,005 m tolerans değeri ile SLIDE programında kullanılan 1×10^{-6} tolerans değeri arasındaki farktan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak bu fark, mühendislik açıdan kritik düzeyde değildir. SEEP/W yazılımının ağ yapısını eleman boyutuna (1 m) göre, SLIDE

programının ise eleman sayısına bağlı olarak oluşturması, gözlenen küçük debi farklarını açıklamaktadır.

Bu durum, Yılmaz (2017) tarafından SEEP/W programı kullanılarak baraj gövdesinden sızma davranışının incelendiği çalışmanın bulgularıyla da uyumludur. Söz konusu çalışmada, farklı ağ boyutu ve tiplerinin baraj gövdesi içerisindeki sızma oranları üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı, akstaki sızma oranlarının ağ tipine bağlı olarak benzer değerler verdiği, sızma hızı ve gözenek suyu basıncı dağılımının ise ağ boyutundan anlamlı düzeyde etkilenmediği belirtilmiştir. Ayrıca, daha küçük ağ boyutlarının hesaplama süresini artırdığı tespit edilerek tüm analizlerde 1 m'lik küresel ağ boyutu tercih edilmiştir.

Bu bulgular, mevcut çalışmada SEEP/W ve SLIDE programları arasında gözlenen küçük debi farklarının, ağ tanımlama yöntemleri ve tolerans parametrelerindeki farklılıklardan kaynaklandığını; ancak söz konusu farkların genel sızma davranışının mühendislik güvenilirliğini etkilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Analizler, kumtaşının hidrolik iletkenliğine bağlı olarak silttaşı oranının debi verimliliği üzerindeki etkisinin değişebileceğini göstermektedir. Kumtaşının düşük hidrolik iletkenliğe sahip olduğu durumlarda silttaşı oranının artmasının debi verimliliğini azaltabileceği, yüksek geçirgen kumtaşı tabakalarında ise silttaşı oranındaki artışın görece bir iyileşmeye katkıda bulunabileceği gözlemlenmiştir. Özellikle hem kumtaşı hem de perde malzemesinin hidrolik iletkenliği düşük olduğunda, silttaşının perde ile birlikte daha bütünleşik bir geçirimsizlik zonu oluşturarak sızmayı sınırlandırmada rol oynayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, tabaka kalınlığı arttıkça perde derinliğinin debi üzerindeki etkisinin daha belirgin hâle gelmesi, kısmen kalın tabakalarda silttaşı oranının artmasıyla birlikte akışın daha dirençli ve düşey bileşen ağırlıklı hâle gelmesine bağlı olabileceği değerlendirilmektedir. Bu bulgular, perde tasarımında litoloji, tabaka kalınlığı ve hem zemin hem de perde malzemesinin hidrolik iletkenlik değerlerinin birlikte dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, zayıf fliş formasyonlarında plastik beton geçirimsizlik perdelerinin farklı litolojik bileşimler ve değişken tabaka kalınlıkları altında sergilediği kararlı durum sızma davranışları, sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Çalışma kapsamında üç farklı kumtaşı–silttaşı ve plastik beton geçirimlilik kombinasyonu (kumtaşı değerleri; 10^{-5} ve 10^{-6} m/s, silttaşı değerleri; 10^{-7} ve 10^{-8} m/s, plastik beton değerleri; 10^{-8} ve 10^{-9} m/s) ve dört farklı litolojik oran (%10, %30, %50 ve %70 silttaşı) ile 6 farklı tabaka kalınlığı dikkate alınmış, toplam 6 senaryo için Geostudio 12 ve Slide 6.0 programları ile ayrı ayrı 1728 adet sızma analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerin güvenilirliğini artırmak amacıyla her iki program ile yapılan çözümler karşılaştırılmış, yazılım sonuçlarının büyük ölçüde örtüştüğü görülmüştür. Bu durum, gerçekleştirilen modellemelerin hem teorik hem de uygulamalı mühendislik açısından güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Senaryo-1a:

- Tüm tabaka kalınlıklarında %10 silttaşı içeren kesitlerde yalnızca 1. kriter (sızma debisi verimliliği %50) sağlanmış, 2. kriter (su yüksekliği/perde derinliği %70) ise sağlanamamıştır.
- 30 m tabaka kalınlığında %30 ve %50 silttaşı içeren kesitlerde yalnızca 1. kriter (sızma debisi verimliliği %50) sağlanmış, 2. kriter (su yüksekliği/perde derinliği %70) ise sağlanamamıştır.

Bu nedenle Senaryo-1a kapsamında optimum perde boyu belirlenememiştir. Sonuçlar, plastik betonun hidrolik iletkenlik değerinin düşürülmesi ve/veya slurry trench hendek genişliğinin artırılması gerektiğini göstermektedir.

Senaryo-1b:

- Yalnızca 30 m tabaka kalınlığına sahip kesitlerde, %30, %50 ve %70 silttaşı oranı için her iki kriter (sızma debisi verimliliği %50, su yüksekliği/perde derinliği %70) de sağlanmıştır.
- Diğer tüm tabaka kalınlıklarında 1. kriter (sızma debisi verimliliği %50) sağlanmış olmakla birlikte, 2. kriter (su yüksekliği/perde derinliği %70) sağlanamadığı için optimum perde boyu belirlenememiştir.

Sonuçlar Çizelge 5.1.'de verilmiş olup 30 m tabaka kalınlığında %30 ve %50 silttaşı içeren kesitler için optimum perde boyu 15 m, %70 silttaşı içeren kesit için ise 20 m olarak belirlenmiştir.

Diğer kesitlerde ise perde performansının artırılabilmesi için plastik betonun hidrolik iletkenlik değerinin düşürülmesi ve/veya perde genişliğinin artırılması gerekmektedir.

Çizelge 5.1. Senaryo-1b optimum perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu(m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	-	-	-	-
10 m	-	-	-	-
12 m	-	-	-	-
15 m	-	-	-	-
20 m	-	-	-	-
30 m	-	15	15	20

Senaryo-1c:

Tüm tabaka kalınlıkları ve silttaşı oranlarında her iki kriter (sızma debisi verimliliği %50, su yüksekliği/perde derinliği %70) de sağlanmıştır. Optimum perde derinlikleri Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Senaryo-1c optimum perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	15	15	15	15
10 m	15	10	10	15
12 m	20	10	10	15
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

Senaryo-2a, 2b ve 2c:

Tüm tabaka kalınlıkları ve silttaşı oranlarında her iki kriter (sızma debisi verimliliği %50, su yüksekliği/perde derinliği %70) de sağlanmıştır. Optimum perde derinlikleri her bir senaryo için sırasıyla Çizelge 5.3. , Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Senaryo-2a optimum perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	20	15	15	20
10 m	15	15	15	15
12 m	20	10	10	15
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

Çizelge 5.4. Senaryo-2b optimum perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	15	10	10	15
10 m	15	10	10	15
12 m	20	10	10	10
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

Çizelge 5.5. Senaryo-2c optimum perde boyu tablosu

Tabaka Kalınlığı	Silttaşı Yüzdesi/Perde Boyu (m)			
	10%	30%	50%	70%
6 m	10	10	10	10
10 m	10	10	10	10
12 m	10	10	10	10
15 m	10	10	10	10
20 m	10	10	10	10
30 m	15	10	10	10

Elde edilen sonuçlara dayanarak, silttaşı ve kumtaşı hidrolik iletkenlik değeri mertebesi arasındaki farkın en az olduğu Senaryo-1a ve 2a'da debi verimleri göz önüne alındığında bu iki uygulama en verimsiz uygulamalar olarak öne çıkmıştır. Her iki senaryo da da perdeli ve perdesiz durumdaki sızma miktarlarında önemli bir fark oluşmamıştır. En verimli uygulama Senaryo 2c'dir.

Perde malzemesi hidrolik iletkenlik değeri de sonuçlar üzerinde tek başına etkili olamamıştır. Bu bulgu, geçirimsizlik perde tasarımında plastik betonun doğru karışım tasarımı ile optimizasyon avantajları sağlayabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada perdelerin kilitlendiği litoji ve kilitleme derinliğinin sızma debisi üzerinde dolayısıyla perde boyu üzerinde etkisi olmamıştır. Tüm senaryolarda perde derinliği arttıkça sızma miktarı azalmıştır.

Kumtaşı hidrolik iletkenliğinin yüksek olduğu senayolarda litolojik bileşime bağlı olarak, silttaşı oranının artmasıyla debi verimliliğinde belirgin bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Kumtaşı hidrolik iletkenliğinin düşük olduğu senaryolarda bu durum tam tersi şekilde tezahür etmiştir. Genel olarak, tabaka kalınlığının artmasıyla birlikte perde derinliği–debi verimliliği ilişkisi daha belirgin hale gelmiş; yani kalın tabakalarda perde derinliğindeki artışın hidrolik etkinliğe katkısı daha yüksek olmuştur.

Sonuçlar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, %50 ve %70 silttaşı içeren kesitlerde hem teknik hem de ekonomik açıdan perdeler büyük oranda yeterli olabileceği düşünülmektedir. Senaryoların tamamında perde boyu arttıkça sızma debisi azalmasına rağmen sızma miktarları arasındaki farkın az olduğu senaryolarda sızma debisi verimliliği ve perde derinliği-baraj su yükü oranı kriteri sağlanamamıştır. Bu nedenle, filiş gibi heterojen kayalardaki geçirimsizlik perdelerinin tasarımında klasik kriterlerle birlikte baraj aktif hacimdeki değişimin de dikkate alınarak perde boyunun belirlenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, fliş serisi zayıf kaya formasyonlarında plastik beton geçirimsizlik perdelerinin boyutlandırılmasına yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunulmuş; litolojik oran, tabaka kalınlığı ve malzeme hidrolik iletkenliğinin perde boyunun belirlenmesinde birbirini tamamlayıcı unsurlar olduğu ortaya konulmuştur.

5.2. Öneriler

5.2.1. Mühendislik Uygulamalarına Yönelik Öneriler

- Kumtaşı baskın sahalarda perde derinliği baraj yüksekliğinin 1,5–2 katı alınmalıdır.
- Silttaşı baskın sahalarda daha sığ perdeler yeterli olabilir, bu da maliyet avantajı sağlar.
- Tasarım yalnızca hidrolik güvenlik değil, sürdürülebilirlik ve maliyet boyutlarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

5.2.2. Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

- 3B analizler ile litolojik heterojenliğin etkilerinin incelenmesi,
- Zamana bağlı (transient) analizlerle farklı işletme koşullarında performansın değerlendirilmesi,
- Yapay zekâ/makine öğrenmesi yöntemleri ile hızlı optimizasyon modellerinin geliştirilmesi,

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, uluslararası literatür ve standartlarla uyumludur ve mühendislik uygulamaları için genelleştirilebilir tasarım kriterleri Çizelge 5.6.'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.6. Geçirimsizlik perdesi tasarım kriterleri

Parametre	**Durum / Değer**	**Önerilen Tasarım Kriteri**	**Mühendislik Yorumu**
Silttaşı Oranı	%10–30	Perde derinliği ≥ 1,5–2 × baraj yüksekliği	Kumtaşı baskın → yüksek geçirimlilik → daha derin perde gerekli.
Silttaşı Oranı	%50	Perde derinliği ≥ 1,2–1,5 × baraj yüksekliği	Dengeli litoloji; optimum geçirimsizlik sağlanabilir.
Silttaşı Oranı	%70	Perde derinliği ≈ 1,0–1,2 × baraj yüksekliği	Silttaşı baskın kesitlerde düşük geçirgenlik → ekonomik çözüm.
Tabaka Kalınlığı	6–10 m	Daha derin perde gerekli	İnce tabakalar sızmayı kolaylaştırır.
Tabaka Kalınlığı	20–30 m	Daha sığ perde yeterli olabilir	Kalın tabakalar direnç artırır.
Kumtaşı k (m/s)	$1x10^{-5}$ – 1 x 10^{-6}	Perde boyu ≥ 1,5 × baraj yüksekliği	Kumtaşı baskın kesitlerde kritik parametre.
Silttaşı k (m/s)	$1x10^{-7}$ – $1x10^{-8}$	Perde boyu ≈ 1,0–1,2 × baraj yüksekliği	Düşük geçirgenlik avantaj sağlar.
Plastik Beton k (m/s)	$1x10^{-8}$ – $1x10^{-9}$	Bu aralık sağlanmalı	Literatürde kabul edilen optimum değer.
Ekonomik Kriter	Maliyet–Güvenlik Dengesi	Silttaşı baskın sahalarda sığ perde tercih edilebilir	Güvenlik ve maliyet birlikte düşünülmeli.
Gelecek Senaryolar	İklim değişikliği – artan yağış	Derinlik güvenlik payı artırılmalı	Değişken hidrolojik koşullara adaptif tasarım.

KAYNAKLAR

ACI 1999. Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-99) American Concrete Institute Committee.

Ağıralioğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 2. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 256s.

Alghazali, N. O. S., and Alnealy, H. K. T., 2015. Experimental Analysis of Seepage in Soil Beneath a Model of a Gravity Dam. American Journal of Civil Engineering, 3(3): 64-69.

Alnealy, H. K. T., and Alghazali, N. O. S., 2015. Analysis of Seepage Under Hydraulic Structures Using Slide Program. American Journal of Civil Engineering, 3(4): 116-124.

Alós-Shepherd, A., Kotan, E., and Dehn, F., 2018. State-of-the-Art-Report - Plastic Concrete for Cut-Off Walls. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 68s.

Alzayani, N. J., Royal, A. C. D., Ghataora,.G. S., and Jefferson, I., 2017. Cement-Bentonite in Comparison with Other Cemented Materials. Environmental Geotechnics, 4(5):353-372.

Angelov, M., and Asr, A. A., 2021. The Effect of Cut-off Wall Angle on Seepage and Uplift Pressure under Dams. UK Association for Computational Mechanics (UKACM) Conference, Loughborough, UK.

Anggraini, V., Putra, M. H. A., Nanda, N., and Nasmirayanti, R., 2024. Seepage Analysis Beneath Gravity Concrete Dam Using Flow Net Method and Plaxis 2D. Journal of Material Science and Technology Research, 11:84-89.

Apaydın, A., 2022. Multiparameter Analysis for Impermeability Performance of Slurry Wall under Dams: Two Case Studies in Central Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 15(1):11-23.

Arbanas, Ž., Grošić, M., and Briški, G., 2008. Behaviour of Engineered Slopes in Flysch Rock Mass. 1st Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Perth, Australia.

Athani, S. S., Shivamanth, A., Solanki, C. H., and Dodagoudar, G. R., 2015. Seepage and Stability Analyses of Earth Dam Using Finite ElementMethod. Aquatic Procedia, 4(2015):876–883.

Aygar, E. B., 2022. Zayıf zeminlerde açılan büyük çaplı çift tüp tünellerin birbirine olan etkisinin 3 boyutlu sayısal analizlerle incelenmesi, Bolu Tüneli Örneği. Bilimsel Madencilik Dergisi, 61(3):157-168.

Azañón, J. M., Azor, A.,Yesares, J., Tsigec, M., Mateosd, R. M., Nietoe, F., Delgado, J., López-Chicano, M., Martína, W., and Rodríguez-Fernández, J., 2010. Regional-Scale High-Plasticity Clay-Bearing Formation as Controlling Factor on Landslides in Southeast Spain. Geomorphology, 120(2010):26–37.

Barlow, L., and Malusis, M. A., 2019. Assessment of Backfill Hydraulic Conductivity in an Instrumented Soil-Bentonite Cutoff Wall Proceedings of the 8th International Congress

on Environmental Geotechnics. Springer, Singapore.

Bear, J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier Publication Co., NewYork.

Berisavljević, Z., Berisavljević, D., and Čebašek, V., 2014. Shear Strength Properties of Dimitrovgrad Flysch, Southeastern Serbia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(3):759-773.

Berti, M., Bertello, L., Bernardi, A. R., and Caputo, G., 2017. Back Analysis of a Large Landslide in a Flysch Rock Mass. Landslides, 14(6):2041-2058.

Bondarenko, N. A., Lyubimova T. V., and Selivanova A. V., 2018. Application of Classification Scheme Developed by Marinos and Hoek for Determination of Geotechnical Properties of Flysch Masses of Northwest Caucasus. VIII All-Russian Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018), Essentuki, Russia.

Brinkgreve, R., Swolfs, W., and Engin, E., 2010. PLAXIS 2D Manual, Netherlands, Delft University of Technology.

Broaddus, M. R., 2015. Performing A Steady-State Seepage Analysis Using SEEP/W : A Primer for Engineering Students. Master of Science Thesis, University of Louisville, Kentucky, 52s.

Bruce, D. A., 2009. Seepage Cut-Offs for Levees and Dams: The Technology Review. www.researchgate.net.

Cano, M., and Tomás, R., 2015. An Approach for Characterizing the Weathering Behaviour of Flysch Slopes Applied to the Carbonatic Flysch of Alicante (Spain). Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 74:443–463.

Cheng, Z., Wang, X., Ren, B., Lv, P., and Zhu, X., 2018. Simulation of Complex Seepage Field of A Gravity Dam Foundation Using A CFD-Based Approach. Journal of Hydraulic Engineering, 144(3):05018001.

Cook, P. G., 2003. A Guide to Regional Groundwater Flow in Fractured Rock Aquifers. CSIRO Land and Water, Australia, 108s.

Çakır, E. N., 2019. Büyükkumla Barajı Bulamaç Hendeği Uygulamaları ve Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 88s.

Çilingir, H., 2007. Toprak Dolgu Barajların Gövdelerindeki Sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi: Büyükçekmece Barajı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 71s.

Das, B. M., 2010. Principles of Geotechnical Engineering, 7th Edition. Cengage Learning, Stamford, USA, 666s.

Davis, S. N., 1988. Sandstones and Shales. In: Back W., Rosenhein J.S. and Seaber P.R. (ed.) The Geology of North America. Hydrogeolog. Geological Society of America, O(2):323-332.

Day, S. R., Ryan, C. R., and Gary Fisk, G., 2001. Innovative Slurry Trench Methods for the Rehabilitation of Small Dams. Dam Safety 2001, Snowbird, Utah , USA.

De Silva, L. I. N., and Wijayawardhana, H. M. J. T., 2017. Strength, Deformation and Permeability Characteristics of Soil-Cement-Bentonite Slurry Cut Off Materials. 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, South Korean.

Del Fabbro, M., Paronuzzi, P., and Bolla, A., 2024. Geotechnical Characterisation of Flysch-Derived Colluvial Soils from A Pre-Alpine Slope Affected by Recurrent Landslide. Geosciences, 14(5):115.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2014. 2. Barajlar Kongresi, Beton Barajlar Tasarım İlkeleri Rehberi, Ankara, Yayın No:0004, Rev 01, 74s.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2014. 2. Barajlar Kongresi, Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, Ankara, Yayın No:003, Rev 01, 209 s.

Dhawan, K. R., Burele, S., and K. Bagwan, K., 2019. Curtain Grouting, A Tool Used for Stopping the Seepage from An Existing Dam. Indian Geotechnical Journal, 49(5):552-565.

Djerbal, L., Matougui, Z. Harfouche, A. and Bahar, R., 2024. Influence of Slope Length on the Stability of Gentle Flysch Hilly Sites Behaviour of Engineered Slopes in Flysch Rock Mass. 18.th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Algiers, Algeria.

Dong, J.-J., Tu, C.-H., Lee, W.-R., and Jheng, Y.-J., 2012. Effects of Hydraulic Conductivity/Strength Anisotropy on the Stability of Stratified, Poorly Cemented Rock Slopes. Computers and Geotechnics, 40(2012):147–159.

Dounias, G. T., and Papageorgiou, E. O., 2001. Stresses and Strains in the Evinos Dam, Greece, https://www.issmge.org/publications/online-library.

Ersöz, T., 2019. Slope Stability Assessment of Various Road Cuts With Effects of Weathering at North West Black Sea Region (Turkey). Master of Scıence Thesis, Middle East Technical Unıversity, Ankara, 407s.

Ersöz, T., and Topal, T., 2018. Weathering and Excavation Effects on the Stability of Various Cut Slopes in Flysch-Like Deposits. Geotechnical and Geological Engineering, 36:3707-3729.

Evans, J., Ororbia, M., Gutelius, J., Ruffing, D., Barlow, L., and Malusis, M., 2017. Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoff Wall Lateral Deformations, Consolidation, Stress Transfer and Hydraulic Conductivity. 2nd Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics (CPEG2), Leeds, UK.

Eynur, Z., 2004. Baraj Altındaki Sızmaların Analiz ve Kontrolü: Sazlıdere Barajı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 96s.

Faridmehr, I., YazdaniPour, M. R., Jokar, M. J., and Özbakkaloğlu, T., 2019. Construction and Monitoring of Cement/Bentonite Cutoff Walls: Case Study of Karkheh Dam. Iran.

Studia Geotechnica et Mechanica, 41(4):184–199.

FEMA 2015. Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion (FEMA P-132), Federal Emergency Management Agency.

Filz, M. G., Adams, T., and Davidson, R. R., 2004. Stability of Long Trenches in Sand Supported by Bentonite-Water Slurry. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(9):915-921.

Fitts, C. R., 2013. Groundwater Science. 2nd Edition, Academic Press, 692s.

Fleetwood, B., Brook, M. S., Brink, G., Richards, N. R, Adam, L., and Black, P. M., 2020. Characterization of A Highly Heterogeneous Flysch Deposit and Excavation Implications: Case Study from Auckland, New Zealand. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 79(1):4565-4578.

Floria, V., Repetto L., Russo, G., and Fidelibus, C., 2009. Scoping Calculations of TBM Advancement in Flysch and Breccias of Strait-of-Gibraltar Tunnel. 2nd International Conference on Computational Methods in Tunnelling, Bochum, Germany.

Fox, P. J.,2004. Analytical Solutions for Stability of Slurry Trench. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(7):749-758.

Freeze, R., and Cherry, J., 1979. Groundwater. Prentice Hall, New Jersey, 604s.

Fujun, C., Guohua, F., Xiaogang, M., and Zhinong, H., 2012. Simulation Analysis of Crack Cause of Concrete Overflow Dam for Hadashan Hydro Project by 3-D FEM. Systems Engineering Procedia, 3(2012):48-54.

Gajbhiye, P. K., 2016. Construction of Deep Plastic Concrete Cut-Off Wall in Upstream Coffer Dam of Punatsangchhu-I Hydropower Project, Bhutan. International Conference on Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016), Bengaluru, India.

Geo-Slope International Ltd., 2015. Seepage Modeling with SEEP/W, 197s.

Gu, C., Su, H. S., and Zhou, H., 2005. Study on Coupling Model of Seepage-Field and Strees-Field for Rolled Control Concrete Dam. Applied Mathematics and Mechanics, 26(3):355-363.

Gueddouda, M. K., Goual, I., Taibi, S., Aboubekr, N., and Lamara, M., 2015. Effect of Bentonite on the Saturated Hydraulic Conductivity of Landfill Liners Based on Dune Sand. Journal of Building Materials and Structures, 2(1):10-17.

Güman, İ., ve Sert, S., 2019. Silindir ile Sıkıştırılmış Beton Baraj Örneği: İhsaniye Barajı ve Enjeksiyon Uygulamaları. 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Şanlıurfa,Türkiye.

Güngör, M., 1995. Toprak Dolgu Barajlardaki Sızma Olayının Sonlu Elemanlar Modeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(1):33-38.

Hamad, A. R., and Behaya., S. A., 2022. Sheet Piles Walls Effect on Seepage Characteristics under Low Concrete Gravity Dams. International Journal of Engineering Research &

Technology (IJERT), 11(12):344-348.

Hamad, A. R., Suleimany, J. M. S., and Aurahman, T. H., 2023. Seepage Quantity Analysis Beneath Concrete Dams with Various Sheet Piles using Different Numerical Models. Tikrit Journal of Engineering Sciences, 30 (2):114-121.

Hinchberger, S., Weck, J., and Newson, T., 2010. Mechanical and Hydraulic Characterization of Plastic Concrete for Seepage Cut-Off Walls. Canadian Geotechnical Journal, 47(4):461–471.

Hsu, S.-M., Lo, H.-C., Chi, S.-Y., and Ku, C.-Yu., 2011. Rock Mass Hydraulic Conductivity Estimated by Two Empirical Models, www.intechopen.com.

ICOLD 1985. Filling Materials For Watertight Cut Off Walls, Bull. No. 51.

Jamel, A. A. J., 2016. Effect of Intermediate Sheet Piles in Non-Homogenous Soil on Seepage Properties Under Hydraulic Structure Using SEEP/W Program. Tikrit Journal of Engineering Sciences, 23(3):79-90.

Jelenković, T., and Travaš., V., 2013. Numerical And Experimental Analysis of Seepage Beneath a Model of A Gravity Dam. Engineering Review, 33(2):75-84.

Jin, J., Zhou, Q., Liu, Y., and Ning, S., 2022. Seepage Mitigation in Hydropower Dams by Optimization in Roller Compacted Concrete Interlayer (Monoliths) Joint Bonding Technology. Open Journal of Civil Engineering, 12(1):139-151.

Junrui, C., 2002. Analysis of Coupled Seepage and Temperature Fields in Concrete Dam. Communications in Numerical Methods in Engineering, 18(6):399–409.

Junrui, C., Kanghong, L., Yanqing, W., and Shouyi, L., 2005. Coupled Seepage and Stress Fields in Roller Compacted Concrete Dam. Communications in Numerical Methods in Engineering, 21(1):13–21.

Khanzaei, P., 2017. Effects of Thermal and Seepage Actions on Seismic Response of Roller Compacted Concrete Dams. Doctor of Philosophy, Western Sydney University, Australia, 242s.

Kırkgöz, M. S., 2018. Çözümlü Problemlerle Akışkanlar Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 561s.

Klimeś, J., Baroň, I., Pánek, T., Kosačík,T., Burda, J., Kresta, F., and Hradecký, J., 2009. Investigation of Recent Catastrophic Landslides in the Flysch Belt of Outer Western Carpathians (Czech Republic):Progress Towards Better Hazard Assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9:119-128.

Kogut, J. P., Pilecka, E., and Szwarkowski, D., 2018. Analysis of Landslide Effects Along A Road Located in the Carpathian Flysch. Open Geoscience, 10(1):517–531.

Joshi, K., Soga, K., and Tedd, P., 2009. Long-Term Performance of Cement-Bentonite Containment Wall. 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt.

Lei, M., Liu, L., Lin, Y., Shi, C., Yang, W., Cao, C., and Liu, Y., 2019. Research Progress on Stability

of Slurry Wall Trench of Underground Diaphragm Wall and Design Method of Slurry Unit Weight. Advances in Civil Engineering, 2019(4):1-19.

Lewis, M. A., 1989. Water in Earth Science Mapping for Planning, Development and Conservation.

Lewis, M., A., Cheney, C., S., and Ódochartaigh, B., É., 2006. Guide to Permeability Indices. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK.

Li, M.-C., Guo, X.-Y., , Shi, J, and Zhu Z,-B., 2015. Seepage and Stress Analysis of Anti-Seepage Structures Constructed with Different Concrete Materials in an RCC Gravity Dam. Water Science and Engineering, 8(4):326-334.

Li, Q., Jia, Z., and Zhoa, Y., 2021. Laboratory Evaluation of Hydraulic Conductivity and Chemical Compatibility of Bentonite Slurry for Grouting Walls. Environmental Earth Sciences, 80(17):569.

Li, Y.-C., Ke, H., Tong, X., Wen, Y.-D., and Chen, Y.-M., 2016. Consolidation Behaviors of Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoff Walls: A Large-Scale Test. Japanese Geotechnical Society Special Publication, 2(45):1593-1596.

Liu, W.-L., Wang, Y.-B., Li, Q.-B., Gao X.-F., Tan, Y.-S., Liu, C.-F., Hu, Y., and Niu, X.-J., 2021. Research on Interlayer Bonding Quality Control Method of Dam Concrete Based on Equivalent Age. Materials,14(18):5192.

Mairaing, W., Thongtamachat, C., and Chisiwamongcol, N., 2008. Seepage Analysis and Monitoring of Khlong Tha Dan Dam. An International Conference on Geotechnical Engineering Focusing on New Developments in Soil & Rock Engineering, Chiangmai, Thailand.

Malkawi, A. I. H., Aufleger, M., and Al-Jamal, M. R., 2004.Temperature Distirubition in Al-Mujib Roller Compacted Concrete (RCC) Gravity Dam. Geo Jordan 2004: Advances in Geotechnical Engineering with Emphasis on Dams, Highway Materials and Soil Improvement, Irbid, Jordan.

Malusis, M. A., Evans, J. C., Jacob, R. W., Ruffing, D. G., Barlow L. C., and Marchiori A. M., 2017. Construction and Monitoring of an Instrumented Soil-Bentonite Cutoff Wall:Field Research Case Study. 29th Central Pennslyvania Geotechnical Conference, Hershey, Pennsylvania, USA.

Mansuri, B., and Salmasi, F., 2013. Effect of Horizontal Drain Length and Cutoff Wall on Seepage and Uplift Pressure in Heterogeneous Earth Dam with Numerical Simulation. Journal of Civil Engineering and Urbanism, 3(3):4-121.

Marinos, V., and Hoek, E., 2000. GSI-A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation. Proceedings of the GeoEng 2000 at The International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia 2000.

Marinos, V., Hoek, E., 2001. Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch. Bulletin of the Engineering Geology& the Environment, 60:85-92.

Marinos, V., Fortsakis, P., Prountzopoulos, G., and Marinos, P., 2011. Permeability in Flysch -

Distribution Decrease with Depth and Grout Curtains Under Dams. Journal of Mountain Science, 8(2): 234–238.

Marinos, V., 2014. Tunnel Behaviour and Support Associated with the Weak Rock Masses of Flysch. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6(2014):227-239.

Marinos, P., Fortstakis, P., and Stoumpos, G., 2015. Classification of Weak Rock Masses in Dam Foundation and Tunnel Excavation. Engineering Geology for Society and Territory, 6:859-863.

Marinos, V., 2020. Engineering Geology and Tunnels. https://www.intechopen.com

Marinos, V. P., 2022. In Flysch Structure-Addressing the Challange of Flysch in Major Infrastructure Projects. The 1st Mediterranean Lecture, Naples, Italy.

Milligan, V., 1976. Field Measurement of Permeability in Soil and Rock, In Situ Measurement of Soil Properties, American Society of Civil Engineers. 2: 3-36.

Mukherjee, R. V., 2012. Consolidation and Arching Potential of Slurry Backfill, Master of Science, University of Saskatchewan, Saskatoon, 72s.

Nemati, K. M., 2005. Temporary Structures Slurry Trench / Diaphragm Walls. Second Semester (Atce-II Advanced Topics in Civil Engineering), Tokyo Institute of Technology Department of Civil Engineering, Tokyo, 5s.

Nohut, F. M., 2010. Yedigöze Barajı ve Hidroelektrik Santrali İnşaatında Geçirimsiz Perde Duvar (Slurry-Trench) Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 155s.

Noori, K. M.-G., 2013. Numerical Analysis of Earth Dam Seepage Problems. Master of Science Thesis, University of Nottingham, UK, 141s.

Önal, F. C., 2018. Geçirimsizlik Perdesi Yapım Yöntemleri ve Sulakyurt Barajı Slurry Trench (Bulamaç Hendeği) Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 111s.

Özaydın, İ. K., Samhouri, N., F., ve Dinçer, E., 1991. Bulamaç Hendeği (Slurry Wall) İnşaat Yöntemi Üzerine Bir Model Deney Araştırması. İMO Teknik Dergi, 25:335-351.

Özbek., S. E., 2017. Numerical Modeling of Seepage in Koyunbaba Dam. Master of Science Thesis, University of Akron, Ohio, USA, 89s.

Pepe, G., Piazza, M., and Cevasco, A., 2014. Geomechanical Characterization of a Highly Heterogeneous Flysch Rock Mass by Means of the GSI Method. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(2):465-477.

Peranić, J., Jagodnik, V., and Arbanas, Ž., 2019. Rainfall Infiltration and Stability Analysis of an Unsaturated Slope in Residual Soil from Flysch Rock Mass. XVII Europen Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Reykjavik, Iceland.

Peranić, J., Moscariello, M., Cuomo, S., and Arbanas, Ž., 2020. Hydro-Mechanical Properties of Unsaturated Residual Soil from A Flysch Rock Mass. Engineering Geology,

269:105546.

Petkovśek., A. and Majes, B., 2012. Overconsolidated Clays and Flysch for Embankments in Slovenia. Geological Society London Engineering, 26(1):93–100.

Pittalis, G., Cagiano, A., Pietrangeli, A., and Tesfamariam, B., 2017. Dam Foundation Grouting At Gibe III Dam: A Case Study. www.pietrangeli.com.

Polater, Ö., 2021. Dolgu Barajların Farklı Geçirimsiz Malzemeler Kullanılarak Sızma Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, 53s.

Prodan., M. V., Mileusnić, M., Arbanas, S., M., and Arbanas., Ž., 2016. Influence of Weathering Processes on the Shear Strength of Siltstones from A Flysch Rock Mass Along the Northern Adriatic Coast of Croatia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 76:695-711.

Prodan., M. V., and Arbanas., Ž., 2020. Analysis of the Possible Reactivation of the Krbavčiči Landslide in Northern Istria, Croatia. Geosicience, 10(8):294-316.

Rahimpour, M., Moghadam, M. R., Parvizi, M., Sedghi-Asl, M., and Fazeli, J., 2022. Evaluation of Grout Curtain Performance in Seepage Control from Rock Formations by 3D Analysis (A Case Study of Haigher RCC Dam). Amirkabir Journal of Civil Engineering, 54(8):637-640.

Ramoni, M., and Anagnostou, G., 2008. TBM Drives in Squeezing Rock-Shield-Rock Interaction. Building Underground for the Future/AFTES International Congress, Montecarlo, Monaco.

Rasgoti, V. K., 2018. Instrumentation and Structural Monitoring of Earth, Rockfill and Concrete Dams. www.encardio.com.

Ruffing, D., and Evans, J. C., 2014. Case Study: Construction and In-Situ Hydraulic Conductivity Evaluation of a Deep Soil-Cement-Bentonite Cutoff Wall. Geo-Congress 2014, Atlanta, Georgia, USA.

Ruffing, D., and Evans, J. C, and Coughenour, N., 2018. Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoff Wall Longevity. International Foundations. International Foundations Congress and Equipment Expo, Florida, USA.

Sağlıca, O., 2013. Dolgu Baraj Gövdelerinde Sızma Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 85s.

Saleh, L. A., 2018. Studying the seepage phenomena under a concrete dam using SEEP/W and Artificial Neural Network models. 2nd International Conference on Engineering Sciences, Kerbala University, Iraq.

Santillán, D. Fraile-Ardanuy J. and Toledo, M. Á., 2013. Dam Seepage Analysis Based on Artificial Neural Networks: The Hysteresis Phenomenon. The 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Dallas, Texas, USA.

Saracco, E. C., and Bochnak., P. L., 2020. Design of RCC Gravity Dam and FEM Modelling in

GeoStudio Longtan Dam, Master of Science, Lund University, Sweden, 111s.

Sattler, T., and Paraskevopoulou, C., 2019. Implications on Characterizing the Extremely Weak Sherwood Sandstone: Case of Slope Stability Analysis Using SRF at Two Oak Quarry in the UK**.** Geotechnical and Geological Engineering, 37:1897–1918.

Schuster, R. L., 2006. Interaction of Dams and Landslides—Case Studies and Mitigation. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA, 107s.

Scuero, A. M., and Vaschetti, G. L., 2004. Watertightness and Safety of Dams Using Geomembranes.13th Conference of the British Dam Society and the ICOLD Europen Club Meeting, Canterbury, UK.

Seifabad, M. C., Khosravi, A. A., and Vafaeian, M., 2020. Seepage Analysis for Soork Dam Foundation. Global Journal of Enginnering Sciences (GJES), 6(3):1-10.

Selbert, C., and Taulis., M., 2019. Warkworth to Wellsford Hydrogeology Assessment. Jacobs GHD Joint Venture, Australia, 75s.

Šestanović, S., Štambuk, N., and Samardžıja, I., 1994. Control of the Stability and Protection of Cut Slopes in Flysch. Geologia Croatica, 47(1):139-148.

Serafim, J. L., 1968. Chapter 3: Influence of Interstitial Water on Behavior of Rock Masses, Rock Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Shadravan, B., Mirghasemi, A. A., and Pakzad, M., 2004. Karkheh Storage Dam Cutoff Wall Analysis and Design. Proceedings:Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, USA.

Singhal, B. B. S., and Gupta, R. P., 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 400s.

Spitz, K., and Moreno, J., 1996. A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley, New York, 480p.

Solanki, L. K., Munzni, B. K., and Vidyarthi U. S., 2022. Construction of Plastic Concrete Seepage Cut-Off Wall for Polavaram Earth Cum Rockfill Dam. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 10(3):449-458.

Sungur, T., 1997. Su Yapıları Cilt:1 Baraj ve Göletler (Su Biriktirme Yapıları). DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü, Ankara, 191s.

Sümer, B. M., Ünsal, İ., ve Bayazıt, M., 1983. Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Sürmeli, A. S., 2002. Silindirle Sıkıştırılmış Ağırlık Beton Barajlar ve Bunların Ağırlık Beton Barajlarla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 96s.

Talefirouz, D., and Çokça, E., 2022. Use of Powdered Steel Slag in Cement-Bentonite Slurry Wall Construction. Sirnak University Journal of Sciences, 2(2):1-15.

Tajduś, A., and Tajduś, K., 2022. Assessment of the Behaviour of Flysch Rock Mass During Tunnel Boring in the Primary Lining Using Indicators and Limit Values of Displacements and

Deformations. Archives of Mining Sciences, 67(2):355-376.

Tavoularis, N., Koumatakis, I., Rozos, D., and Koukis, G., 2017. Landslide Susceptibility Mapping Using the Rock Engineering System Approach and GIS Technique: An Example from Southwest Arcadia (Greece). European Geologist, 44.

Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri Anonim Şirketi, 2005. Silindirle Sıkıştırılmış SSB-(RCC) Barajın Tasarımı, Ankara, 48s.

Terron-Almenera, J., and Panthi, K. K., 2025. Analysis of Plastic Deformations for Tunnel Support Design in Weak Flysch Rock Mass of a Hydropower Tunnel in Central Albania. Rock Mechanics and Rock Engineering, 58(7):8111-8143.

Thomas, A. J., and Asr, A. A., 2024. Investigating Branched Cut-off Wall Effect on Seepage Using Numerical Modelling. European Journal of Computational Mechanics, 33(3):295-328.

Tosun, H., Ünal, S. M., ve Türköz, M., 2002. Dolgu Barajlarda Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Plastik Beton Perde İnşası ve Bir Uygulama. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye.

Toufigh, M. M., Bagheripur, M. H., and Bazrafshan M. A., 2007. Analysis of Seepage with Nonlinear Permeability Using Least Square Finite Element and Finite Difference Methods, 1(4):92-100.

Tziallas, G. P., Saroglou, H., and Tsiambaos, G., 2013. Determination of Mechanical Properties of Flysch Using Laboratory Methods. Engineering Geology, 166 (2013):81–89.

Uromeihy, A., and Barzegari, G., 2007. Evaluation and Treatment of Seepage Problems at Chapar-Abad Dam, Iran. Engineering Geology, 91(2):219-228.

United States Bureau of Reclamation 2011. Chapter 8: Seepage. Design Standards No. 13; Embankment Dams, USBR, Washington.

USDA 2012. Engineering Classification of Rock Materials. The U.S. Department of Agriculture, Washington.

USACE 1986. Seepage Analysis And Control For Dams. EM No. 1110-2-1901, Department of the Army U.S, Army Corps of Engineers, Washington.

USACE 1994. Rock Foundations. EM No. 1110-1-2908, Department of the Army U.S, Army Corps of Engineers, Washington.

USACE 1995. Construction Control for Earth and Rock-Fill Dams. EM No. 1110-2-1911, Department of the Army U.S, Army Corps of Engineers, Washington.

USACE 1995. Gravity Dam Design. EM No.1110-2-2200, Department of the Army U.S, Army Corps of Engineers, Washington.

USACE 2000. Roller-Compacted Concrete. EM No. 1110-2-2006, Department of the Army U.S, Army Corps of Engineers, Washington.

USSD 2011. Materials for Embankment Dams. Committee on Materials for Embankment Dams, Denver, Colorado, 135s.

Ward, C. R., and Kelly, B. F. J., 2013. Background Paper on New South Wales Geology. Unisearch Expert Opinion Services, Australia, 87s.

Widodo., L. E., Cahyadi T. A., Notosiswoyo, S., and Widijanto, E., 2016. Application of Clustering System to Analyze Geological, Geotechnical and Hydrogeological Data Base According to HC-System Approach. 9th Asian Rock Mechanics Symposium, Bali, Indonesia.

Whang, X., Yu, H., Lv, P., Wang, C., Zhang, J., and Yu, J., 2019. Seepage Safety Assessment of Concrete Gravity Dam Based on Matter-Element Extension Model and FDA. Energies, 12(3):502.

Wijayawardhana, H. M. J. T., 2015. A Study on Most Suitable Slurry Cutoff Wall Material to Mitigate Seepage in Vendrasan Dam, Trincomalee. Master of Engineering in Foundation Engineering & Earth Retaining Systems, University of Moratuwa, Sri Lanka, 84s.

Xie, H.-W., and Chen, Y,-L., 2005. Determination of the Type and Thickness for Impervious Layer in RCC Dam. Advances in Engineering Software,36(8):561-566.

Xu, H., Zhu, W., Qian, X., Wang, S., and Fan, X., 2016. Studies on Hydraulic Conductivity and Compressibility of Backfills for Soil-bentonite Cutoff Walls. Applied Clay Science, 132(12):326-335.

Zydroń, T., Demczuk, P., and Gruchot, A., 2022. Assessment of Landslide Susceptibility of the Wiśnickie Foothills Mts.(The Flysch Carpathaians, Poland) Using Selected Machine Learning Algorithms. Frontiers in Earth Sciences, 10:1-22.

Zainab, M., Mohamed, K., and Gye-Chun, C., 2007. Uniaxial Compressive Strength of Composite Rock Material with Respect to Shale Thickness Ratio and Moisture Content. Electron Journal of Geotechical Engineering, 12 (Bundle E):ppr0750.

Yan, L., Trapp, D. A., and Sy, A., 2008. Construction of a Plastic Concrete Seepage Cutoff Wall for the New Coquitlam Dam. 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, Virginia, USA.

Yılmaz, A. N., 2017. Assessment of Performance of Draınage Systems in Earth-Fill Dams. Master of Science, Middle East Technical University, Ankara, 112s.

Zeigler, T. W., 1976. Deterıination of Rock Mass Permeability (Technical Report S-76-2). U.S. Army, Washington, 112s.

Zhang, H.-Y., Song, Z., Peng, P., Sun, Y., Ding, Z., and Zhang, X., 2021. Research on Seepage Field of Concrete Dam Foundation Based on Artificial Neural Network. Alexandria Engineering Journal, 60(1):1–14.

Zhang, K., Xu, L., Qiu, L., Tan, J., Yang, C., and Zhang, K., 2021. Numerical Analysis of Concrete Gravity Dam Seepage Characteristics Evolution considering the Calcium Leaching Effect. Advances in Civil Engineering, 2021(3):1-21.

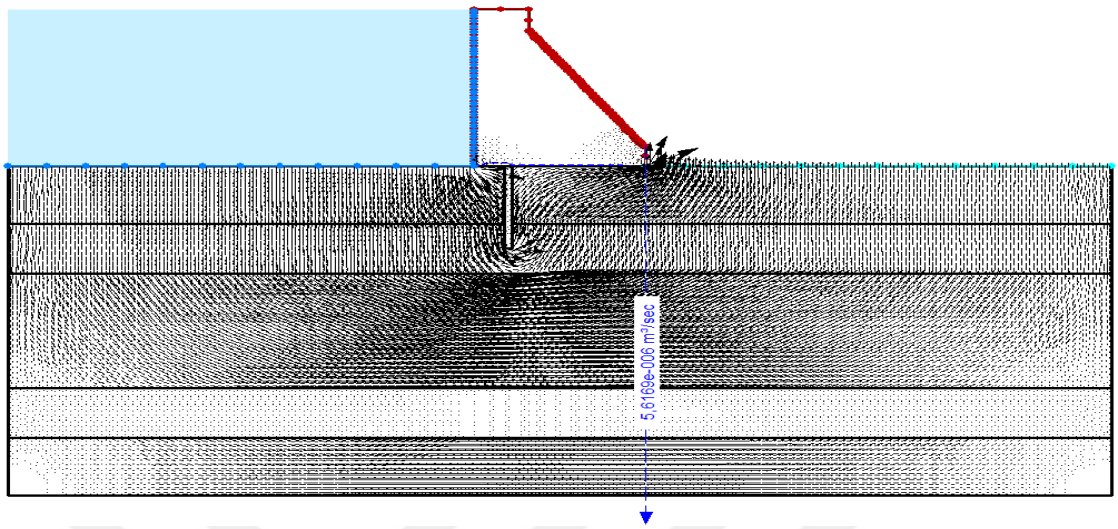
Zhang, M., Yao, D., Lu, H., and Wang, H., 2020. Solution of Seepage Field in Different Soil Layers of Concrete Dam Foundation by Flow Net Method. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 546(5):052053.

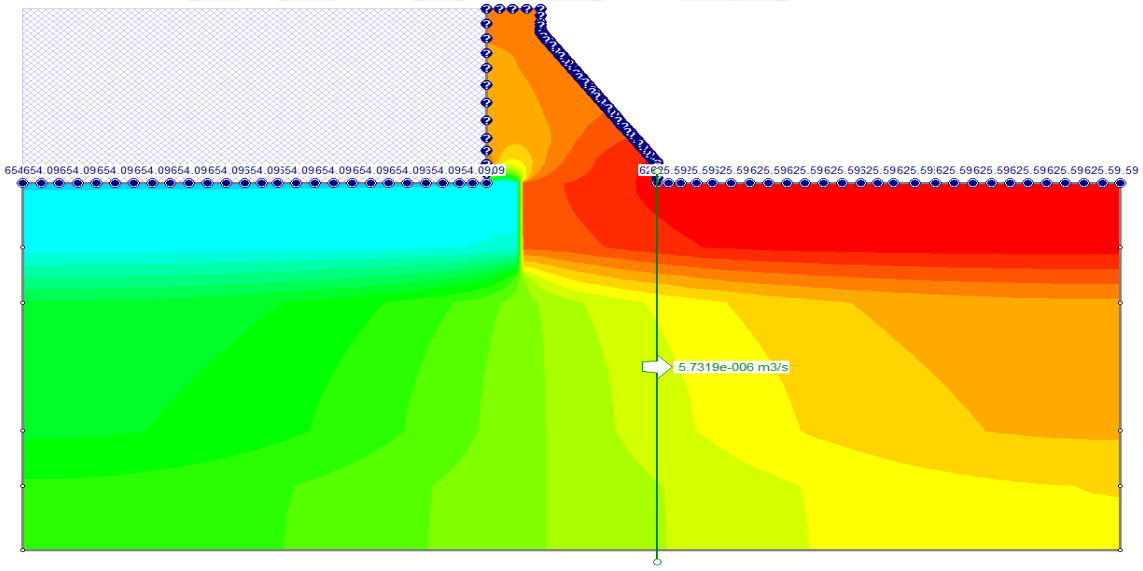
ÖZGEÇMİŞ

Şerife Duygu BABACAN. İlkokul, Ortaokul ve Lise eğitimlerini Tarsus'ta tamamladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2002 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2004 yılında tamamladı. Yazar 2004 yılında DSİ Genel Müdürlüğü'nde göreve başladı. Halen İçmesuyu ve Atıksu Dairesi Başkanlığı'nda Y. İnş. Müh. olarak görev yapmaktadır.

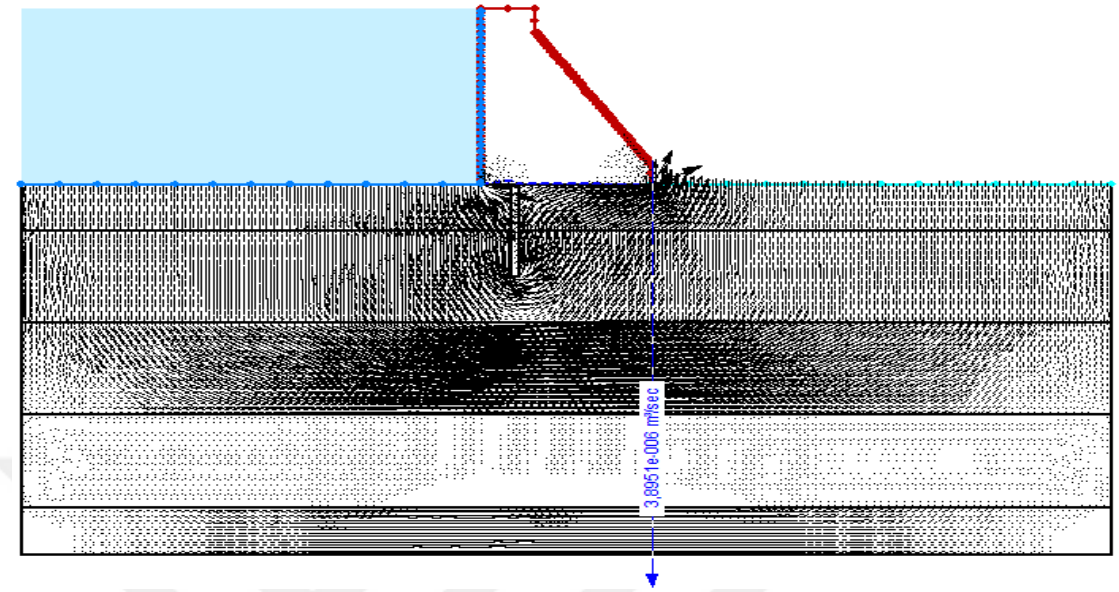
EKLER

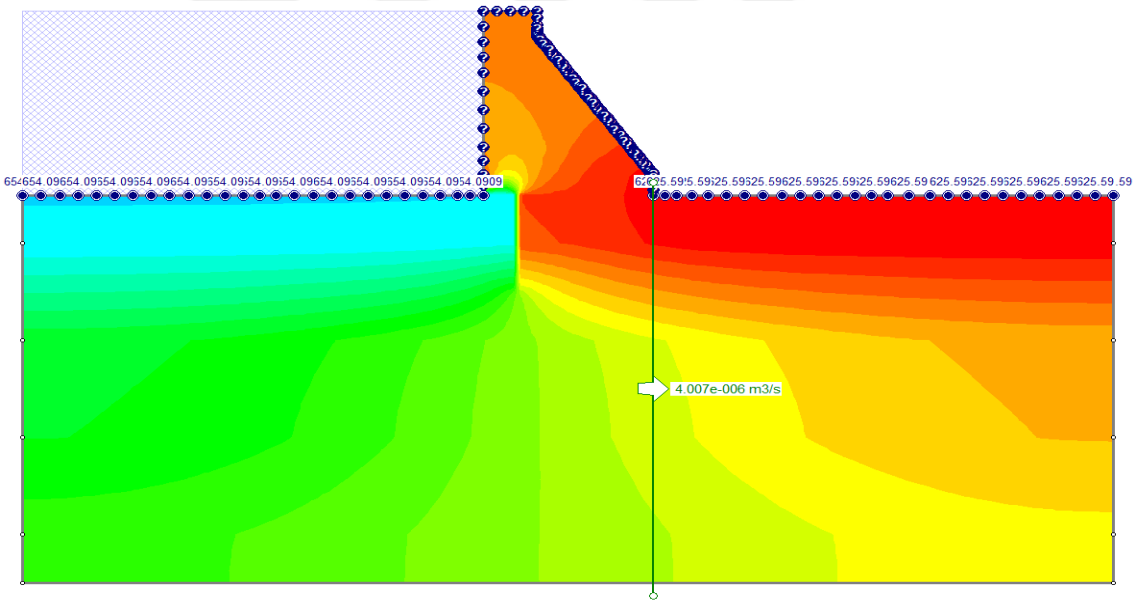
EK-A1 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perde Derinliğindeki Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



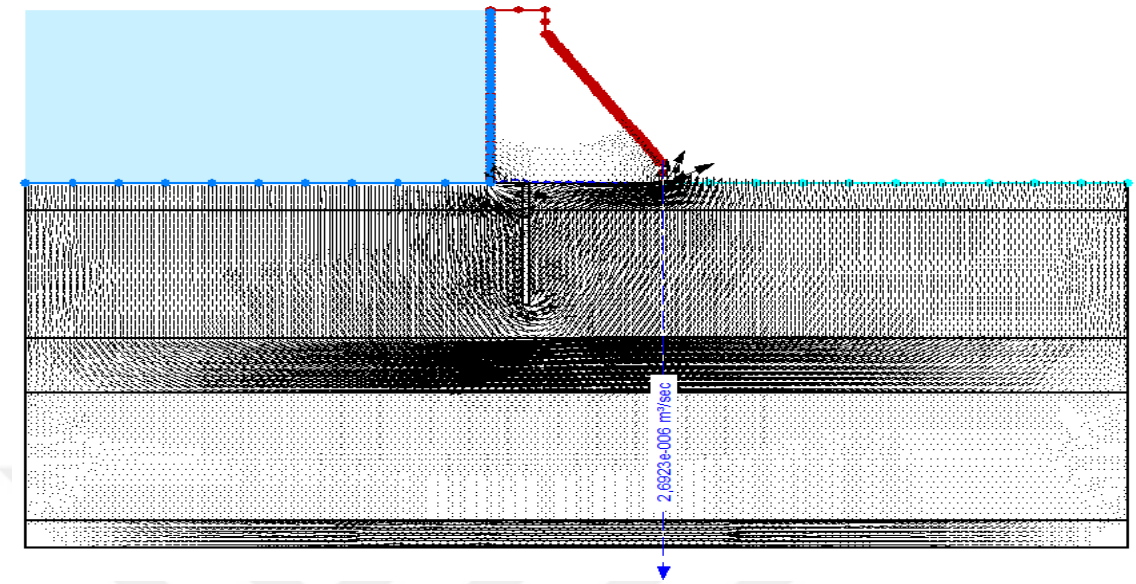


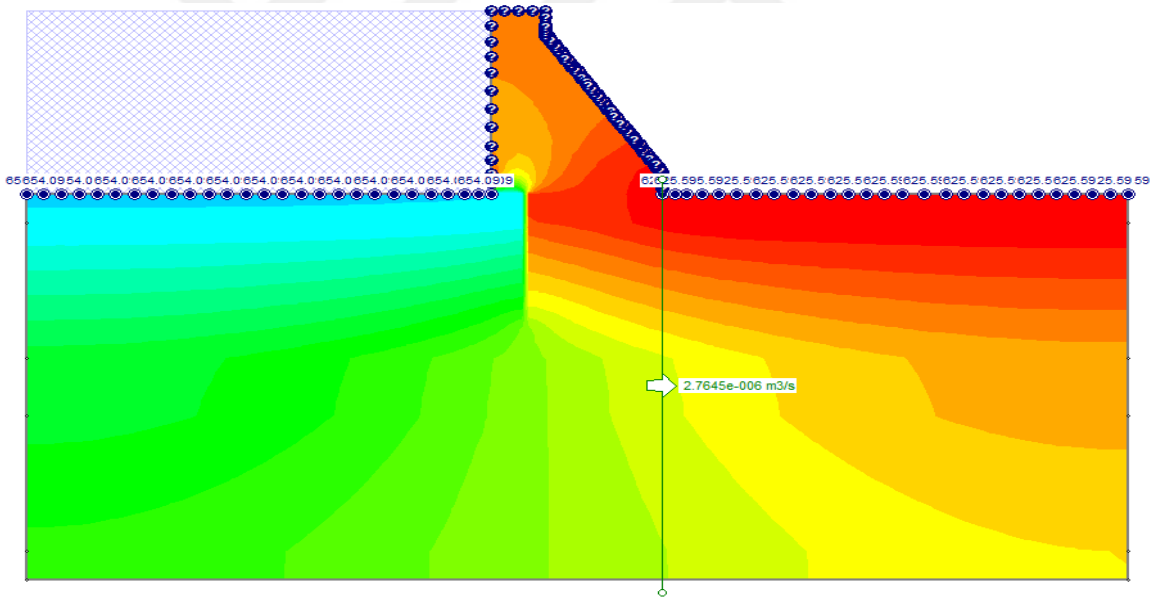
EK-A2 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perde Derinliğindeki Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



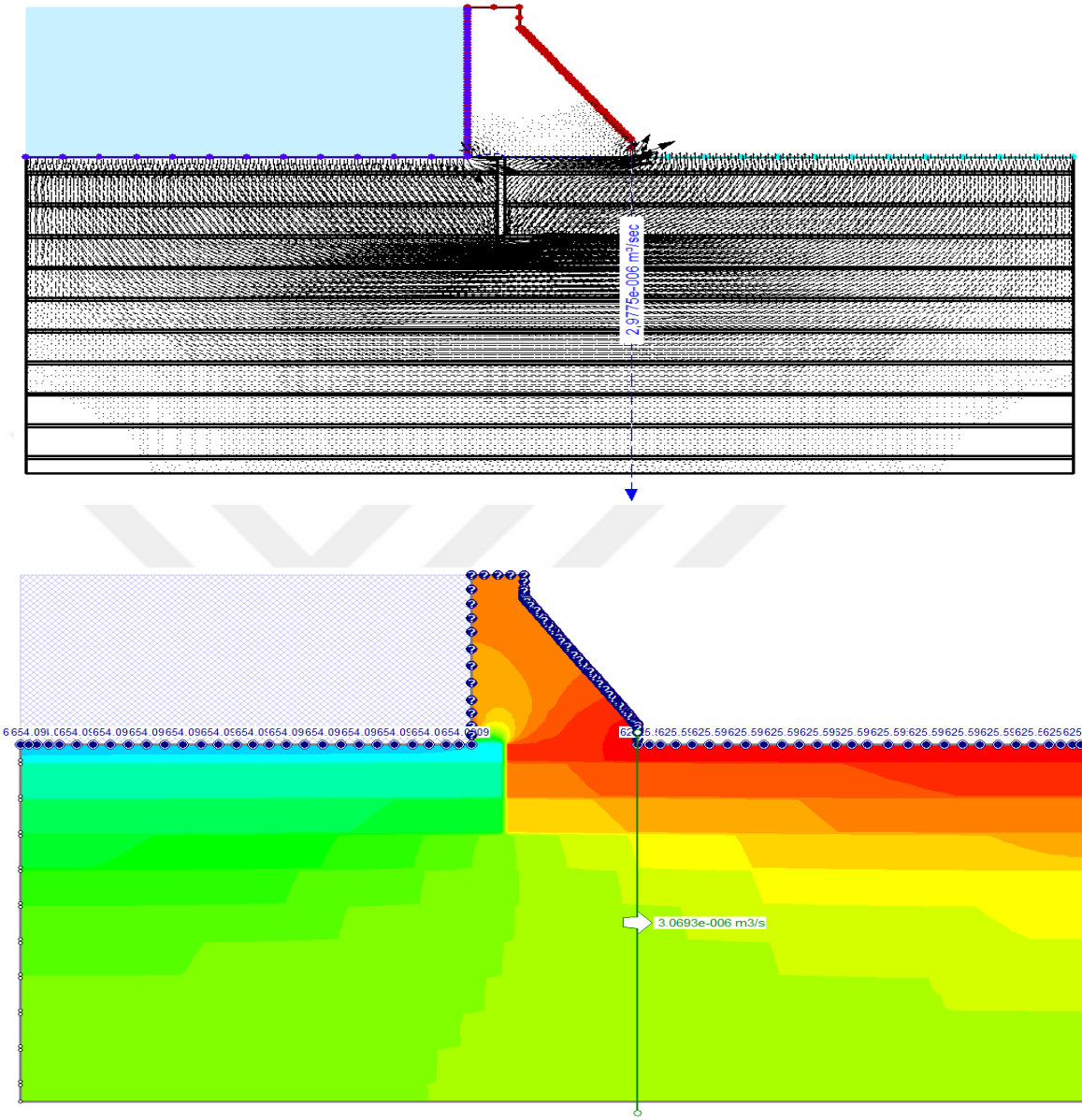


EK-A3 Senaryo-1b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

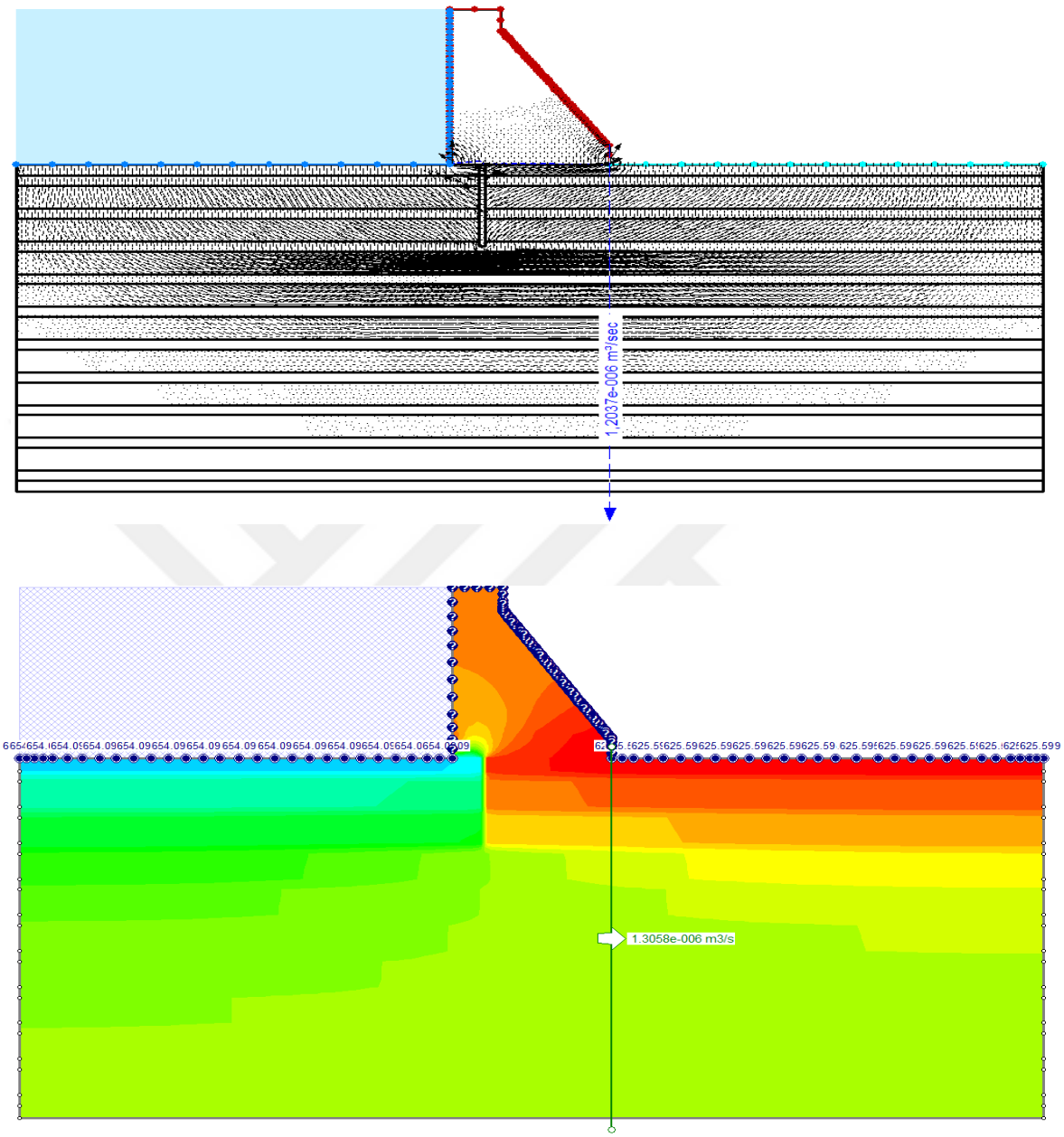




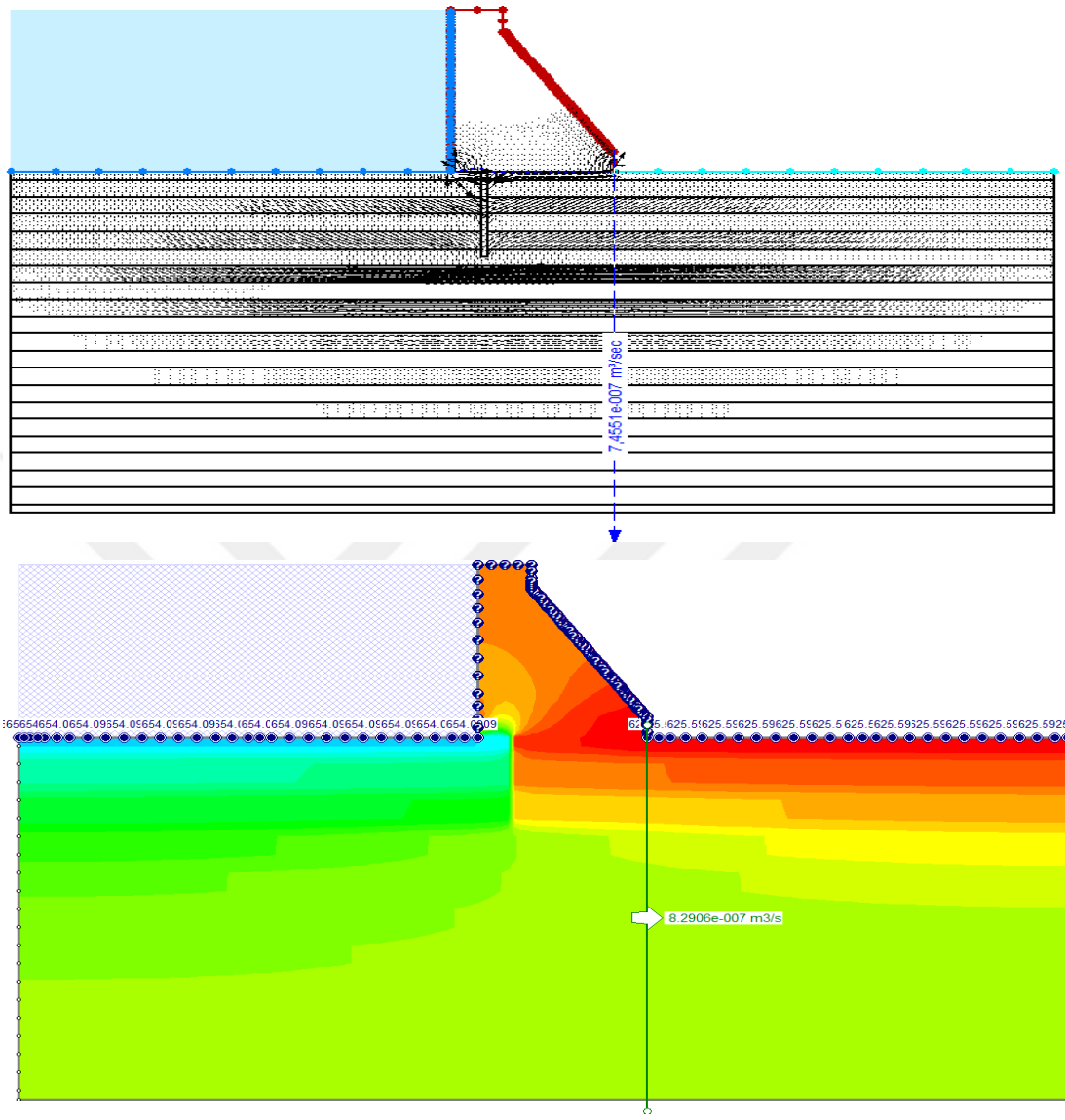
EK-B1 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



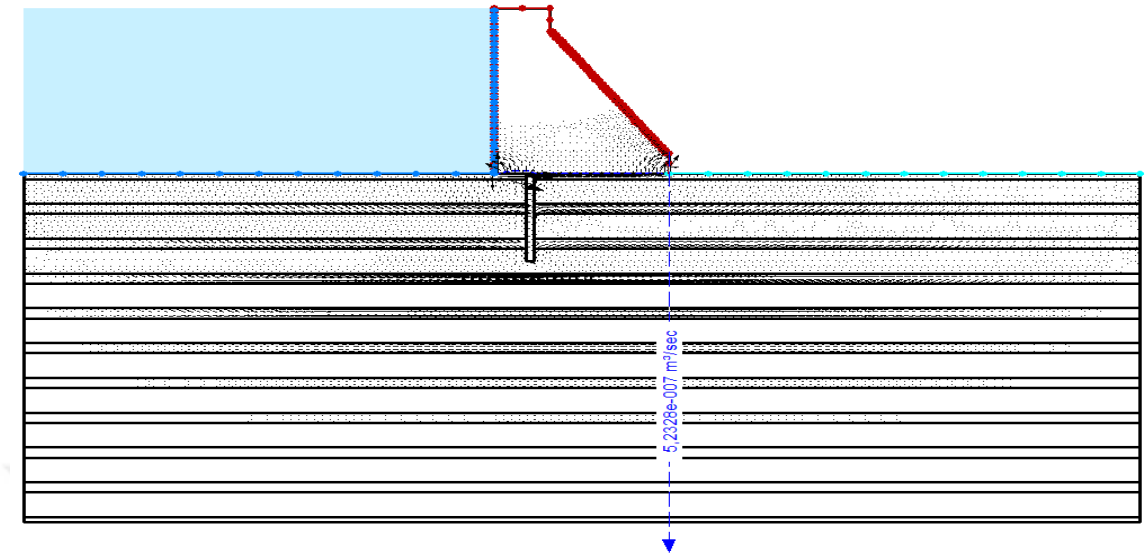
EK-B2 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

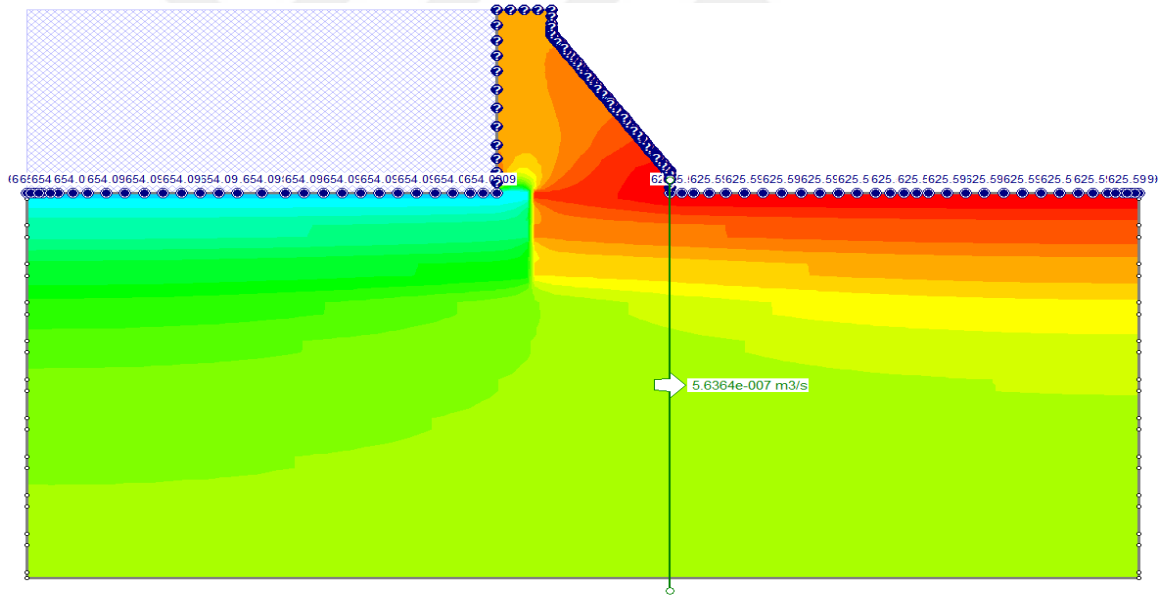


EK-B3 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

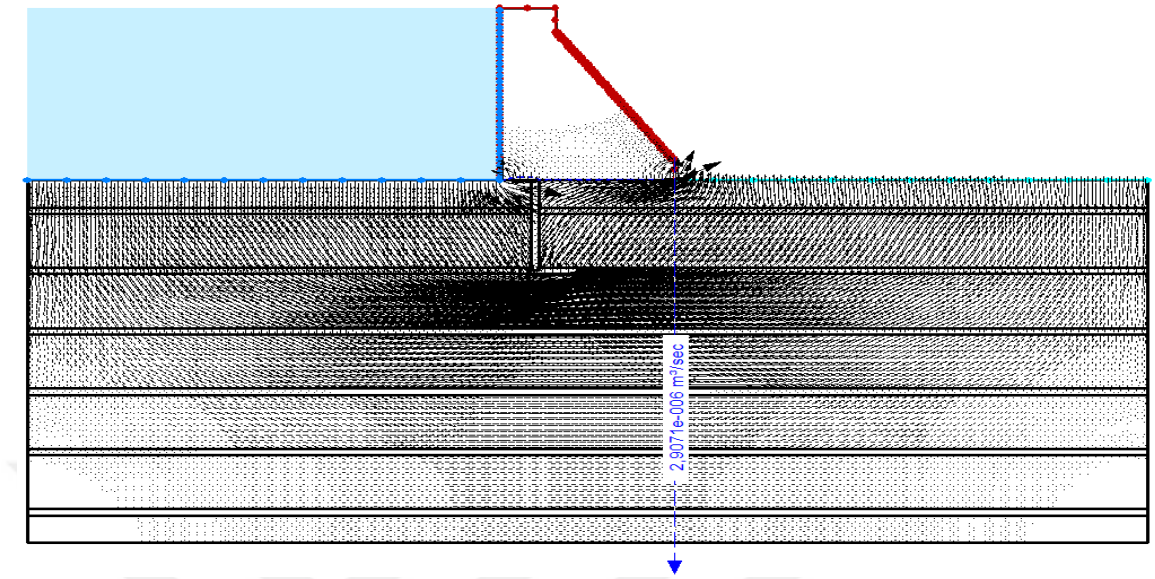


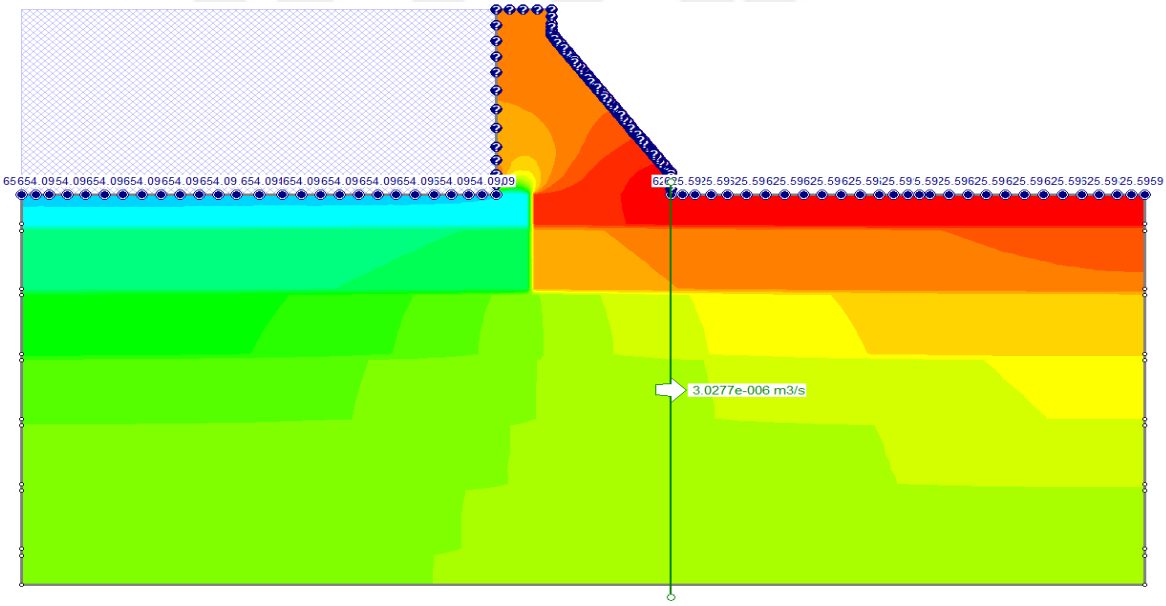
EK-B4 Senaryo-1c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



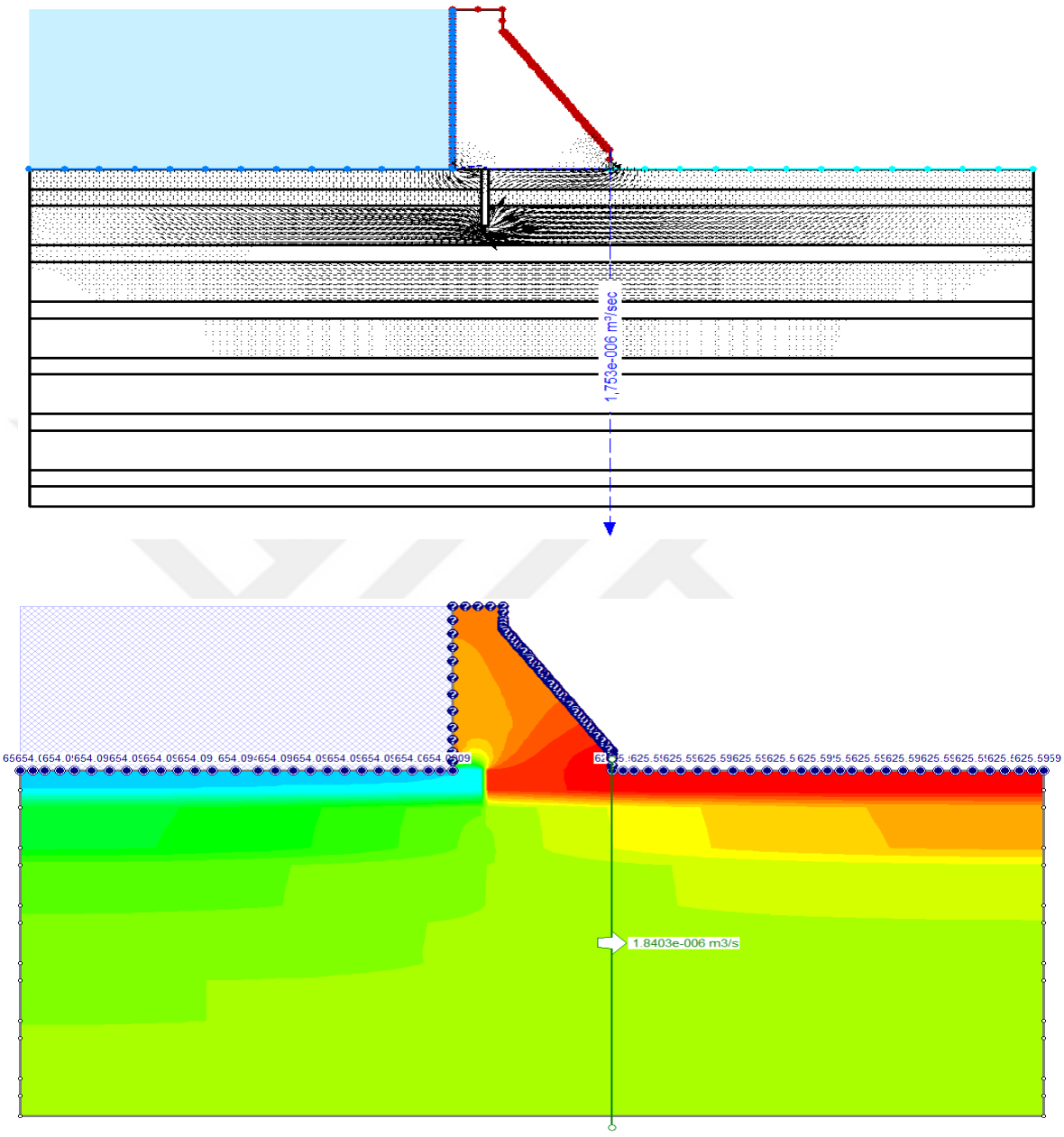


EK-B5 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

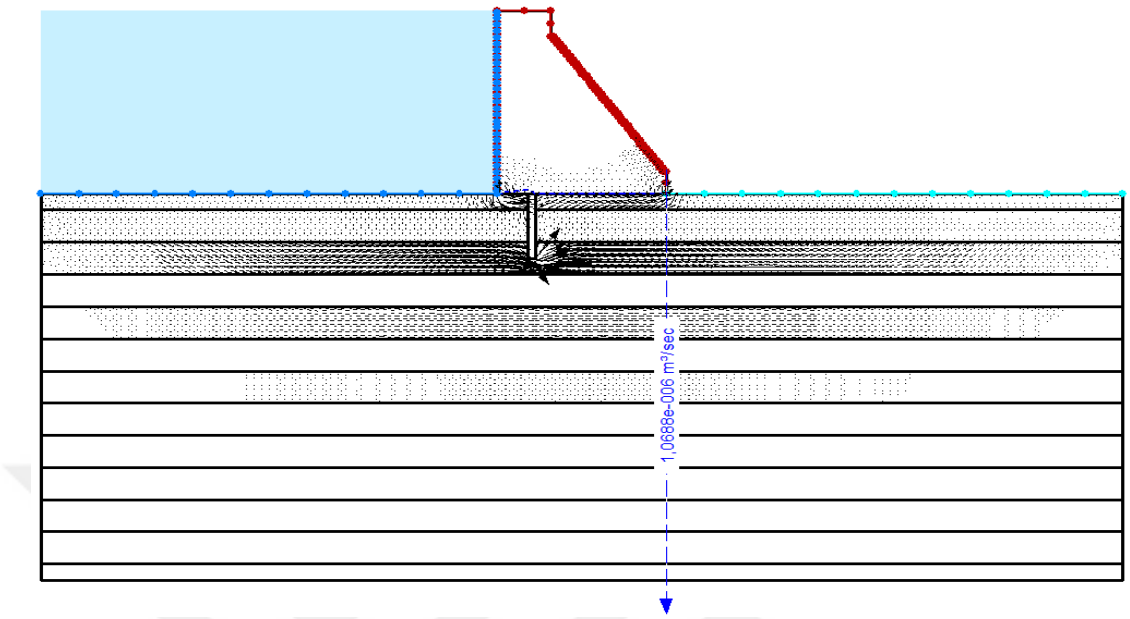


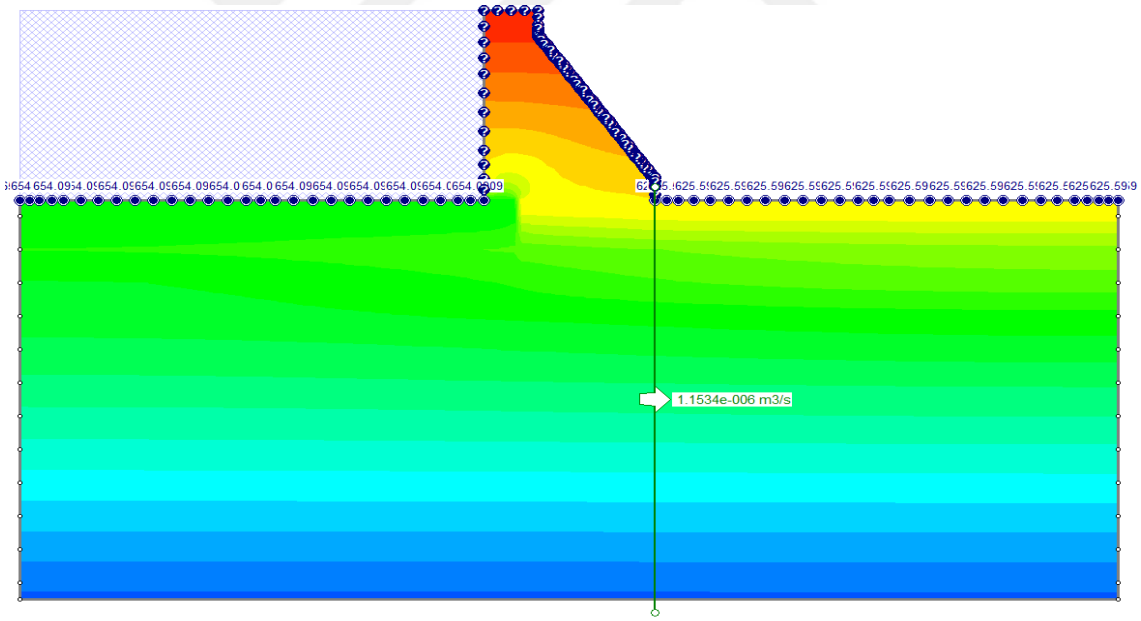


EK-B6 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

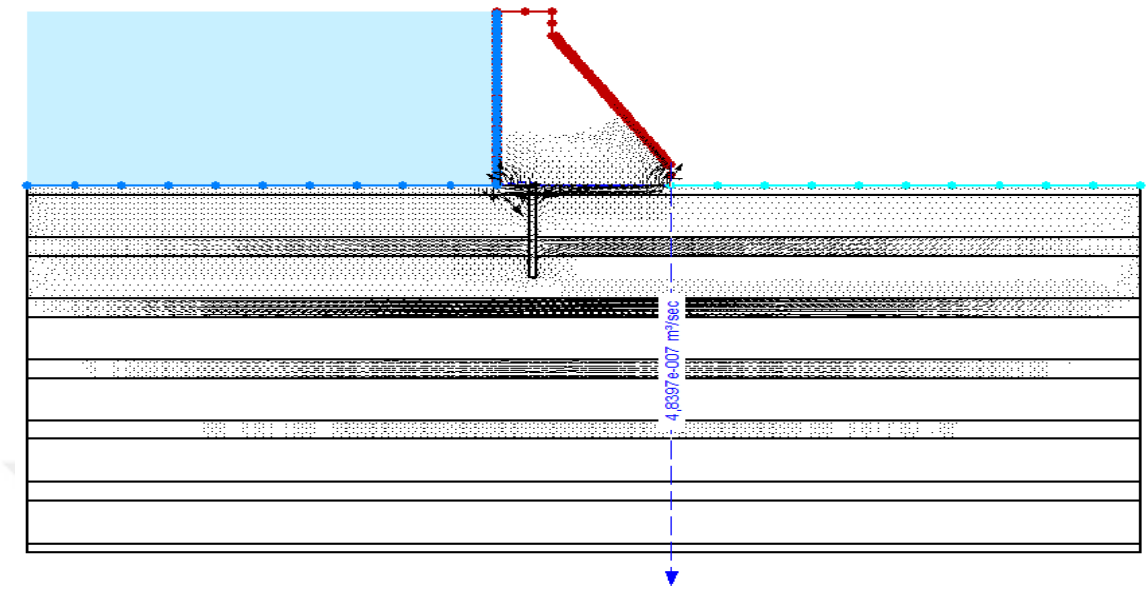


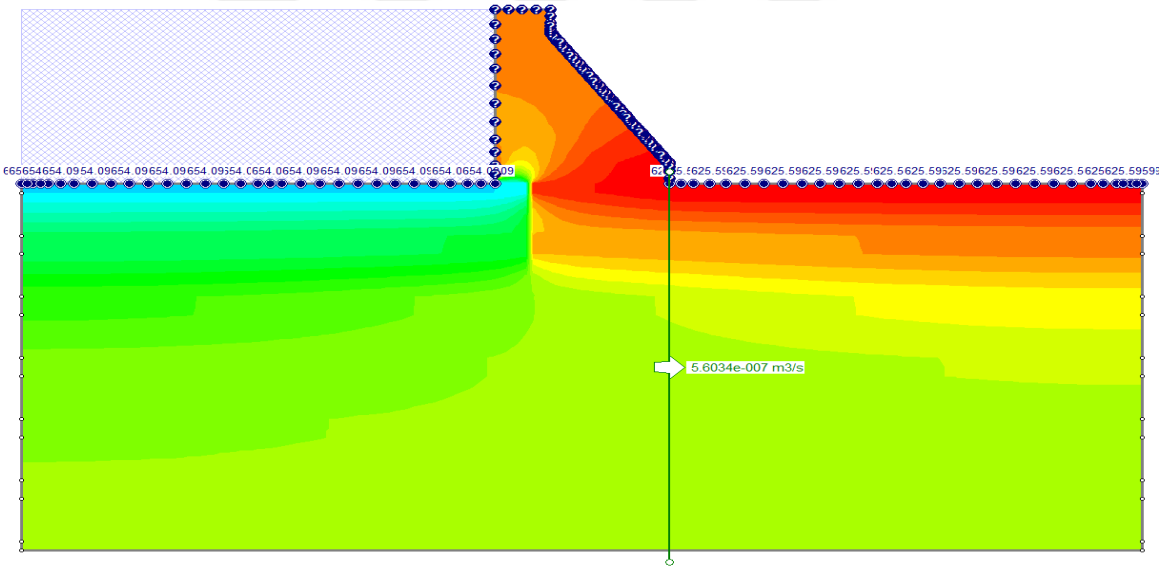
EK-B7 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



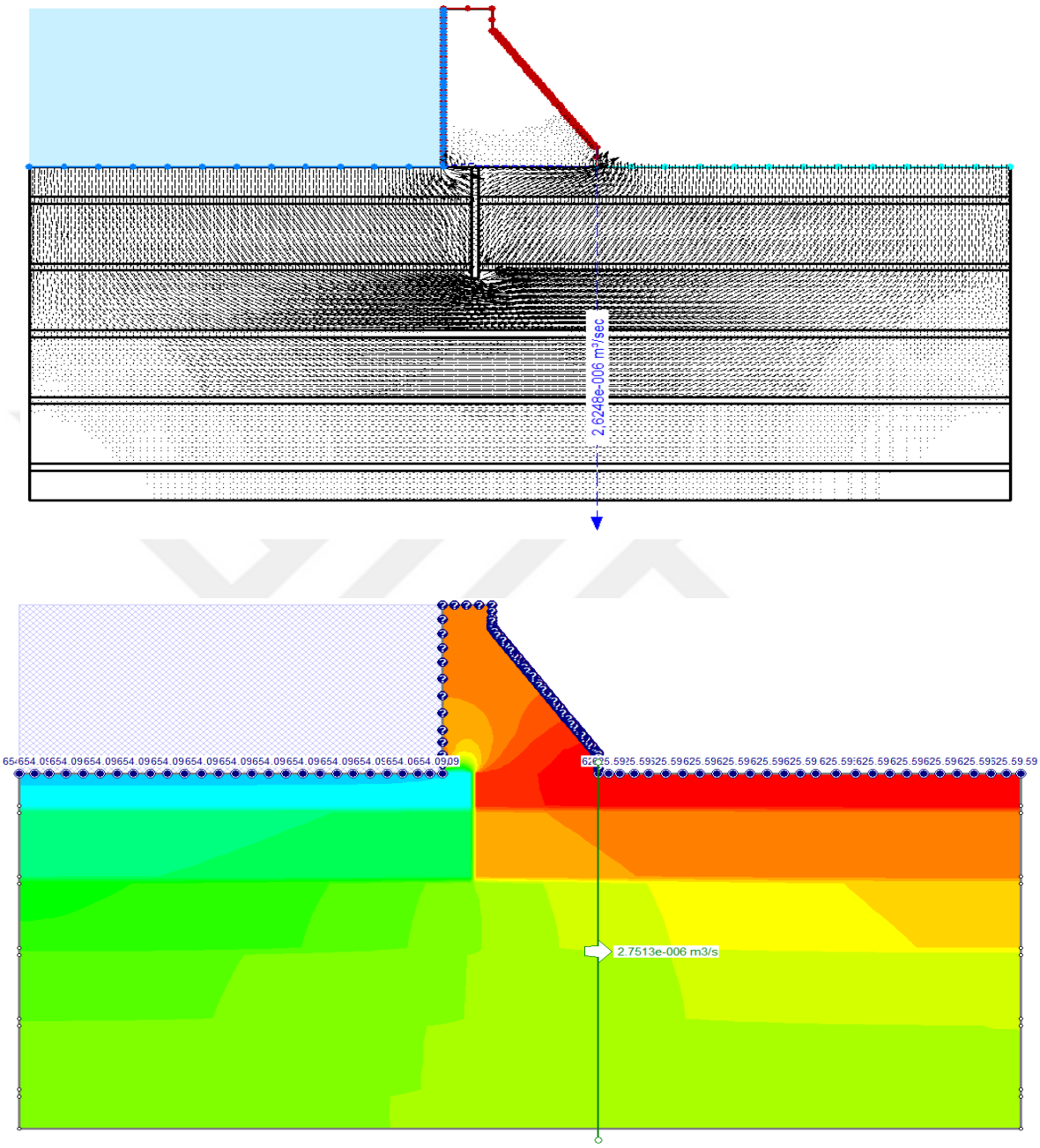


EK-B8 Senaryo-1c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

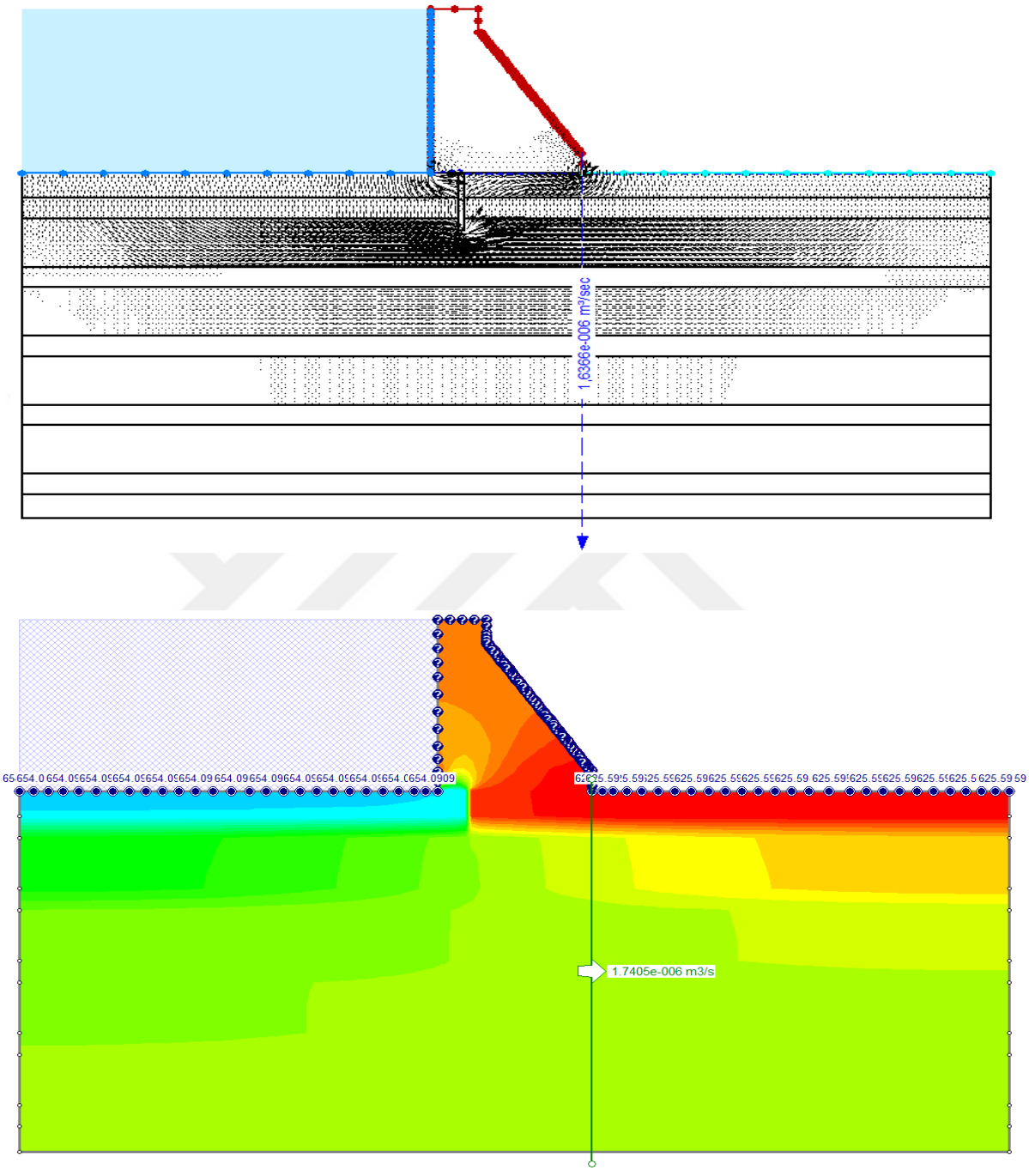




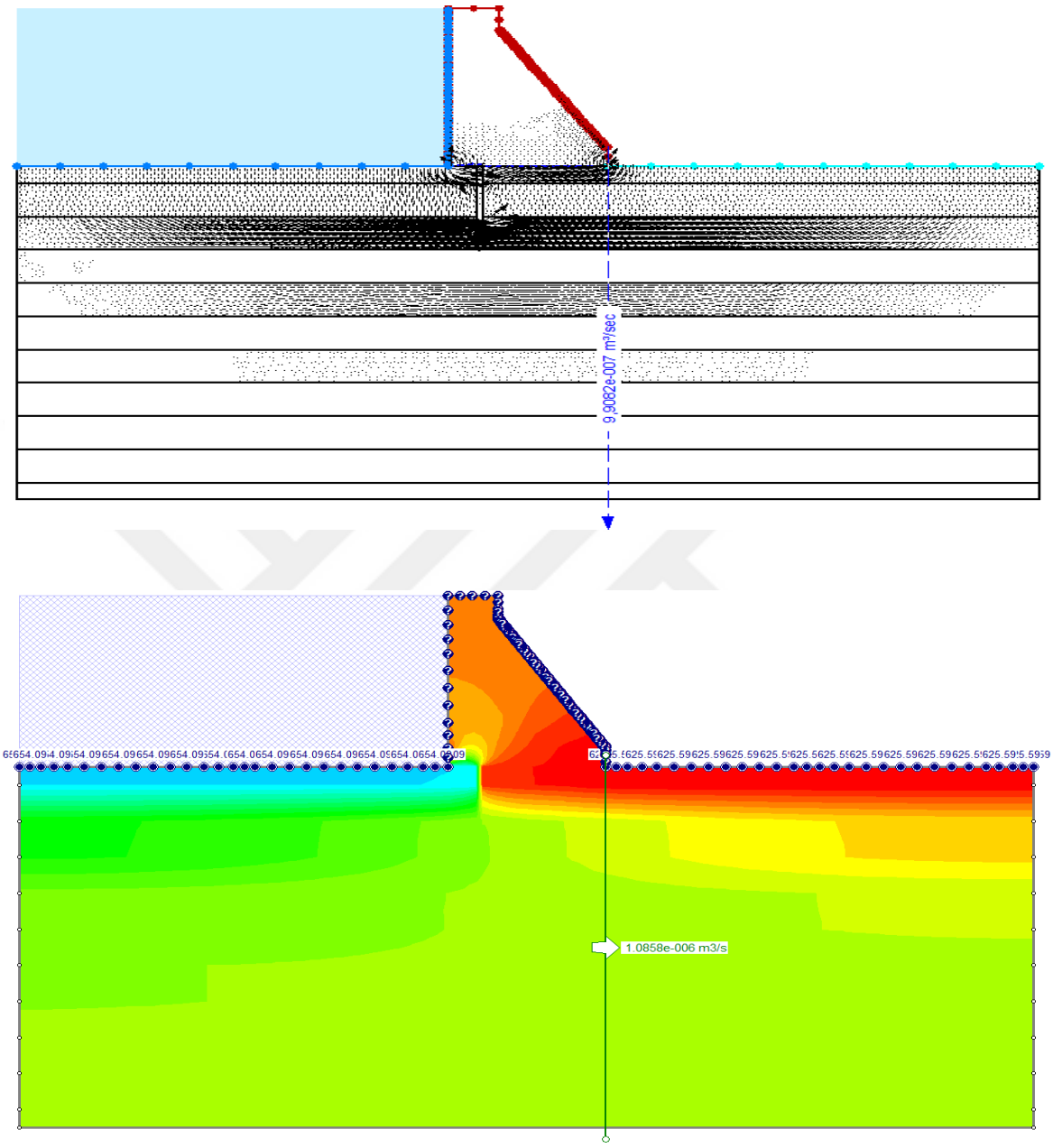
EK-B9 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



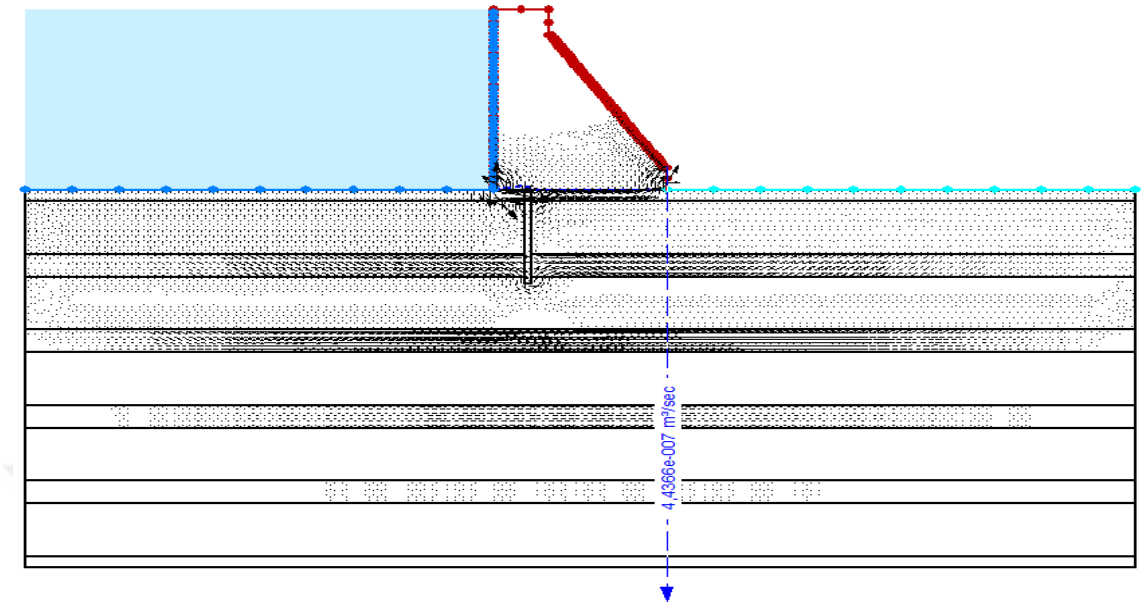
EK-B10 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

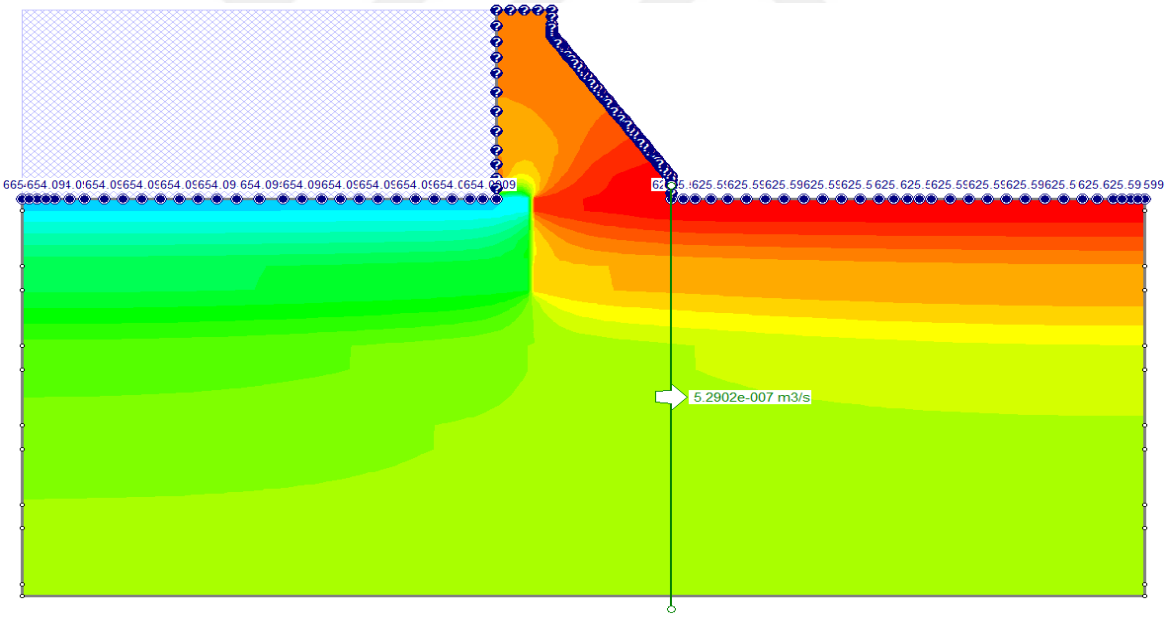


EK-B11 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

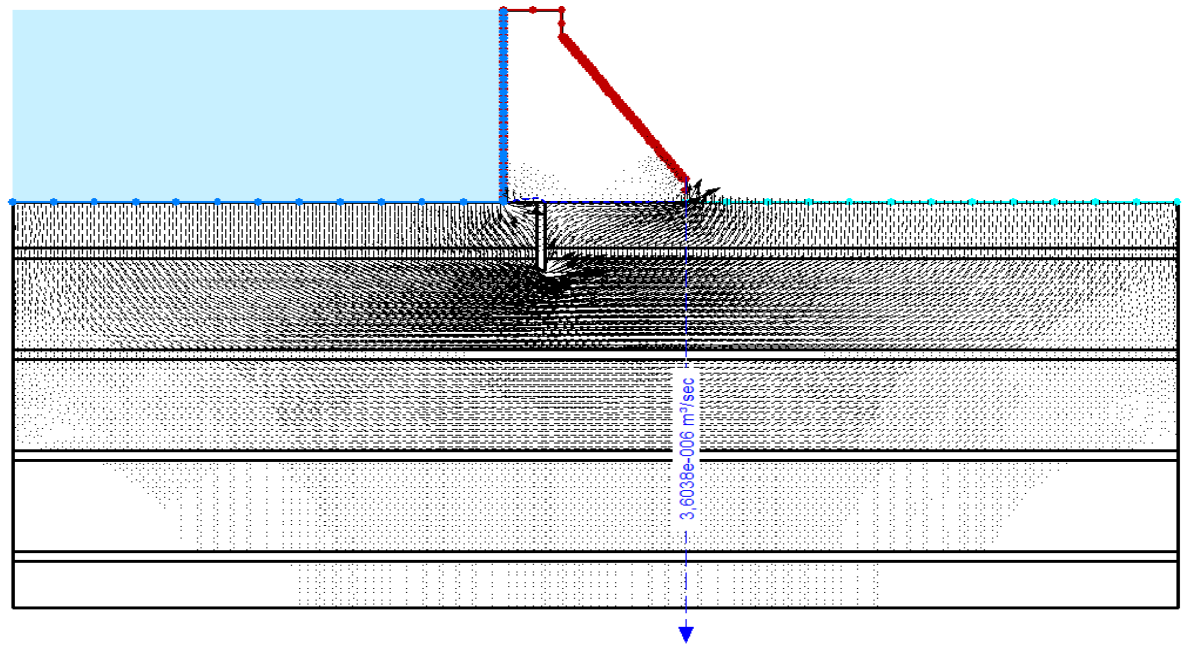


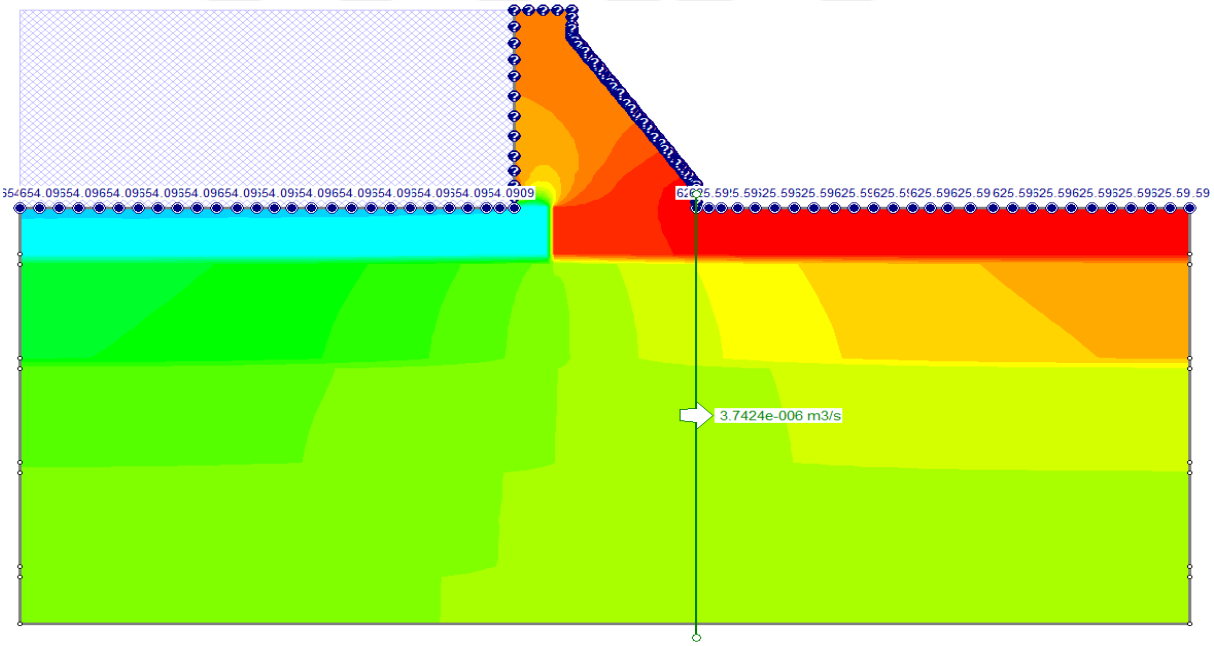
EK-B12 Senaryo-1c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



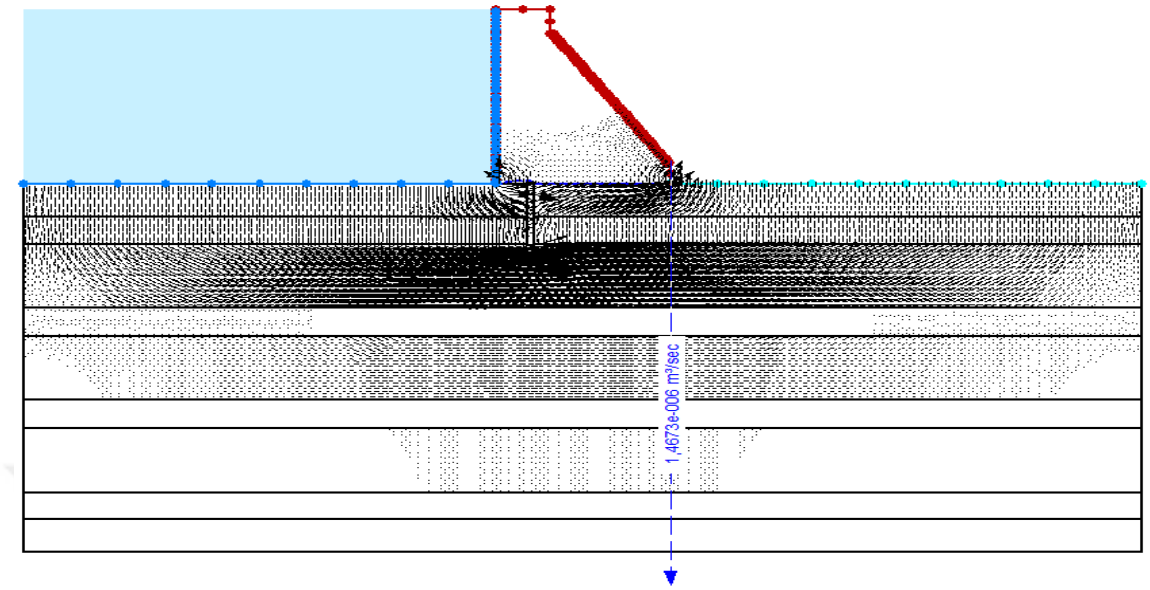


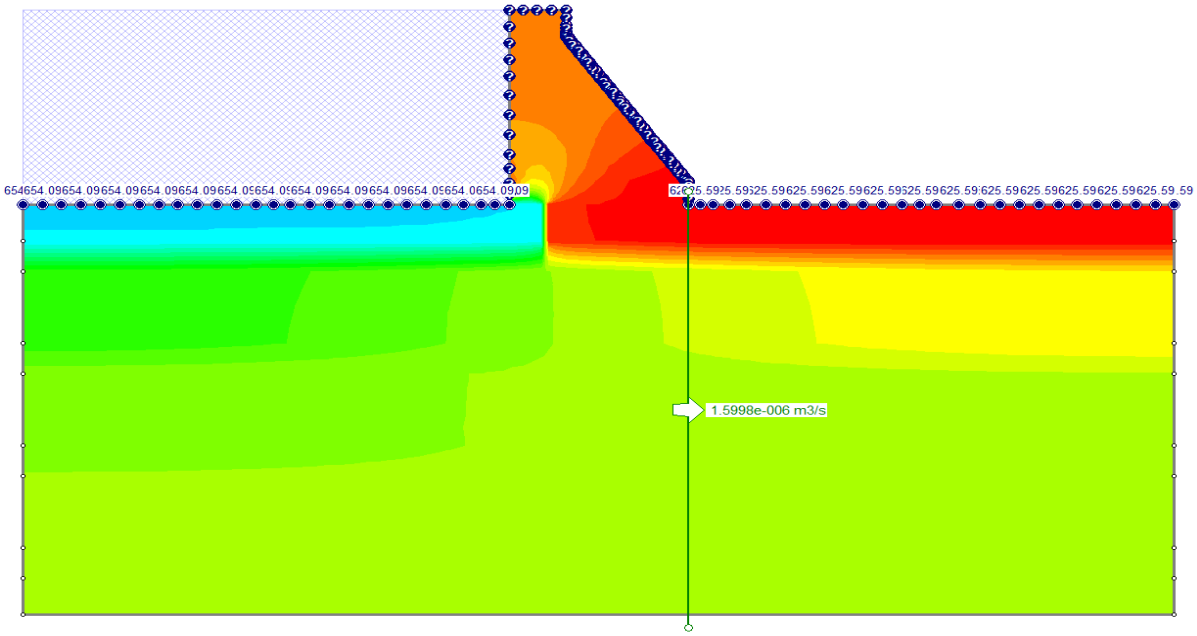
EK-B13 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



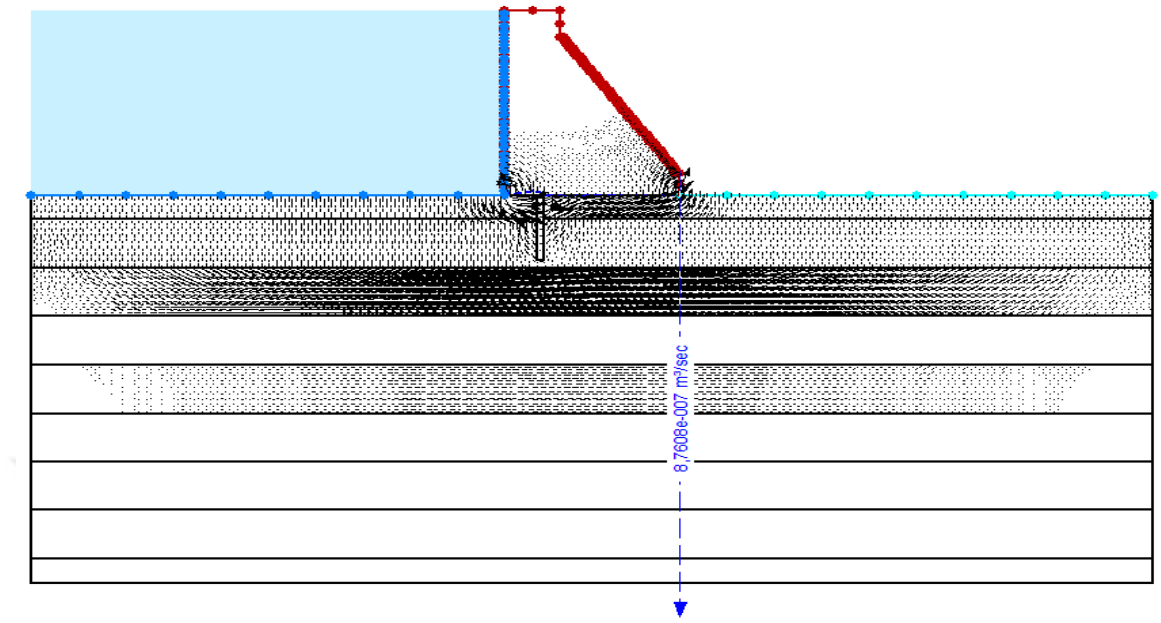


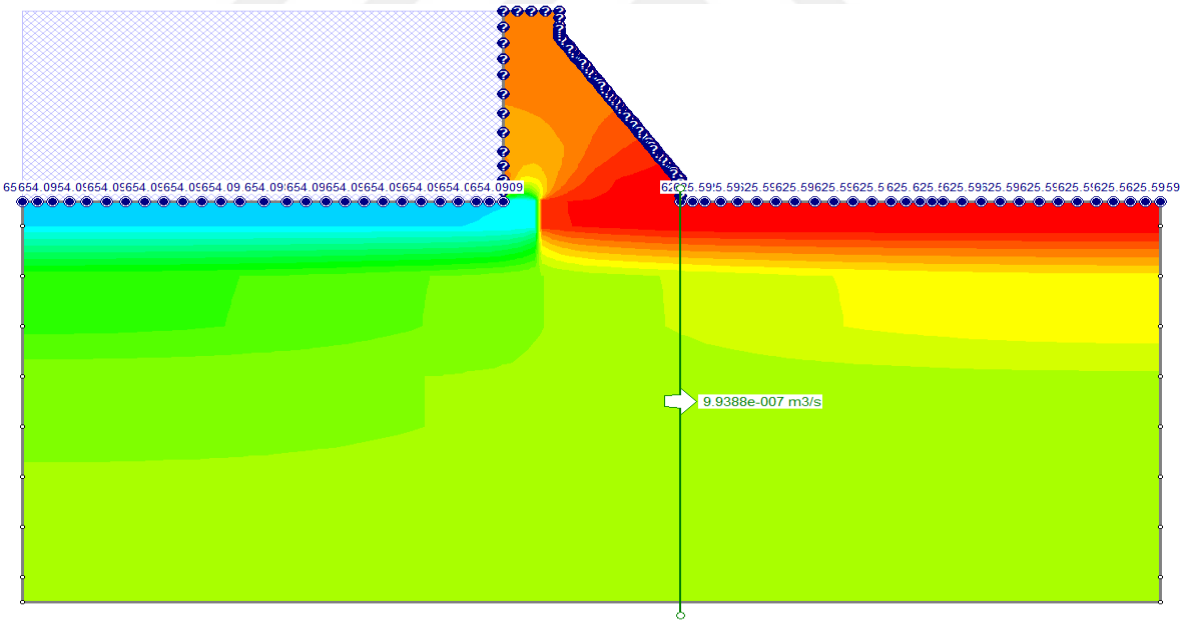
EK-B14 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



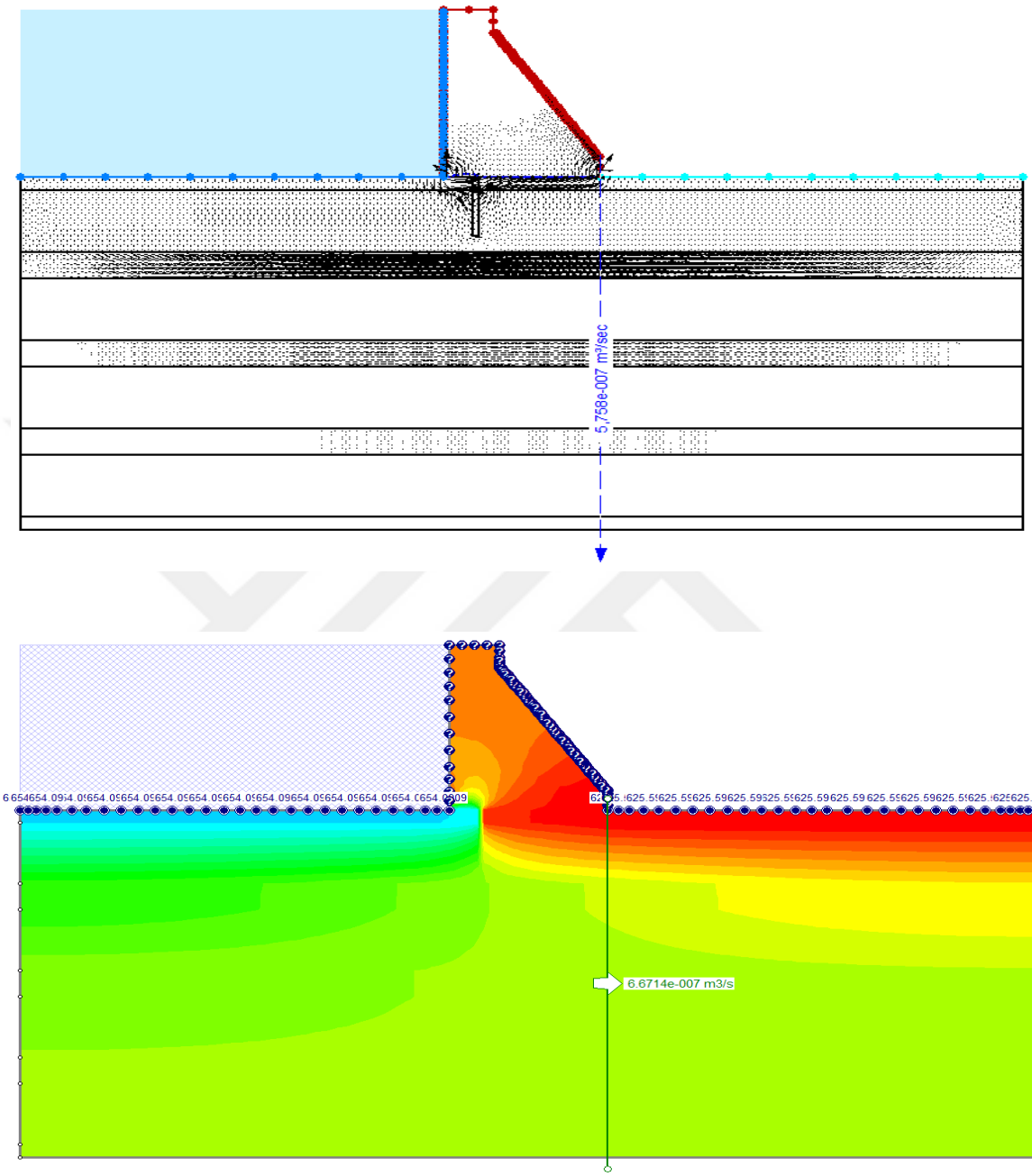


EK-B15 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

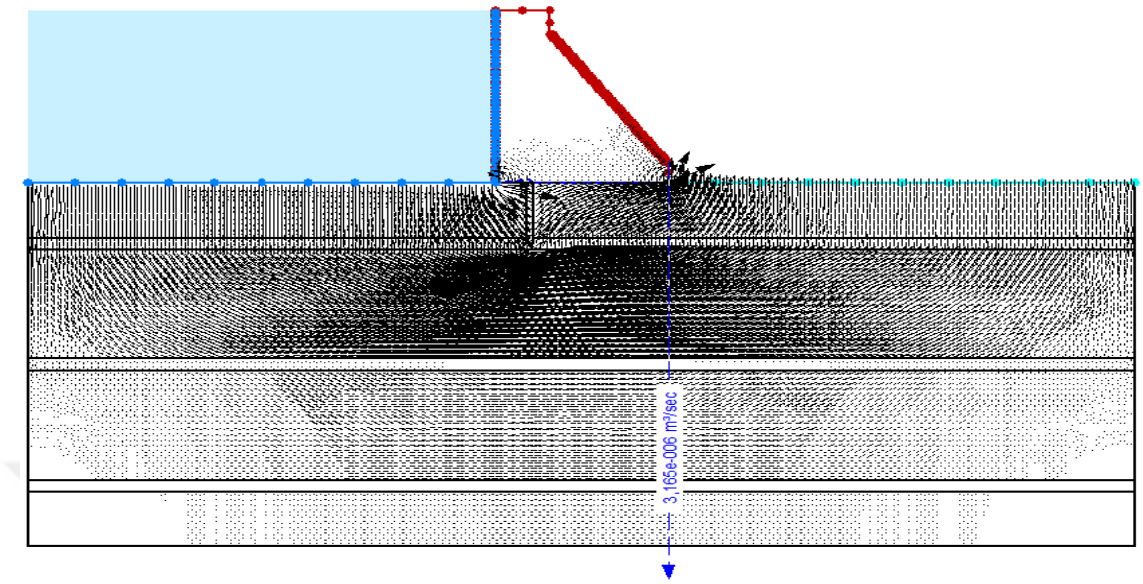


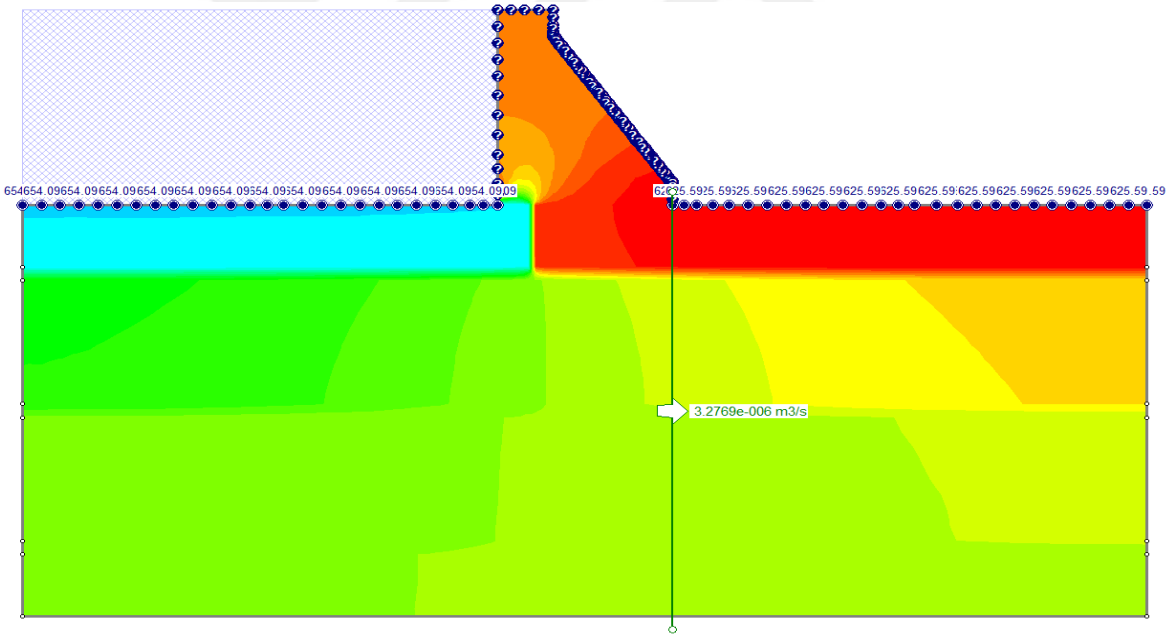


EK-B16 Senaryo-1c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

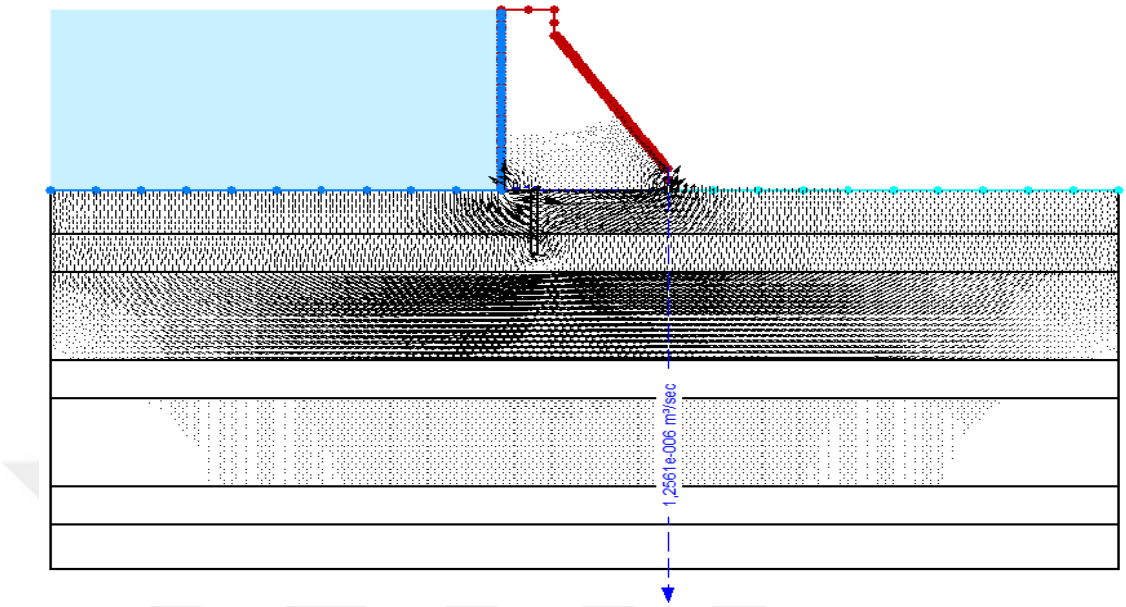


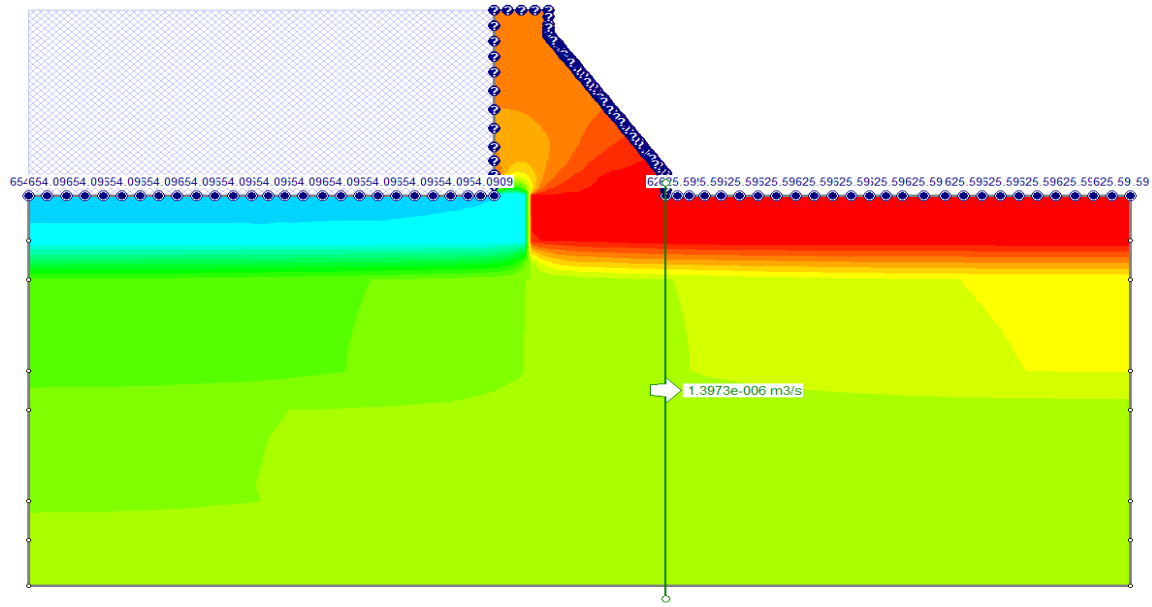
EK-B17 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



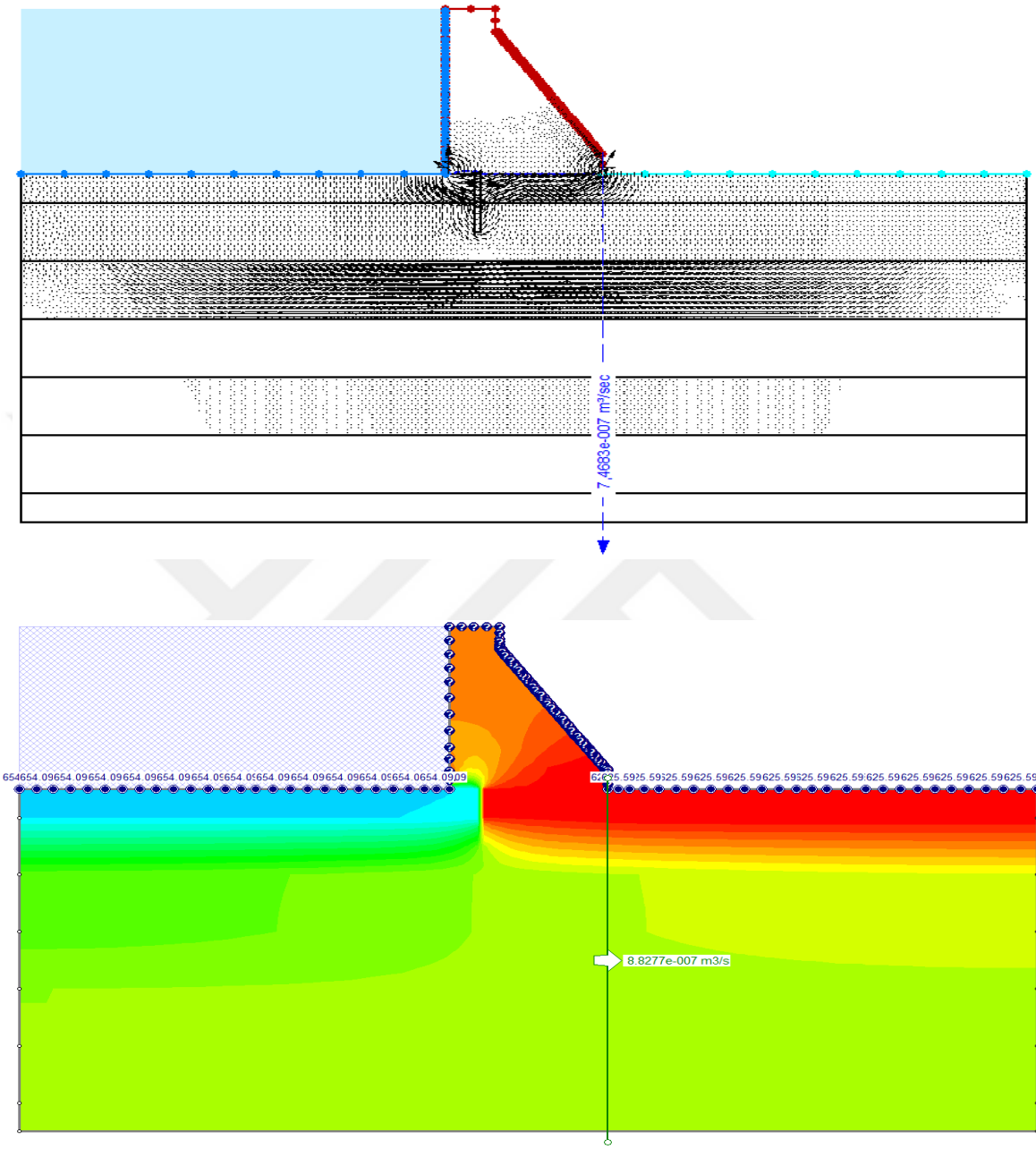


EK-B18 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

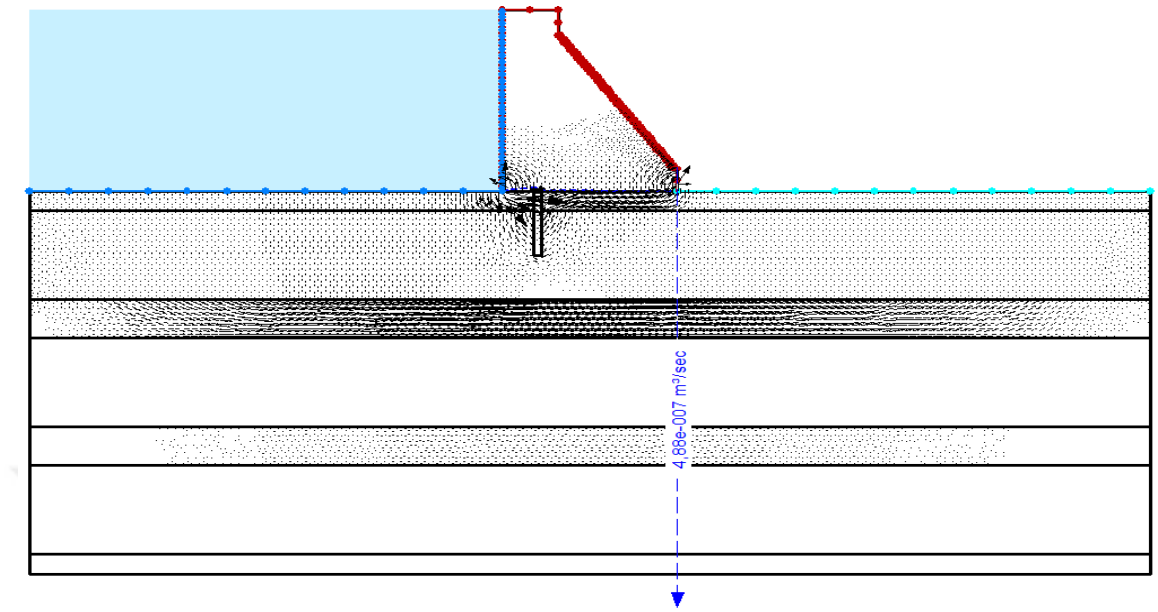


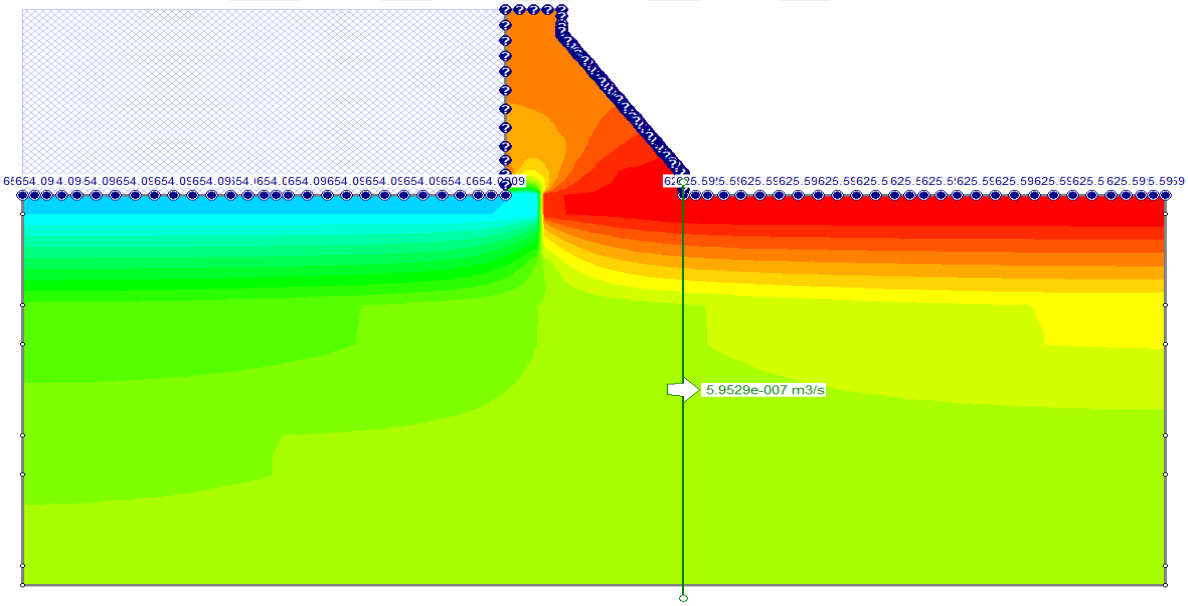


EK-B19 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

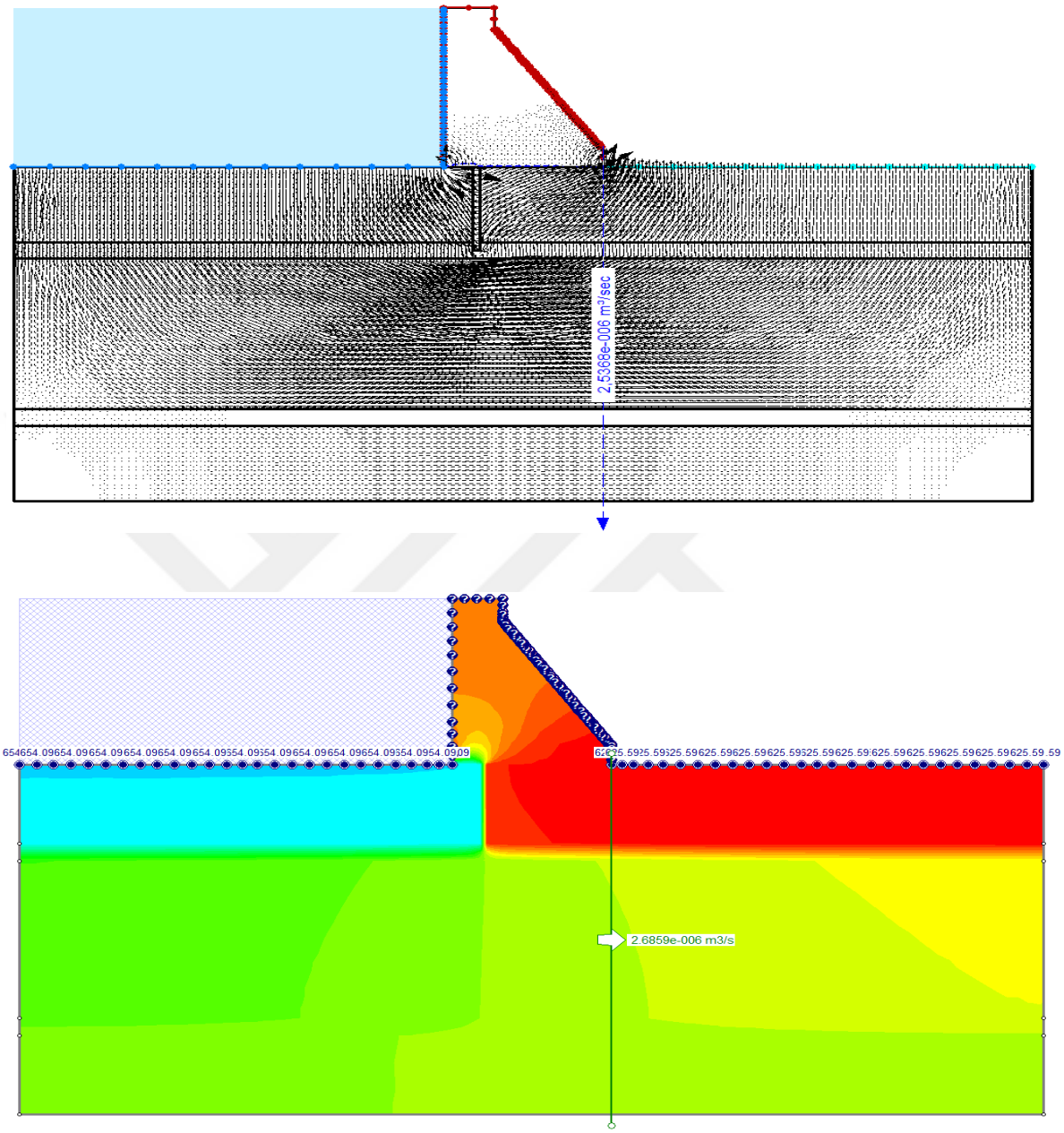


EK-B20 Senaryo-1c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

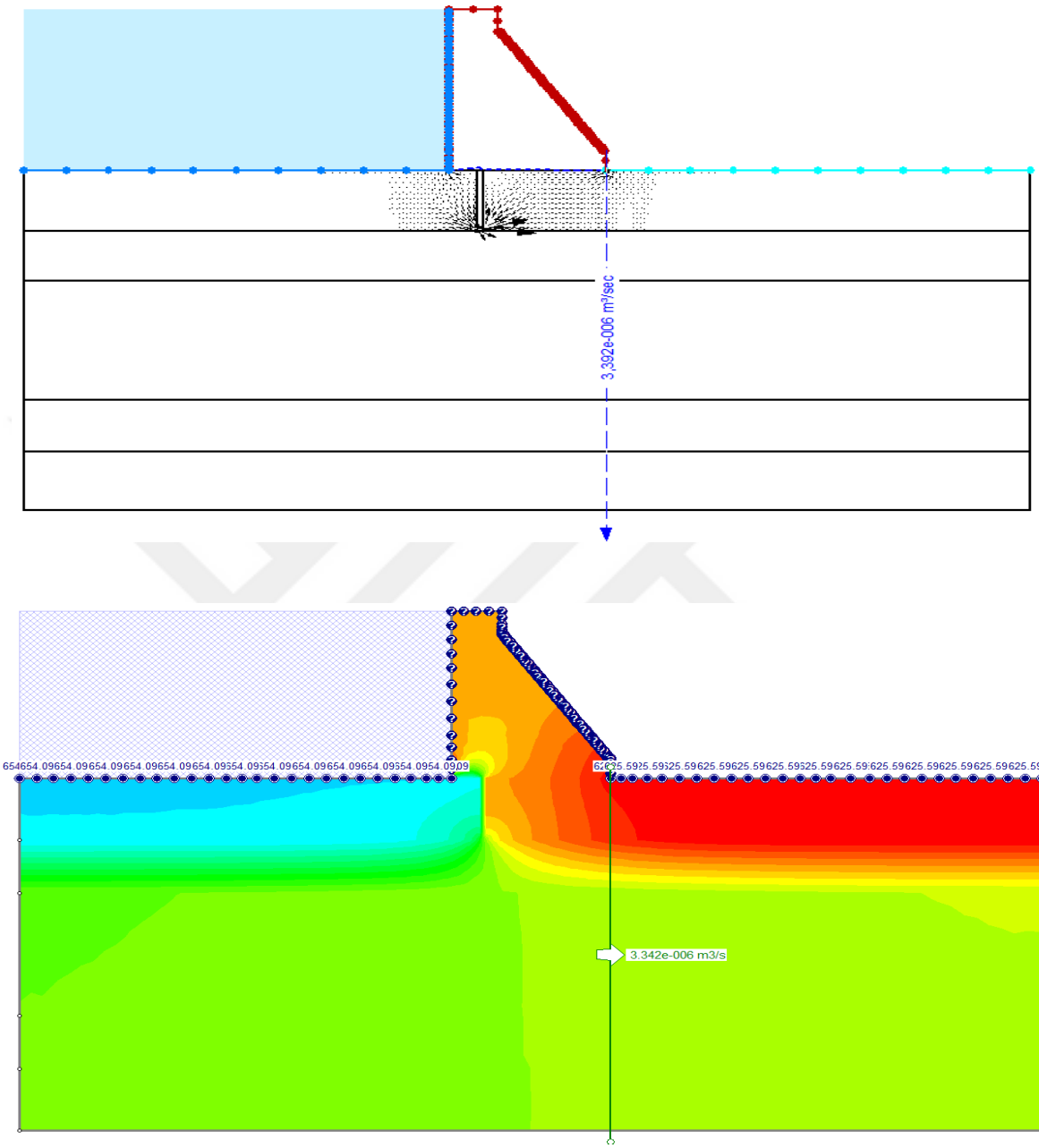




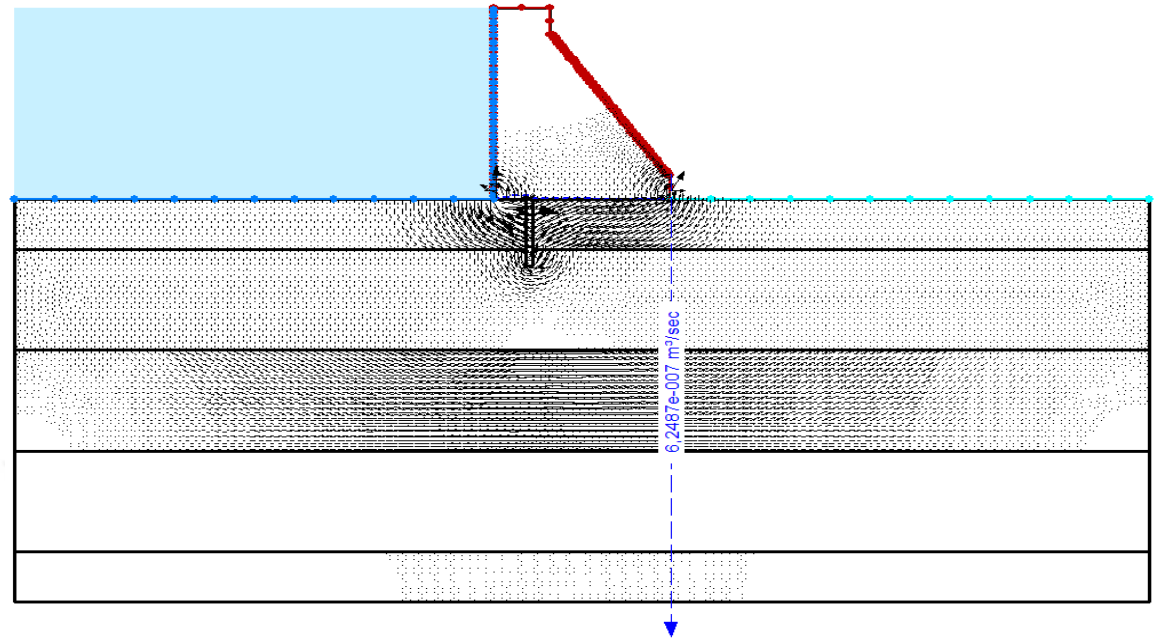
EK-B21 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

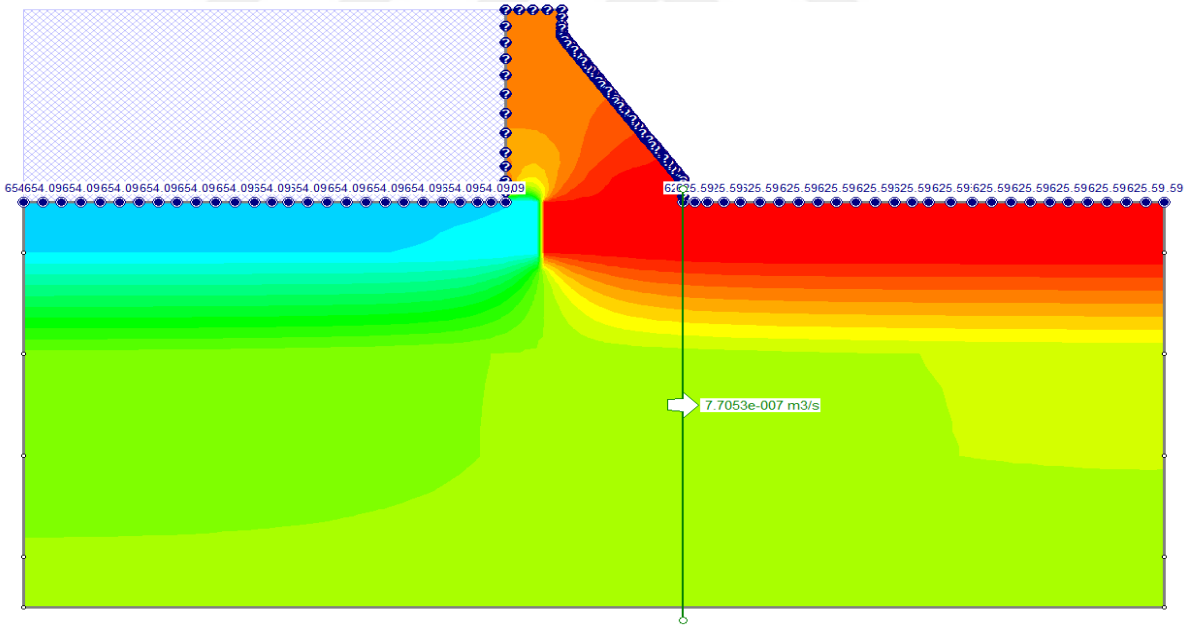


EK-B22 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

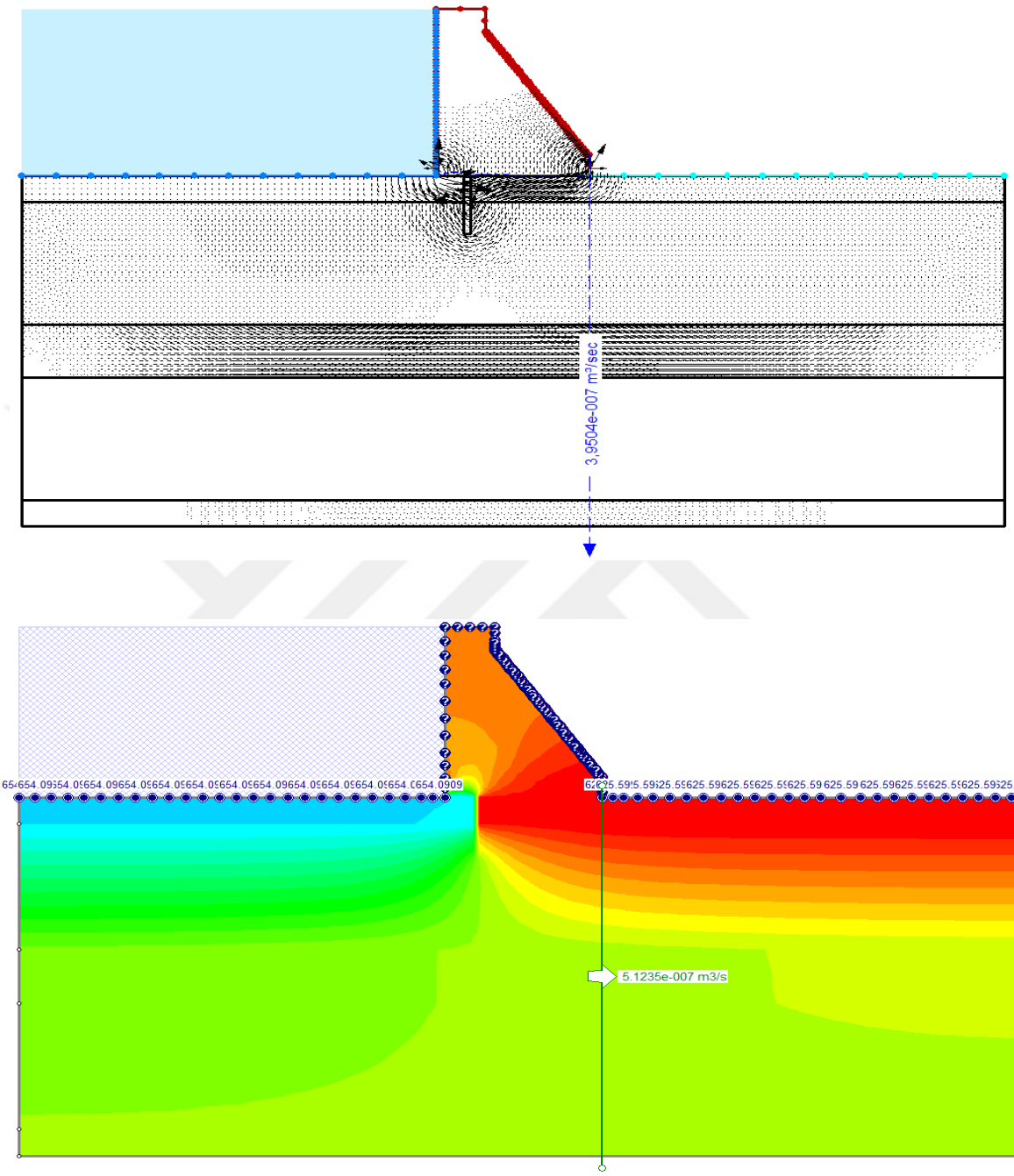


EK-B23 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

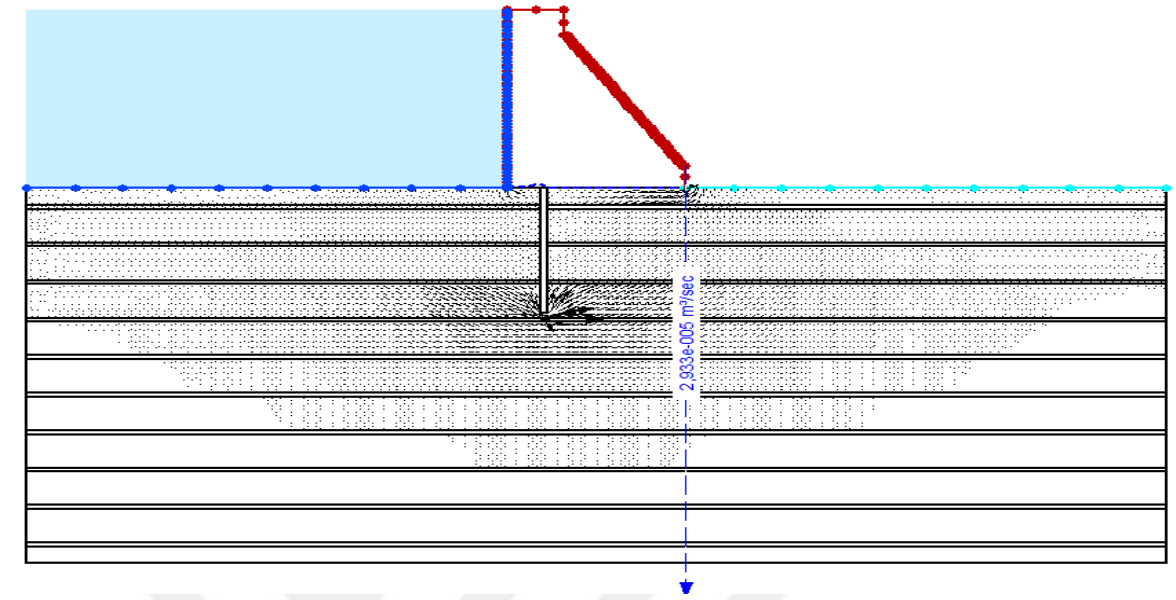


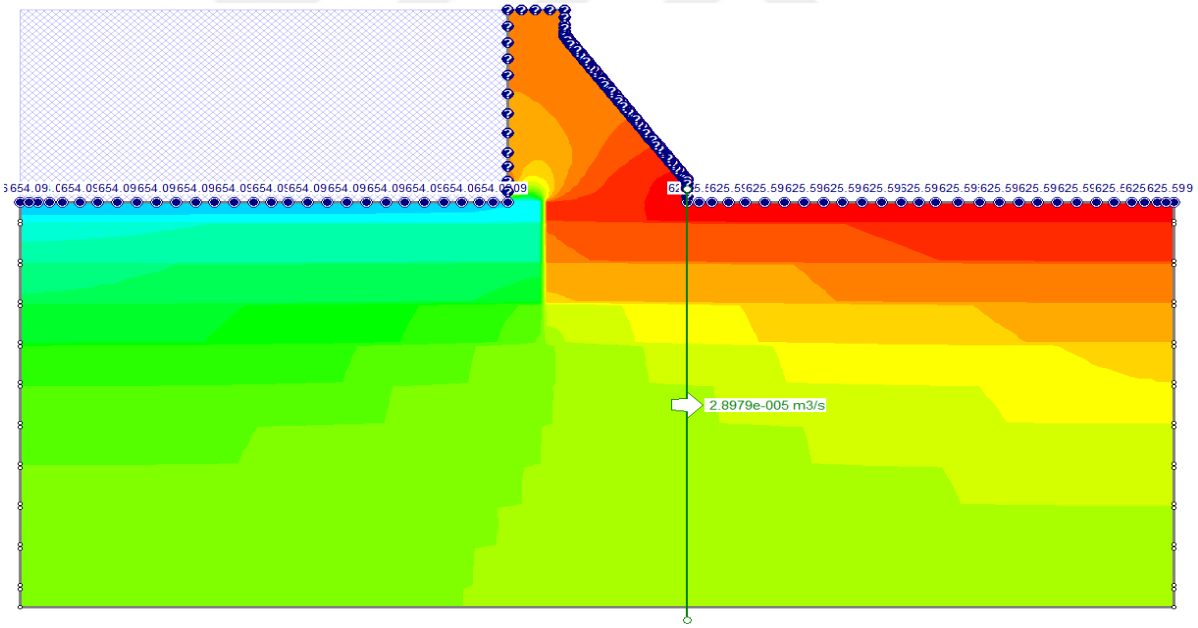


EK-B24 Senaryo-1c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

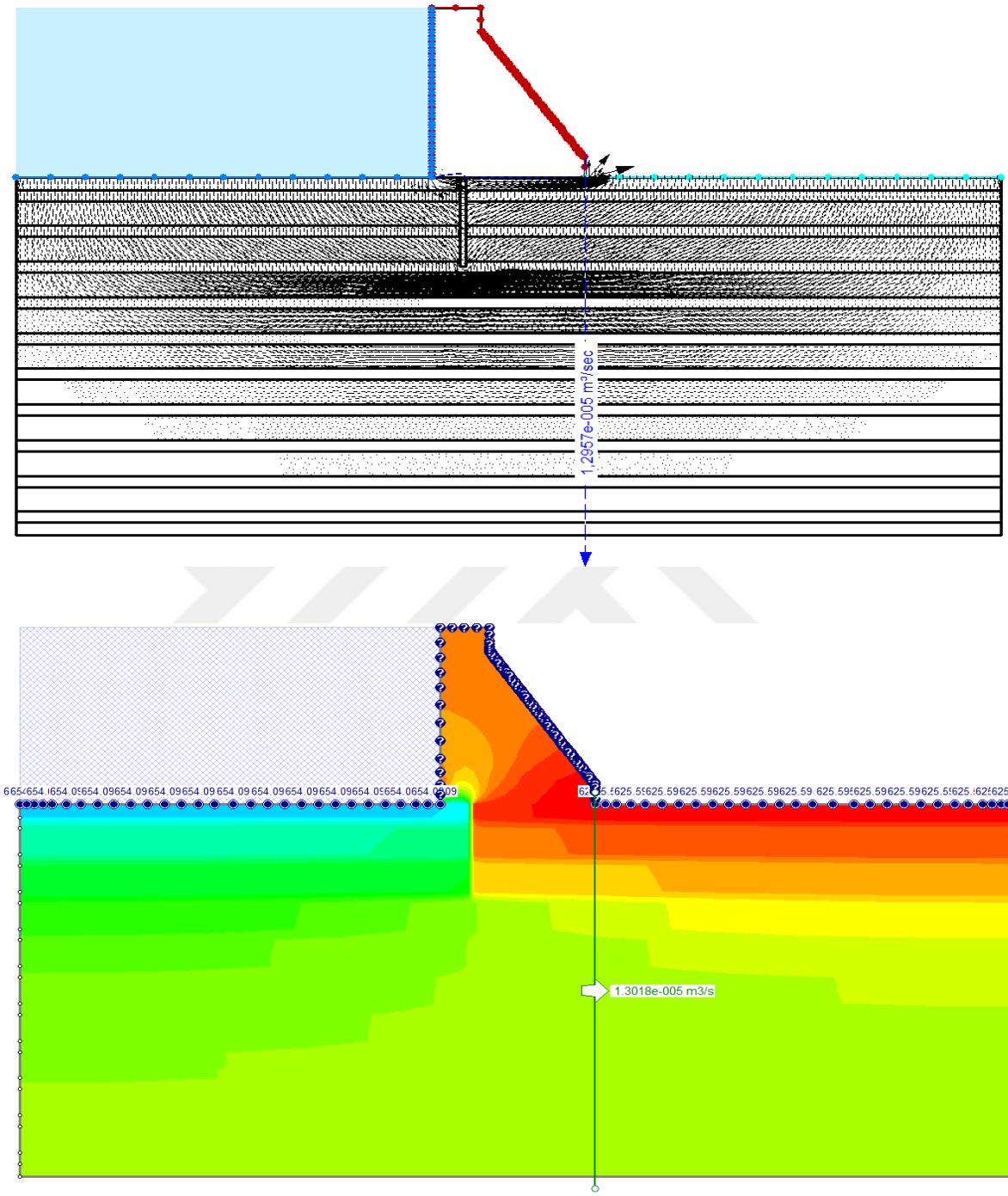


EK-C1 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

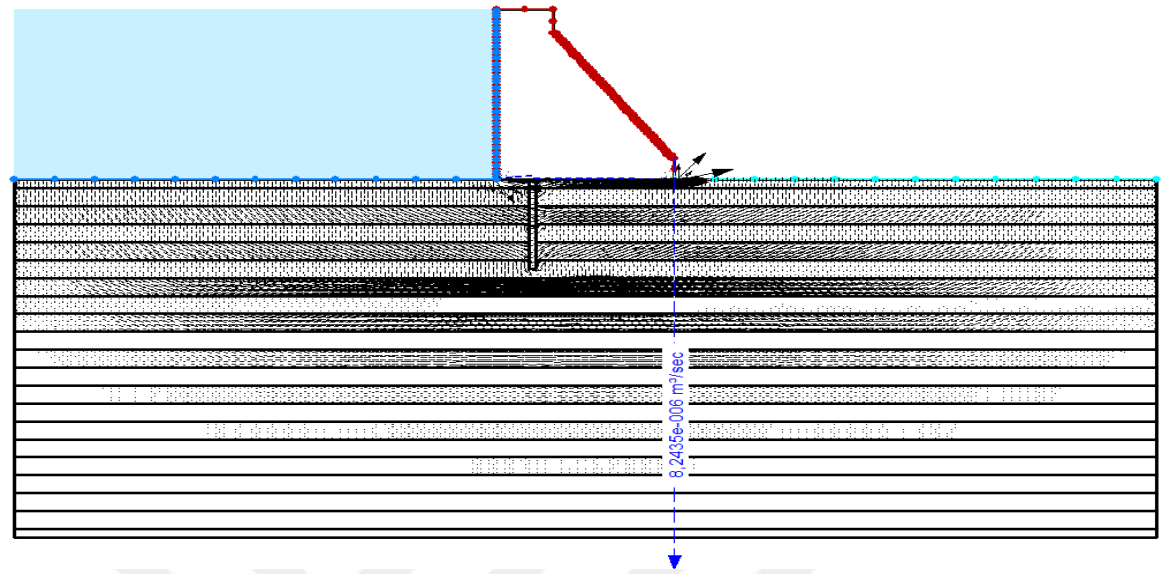


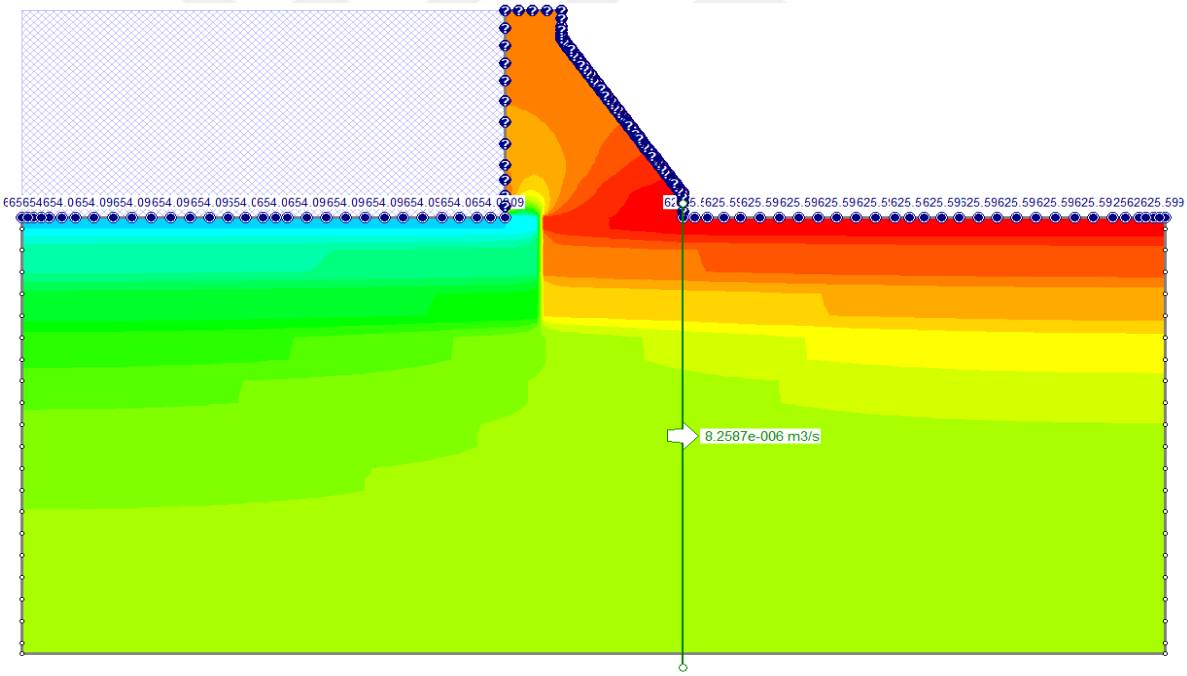


EK-C2 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

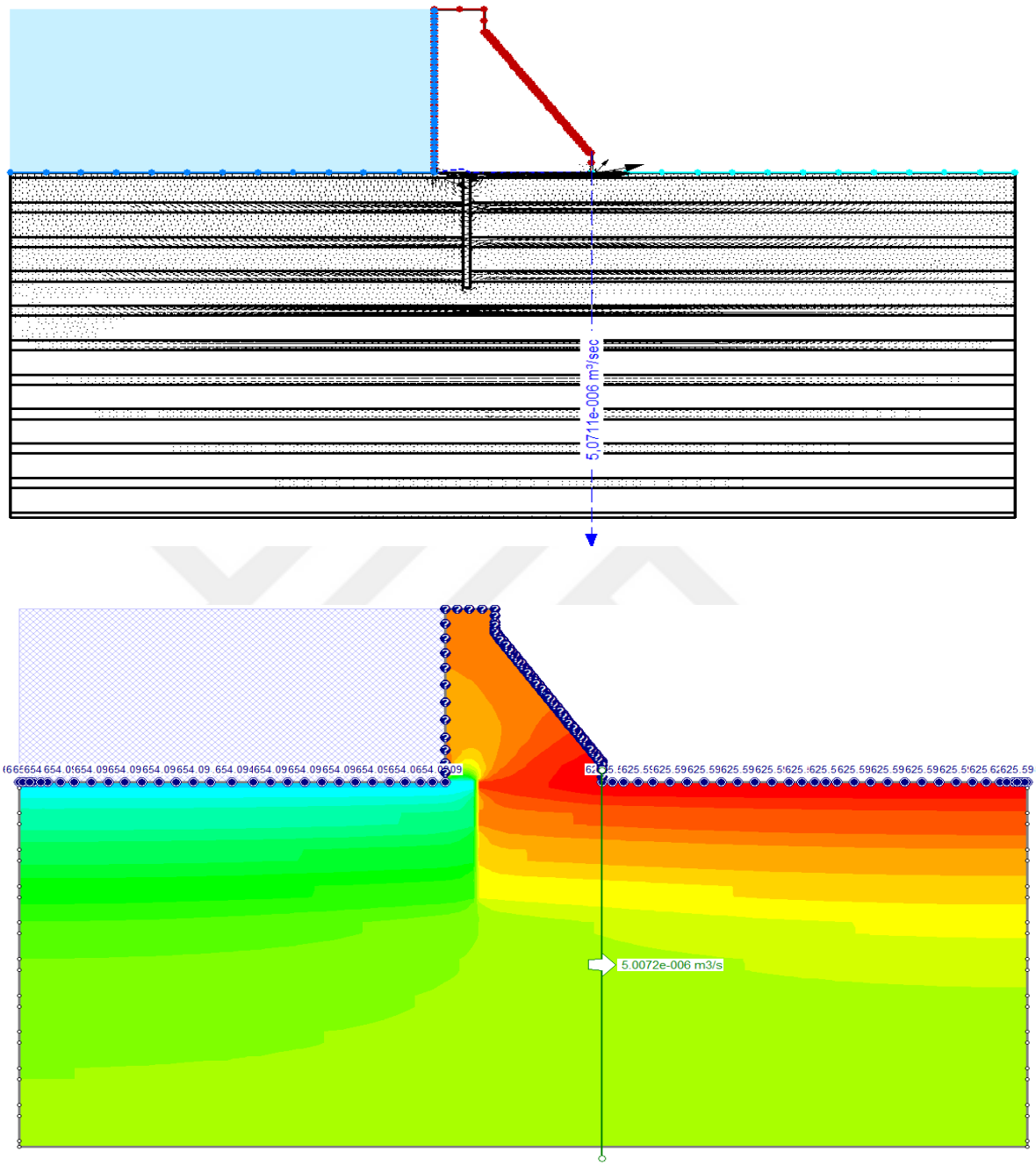


EK-C3 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

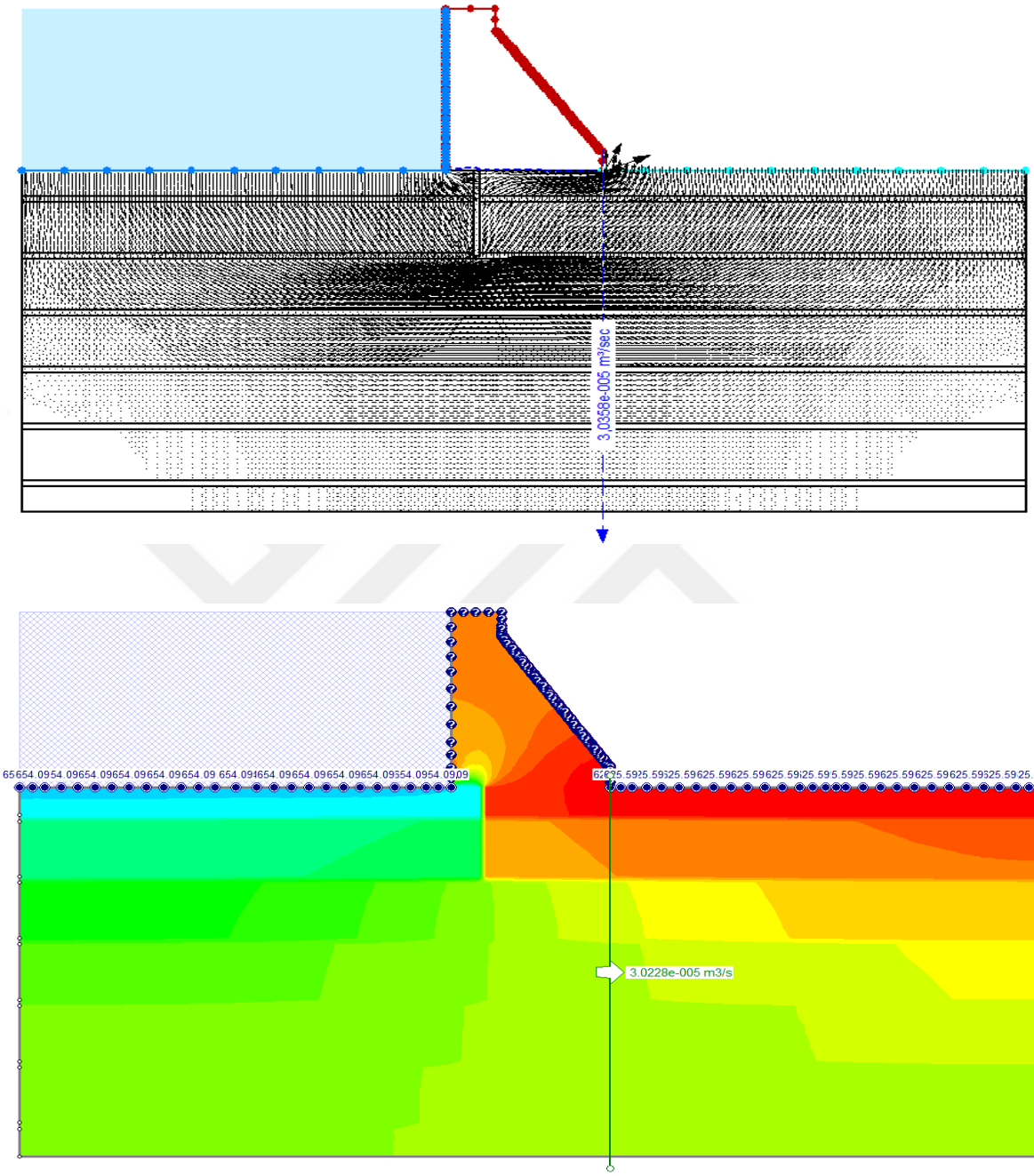




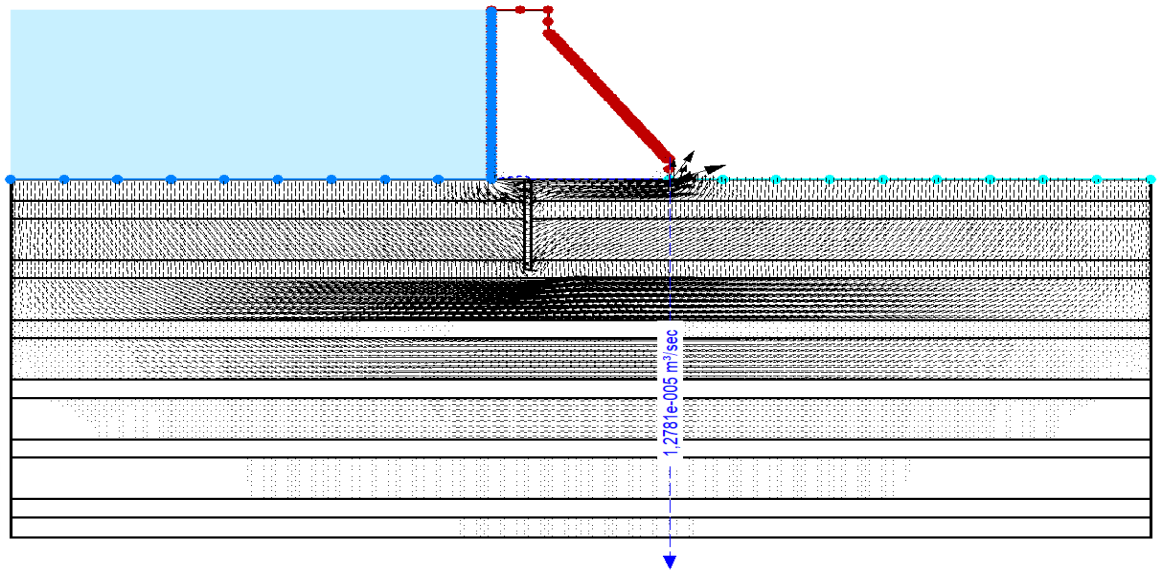
EK-C4 Senaryo-2a 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

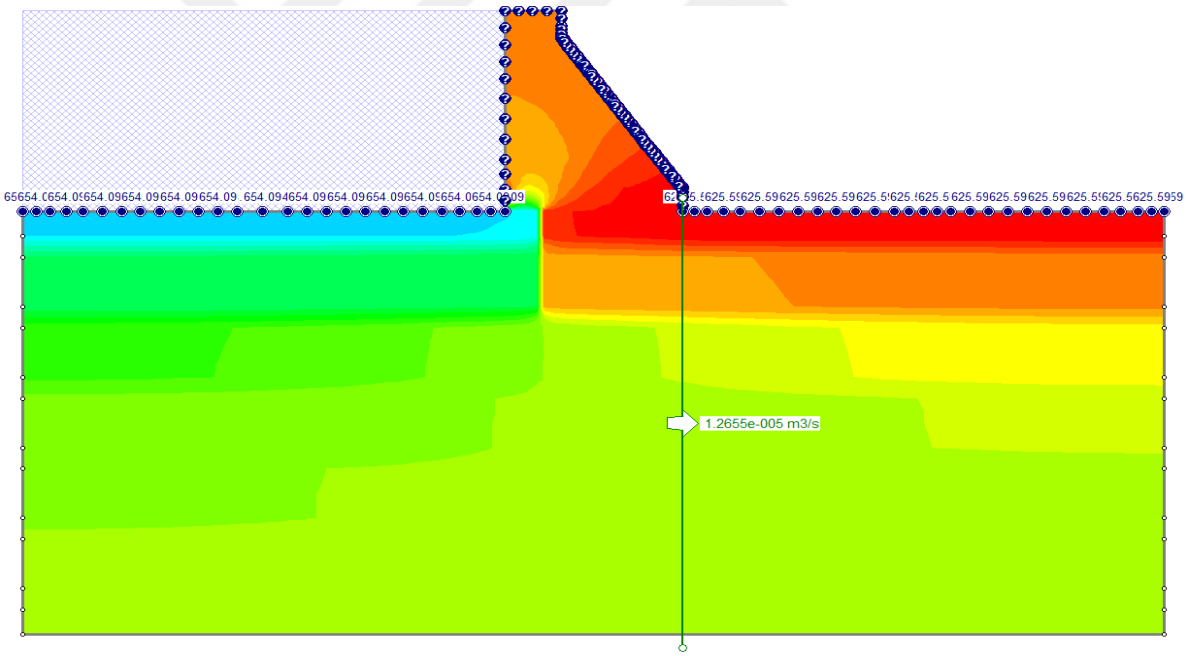


EK-C5 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

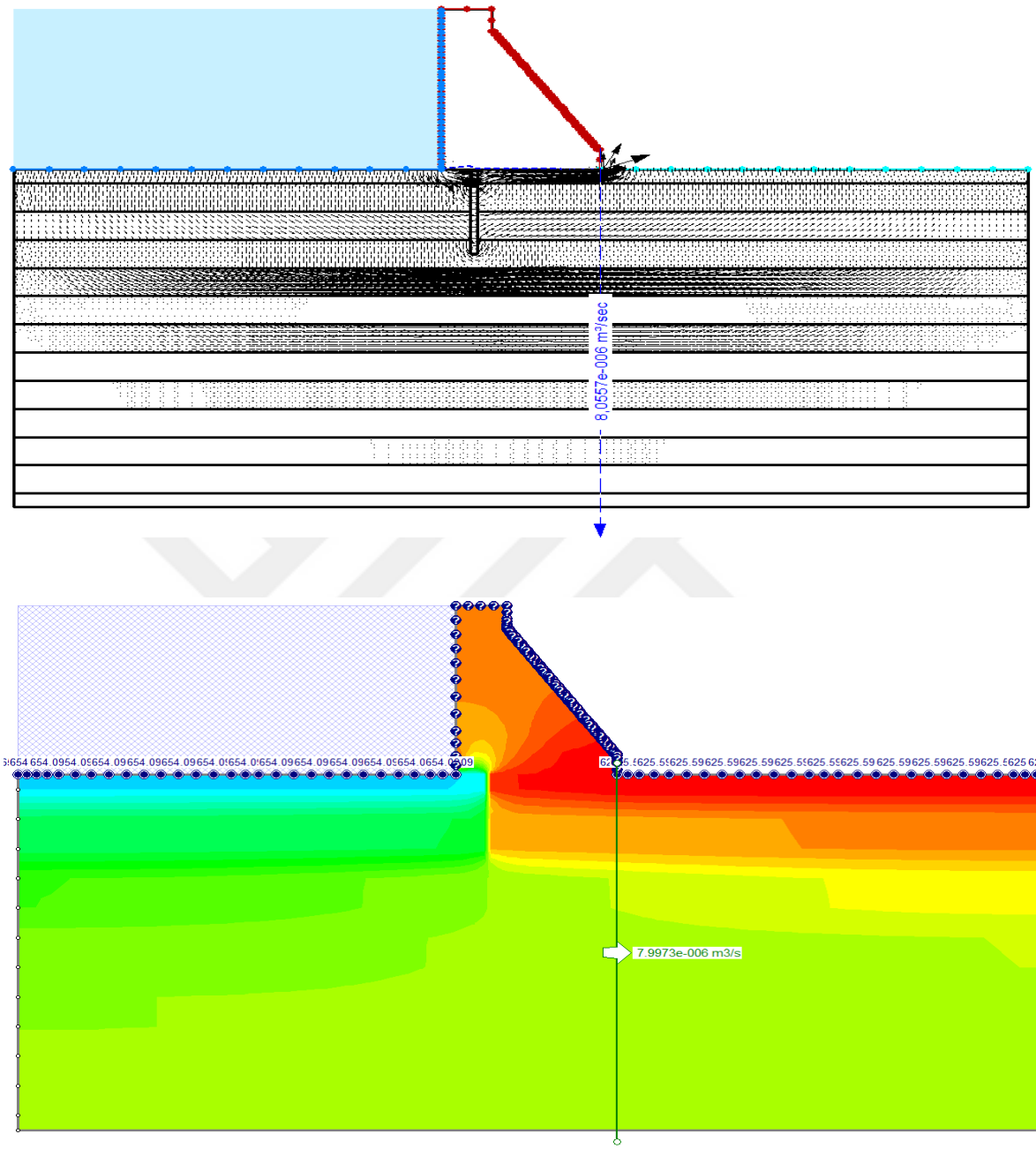


EK-C6 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

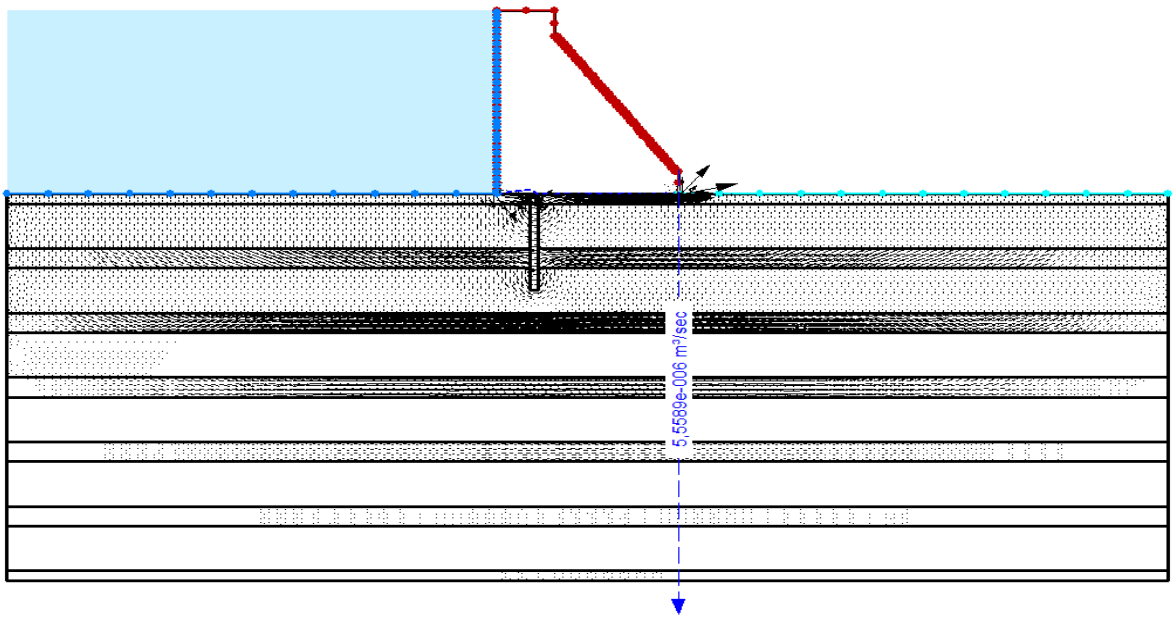


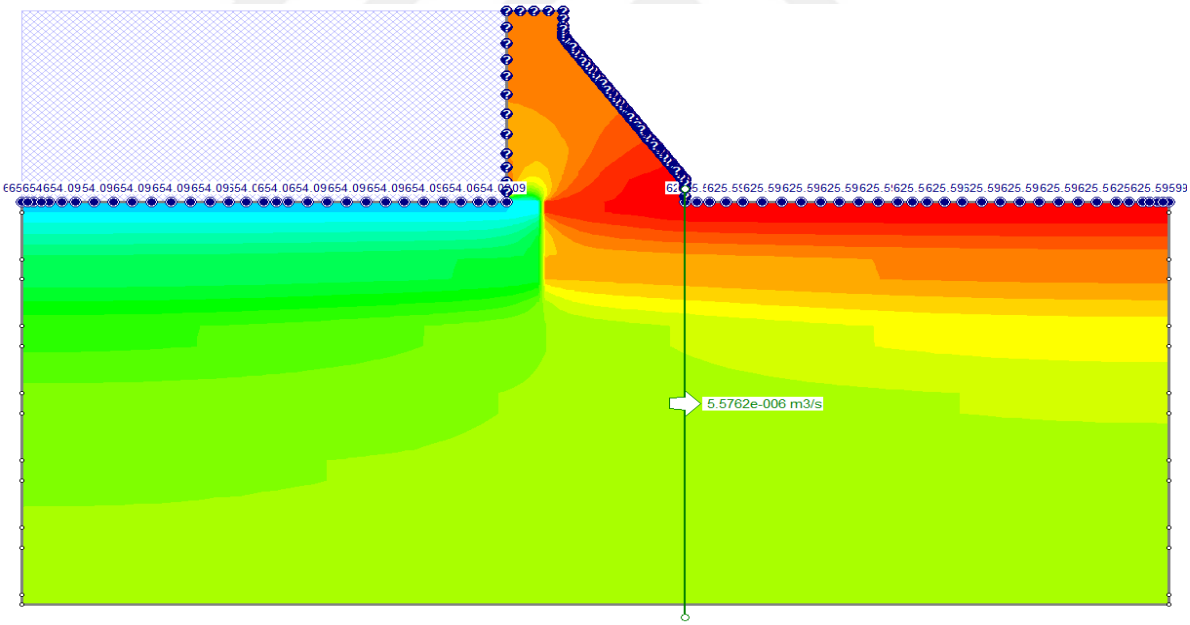


EK-C7 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

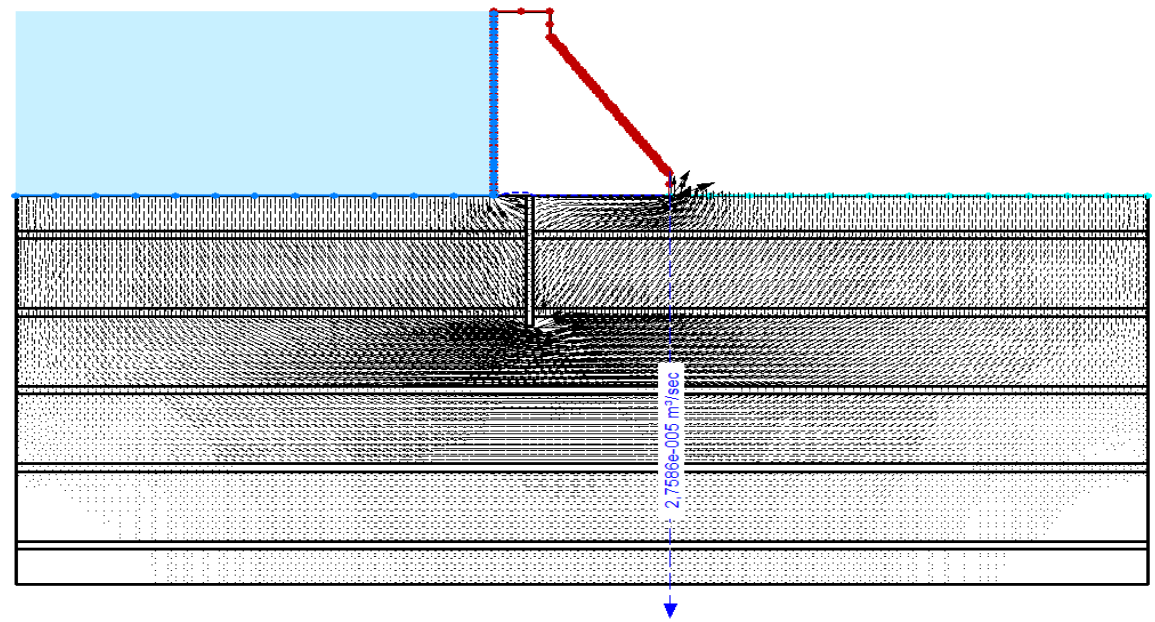


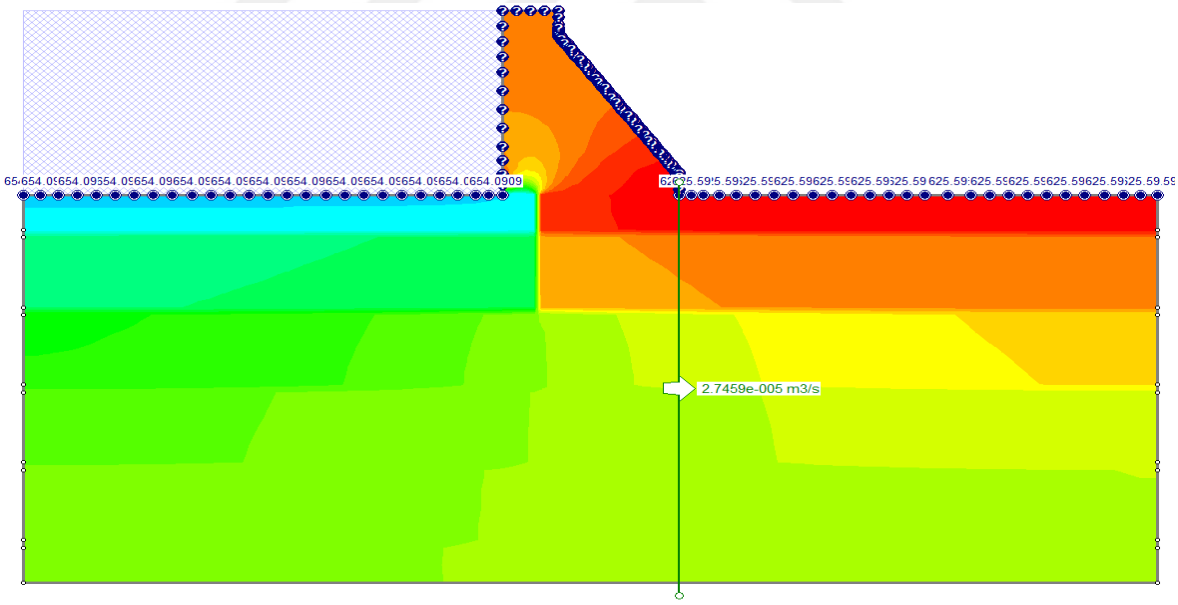
EK-C8 Senaryo-2a 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



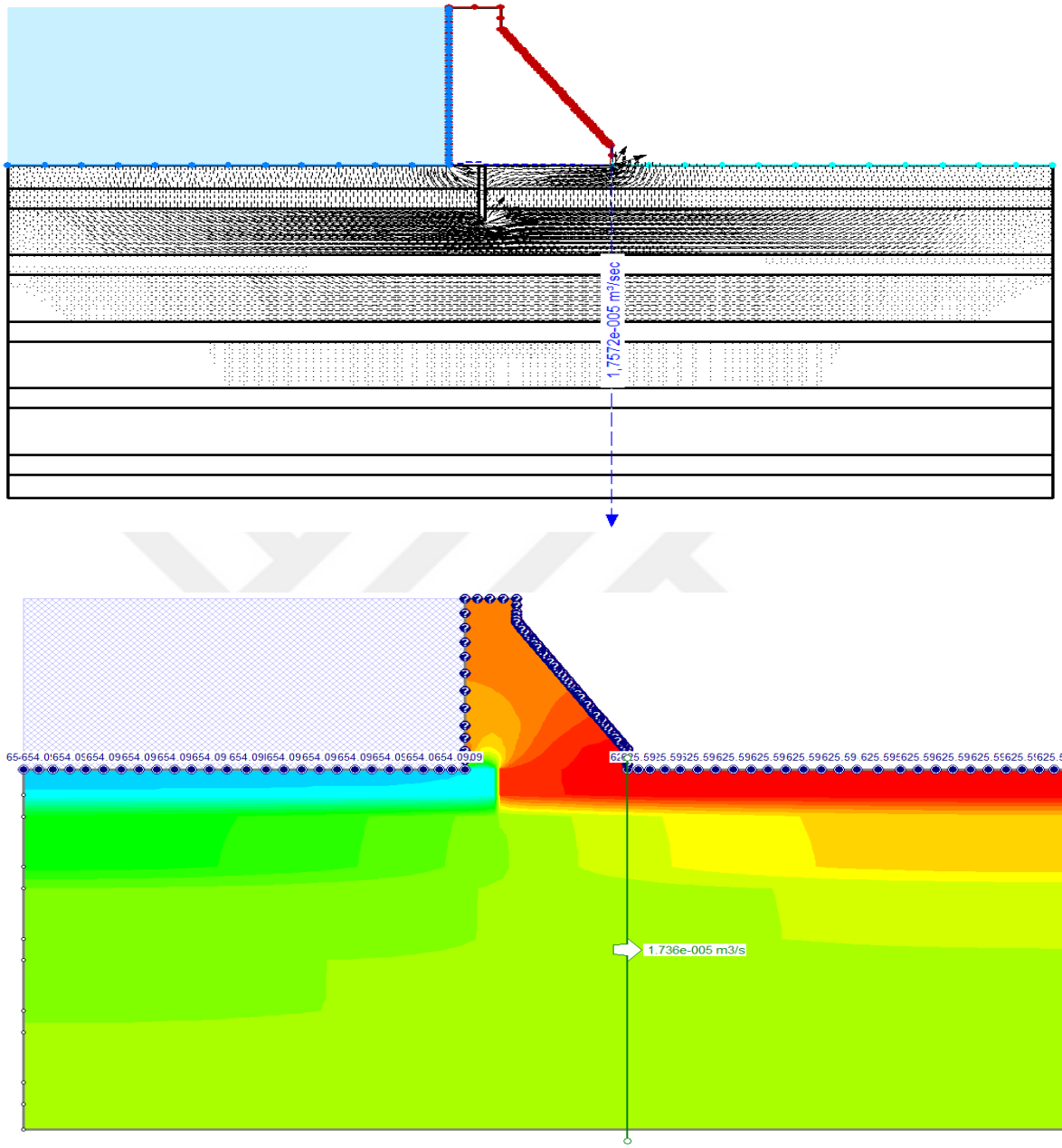


EK-C9 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

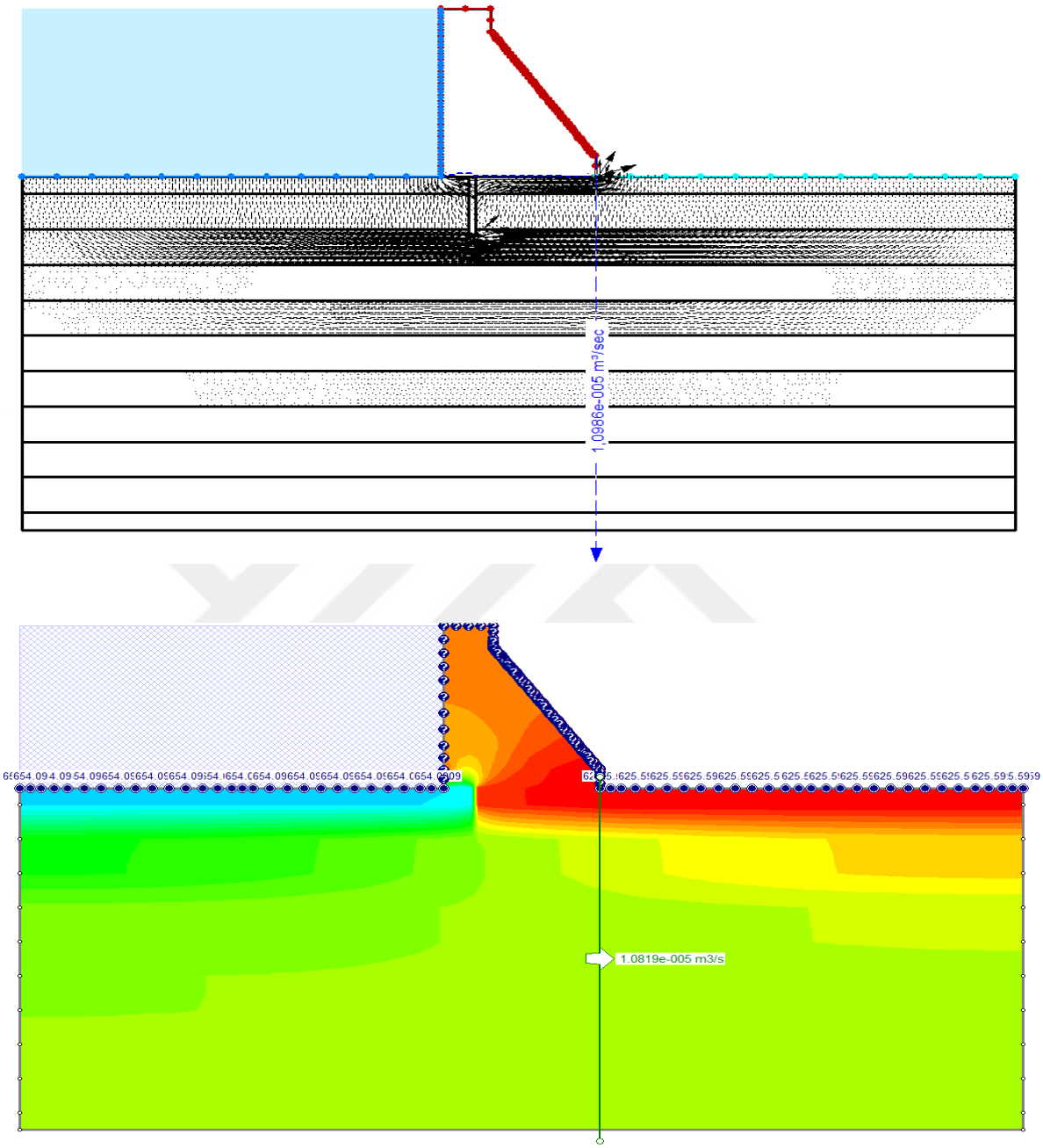




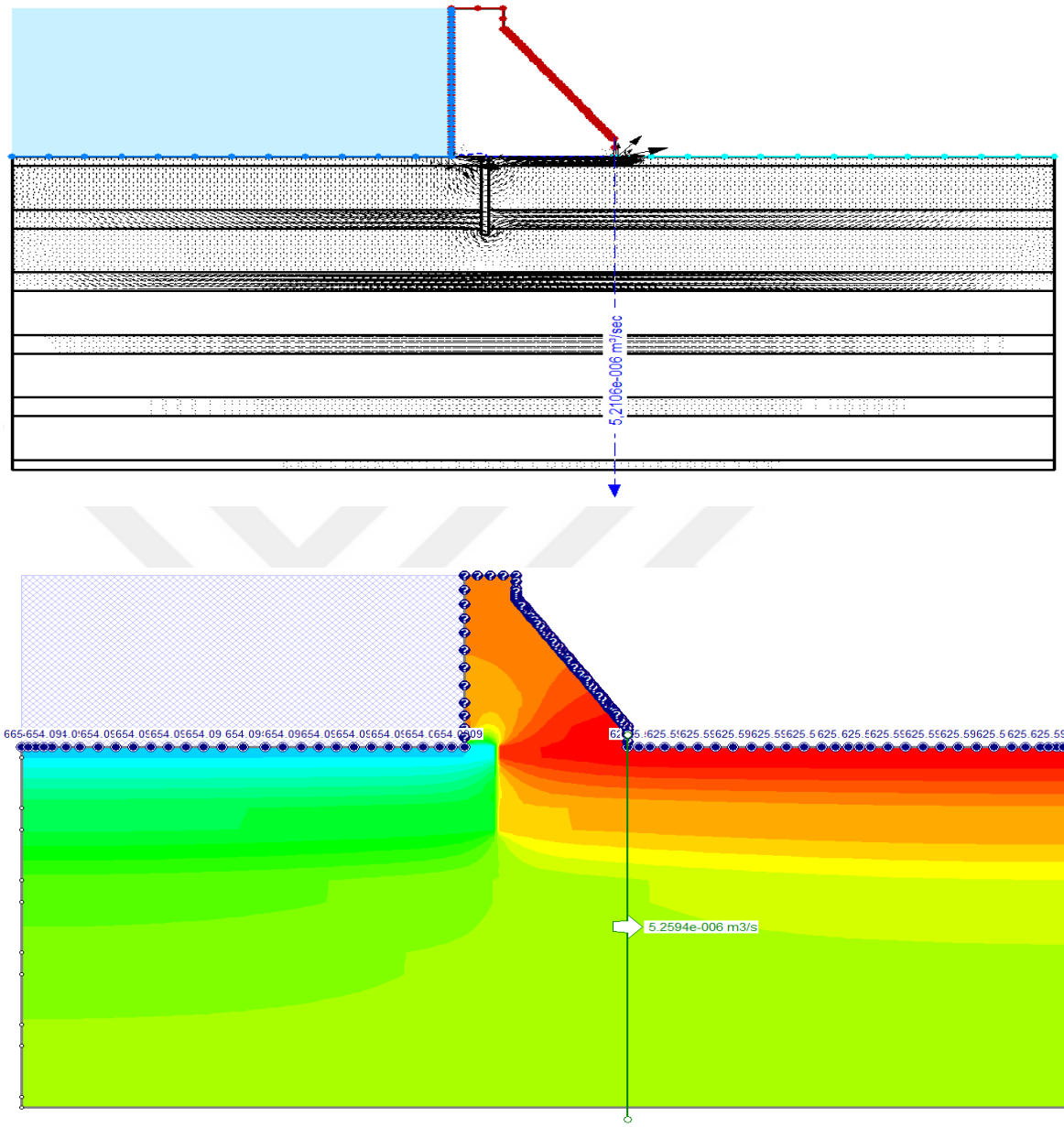
EK-C10 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



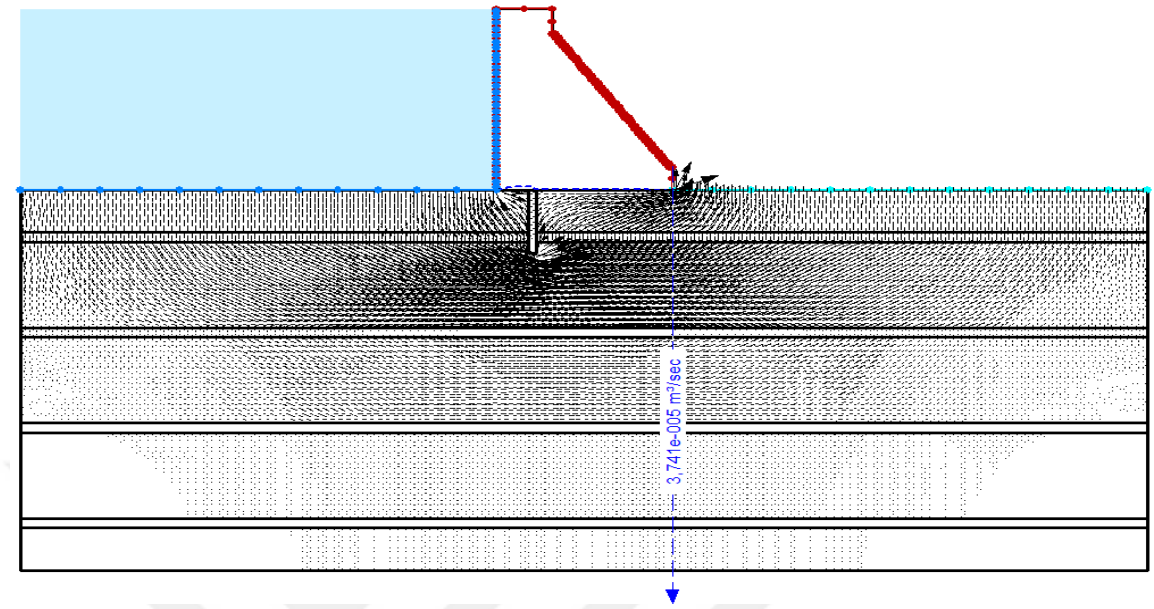
EK-C11 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

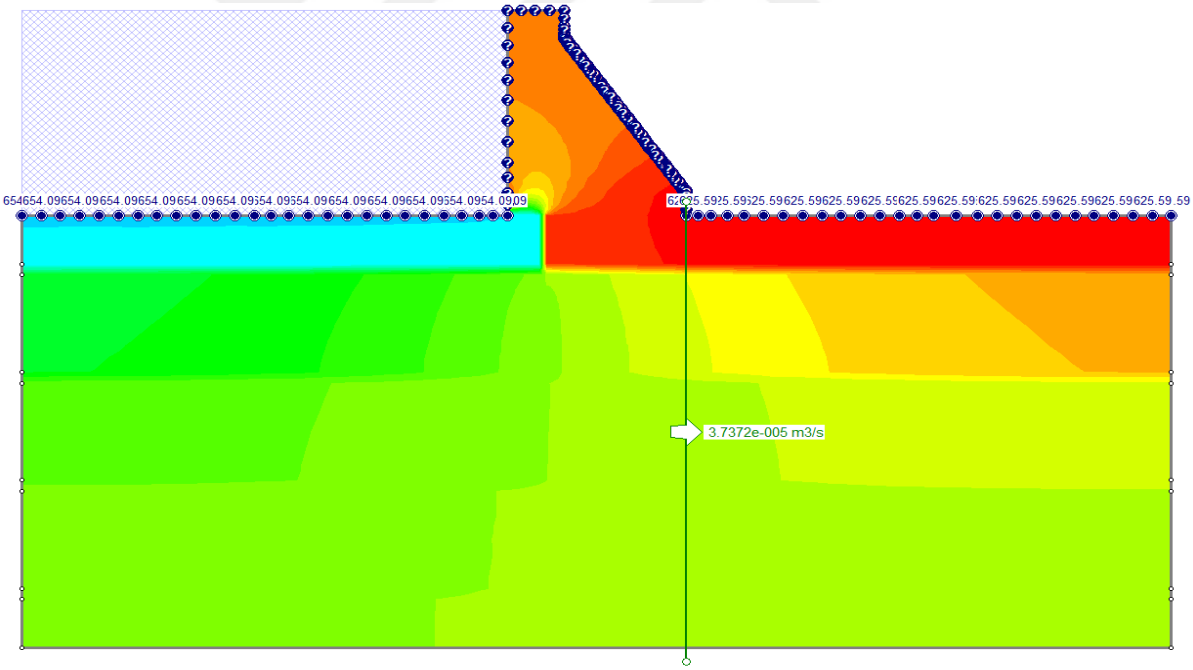


EK-C12 Senaryo-2a 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

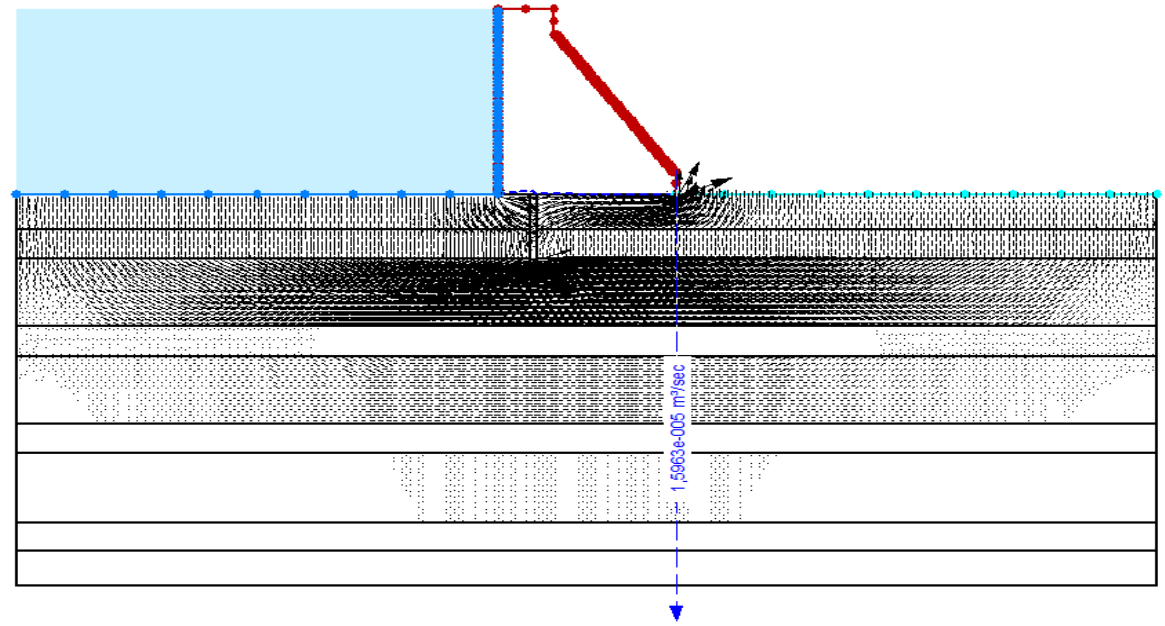


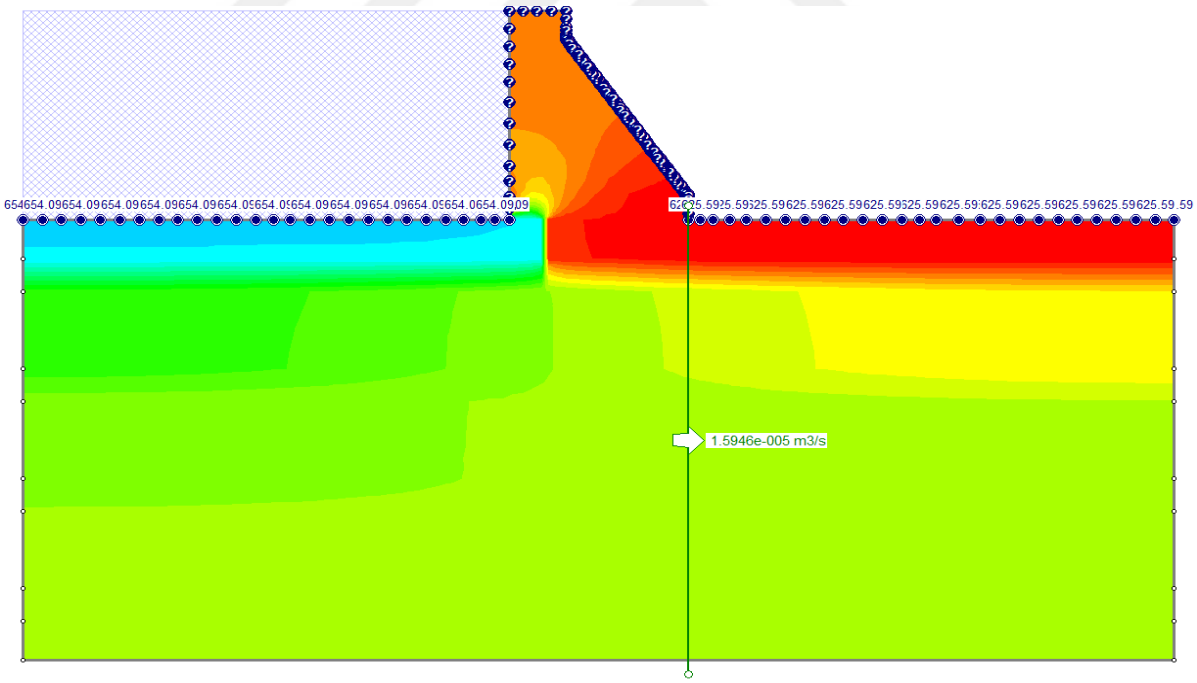
EK-C13 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



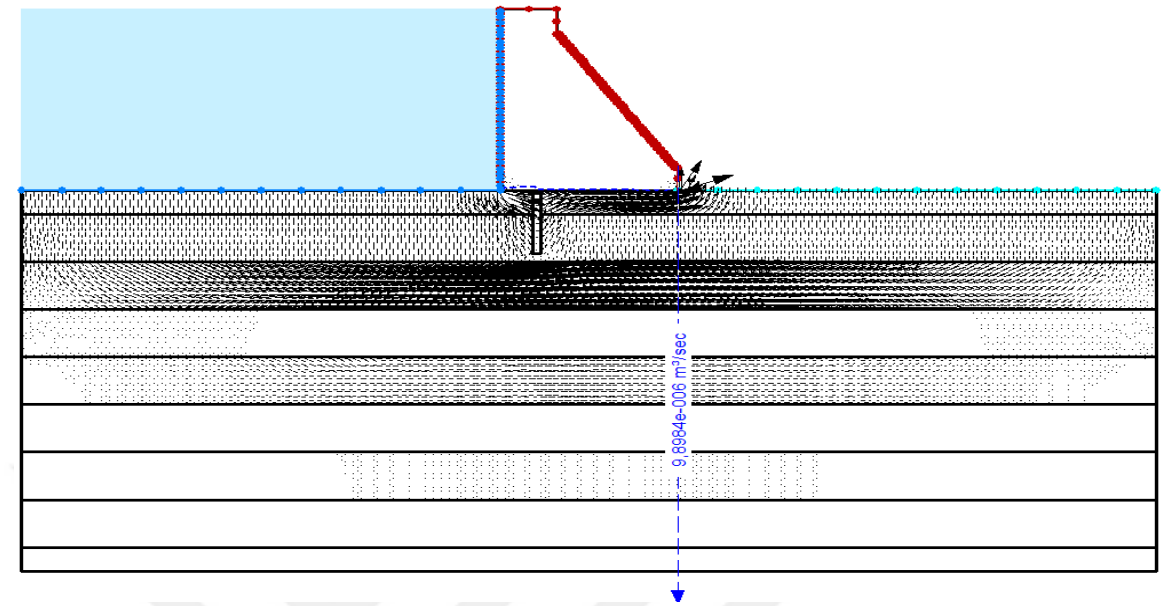


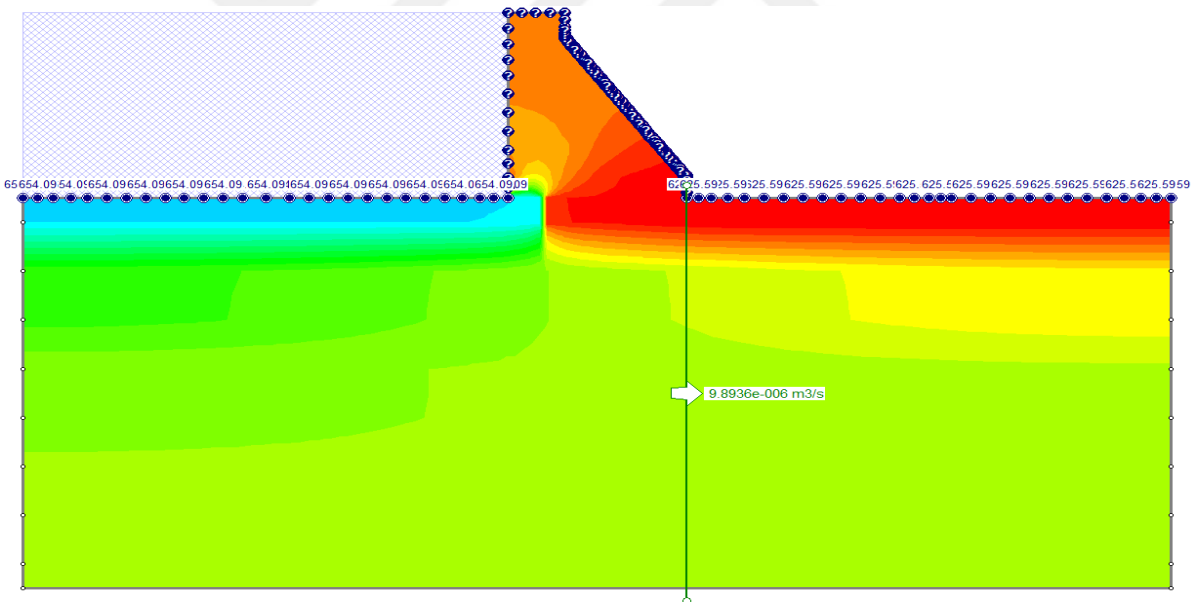
EK-C14 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



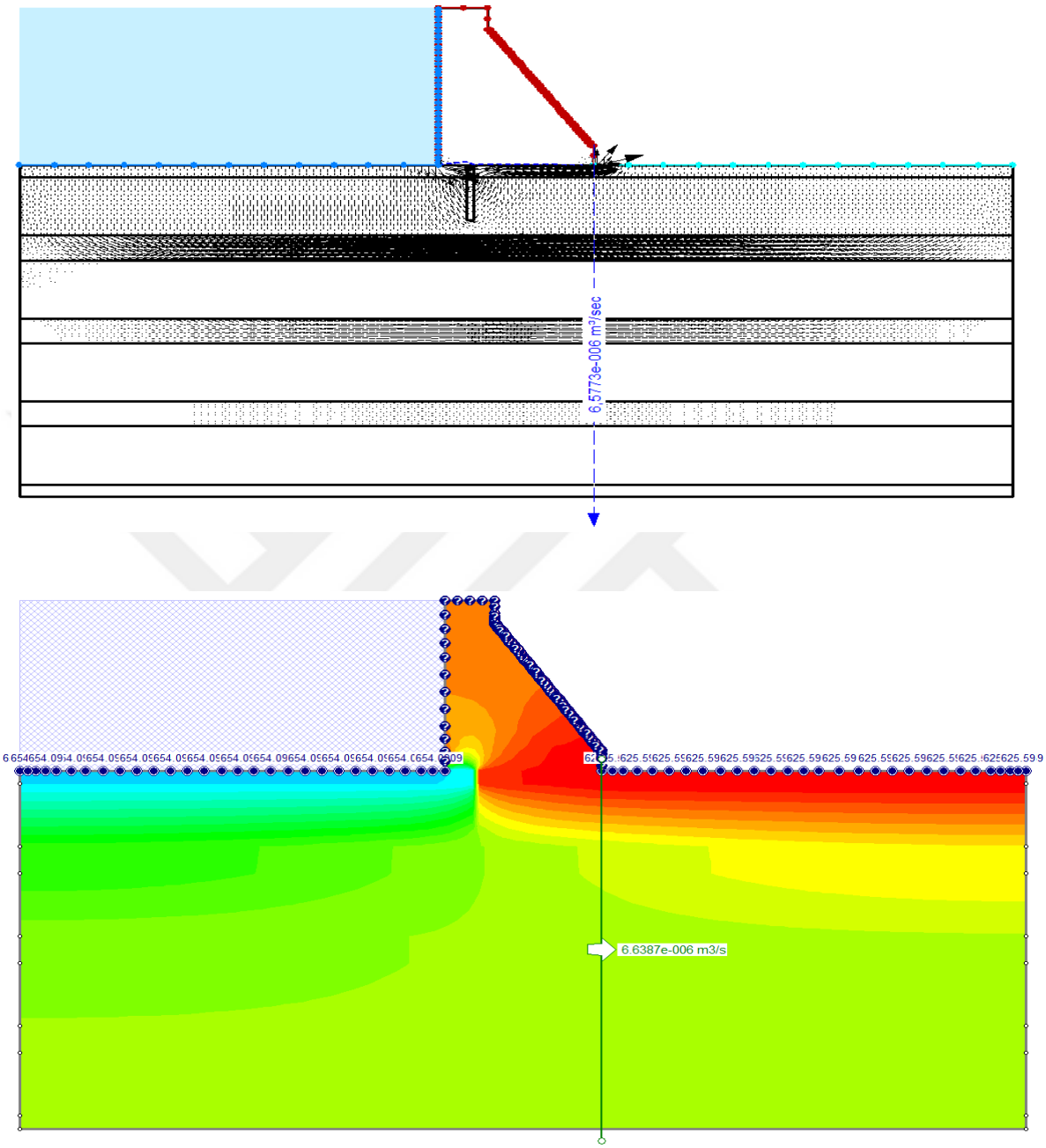


EK-C15 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

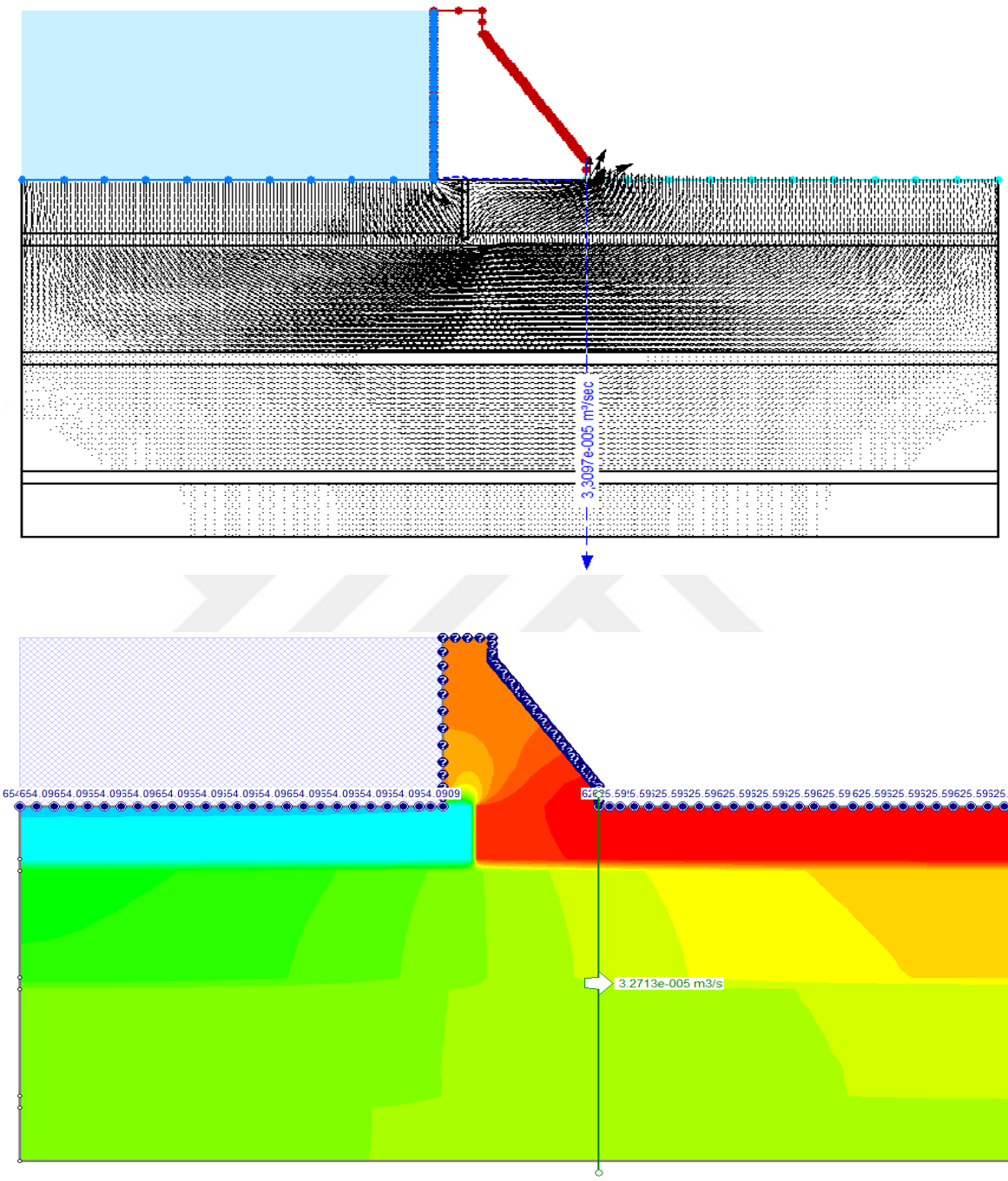




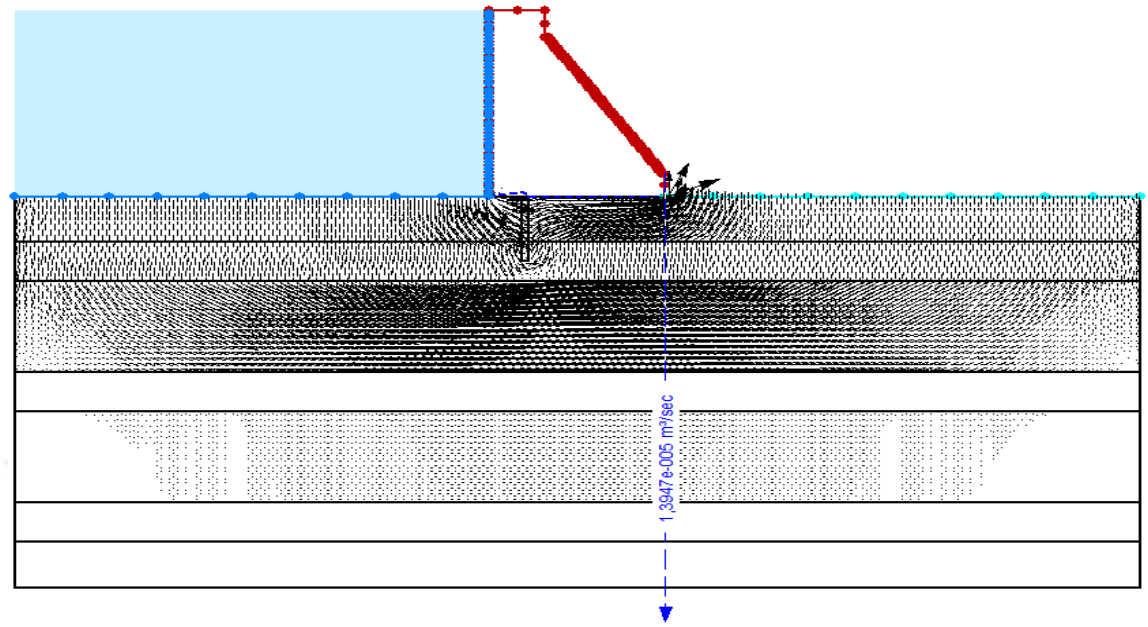
EK-C16 Senaryo-2a 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

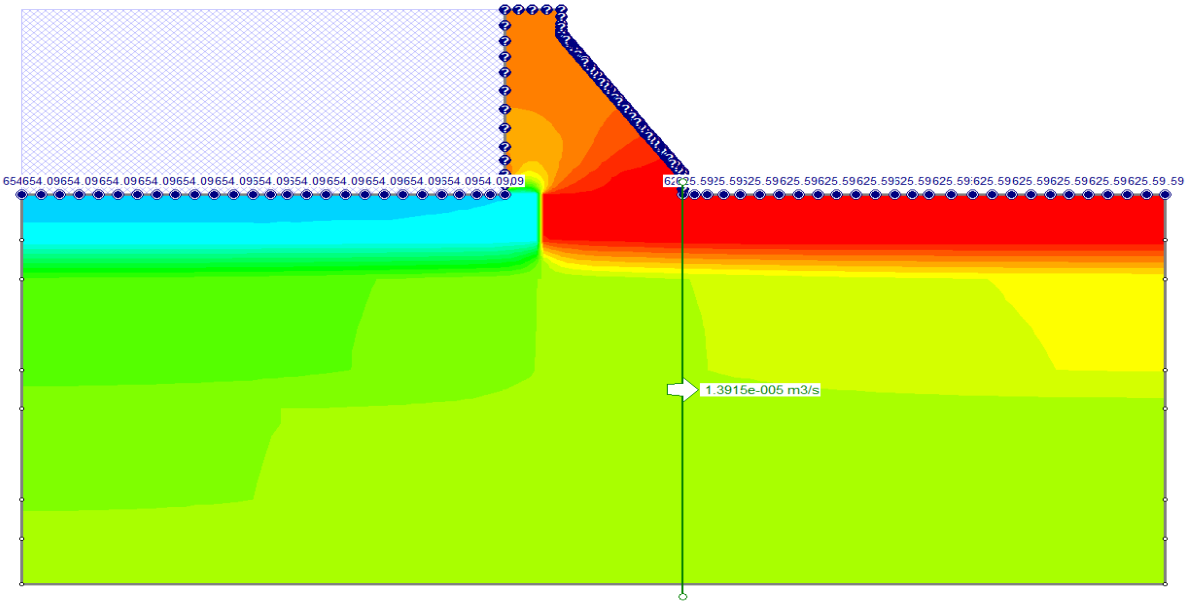


EK-C17 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

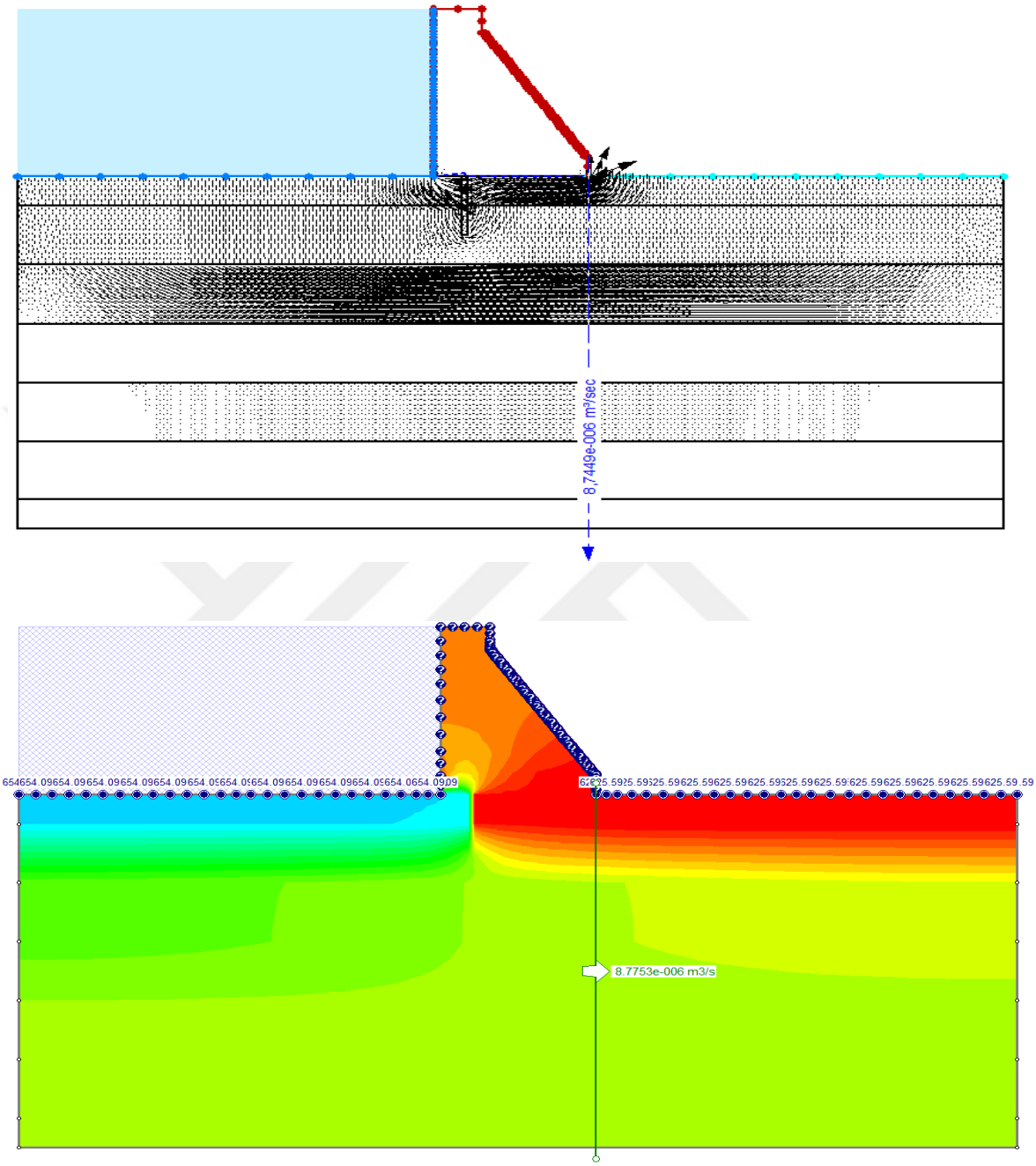


EK-C18 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

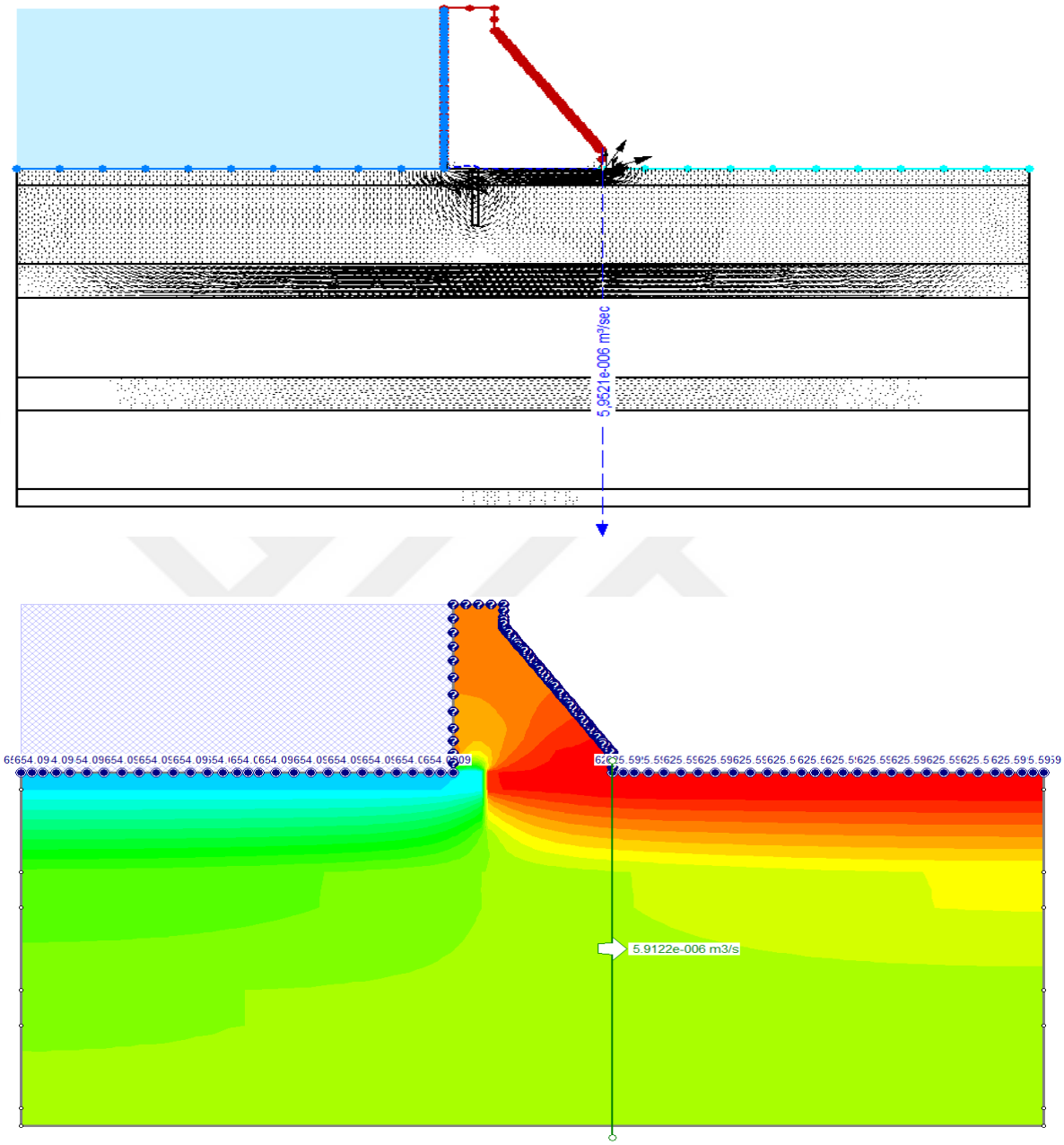




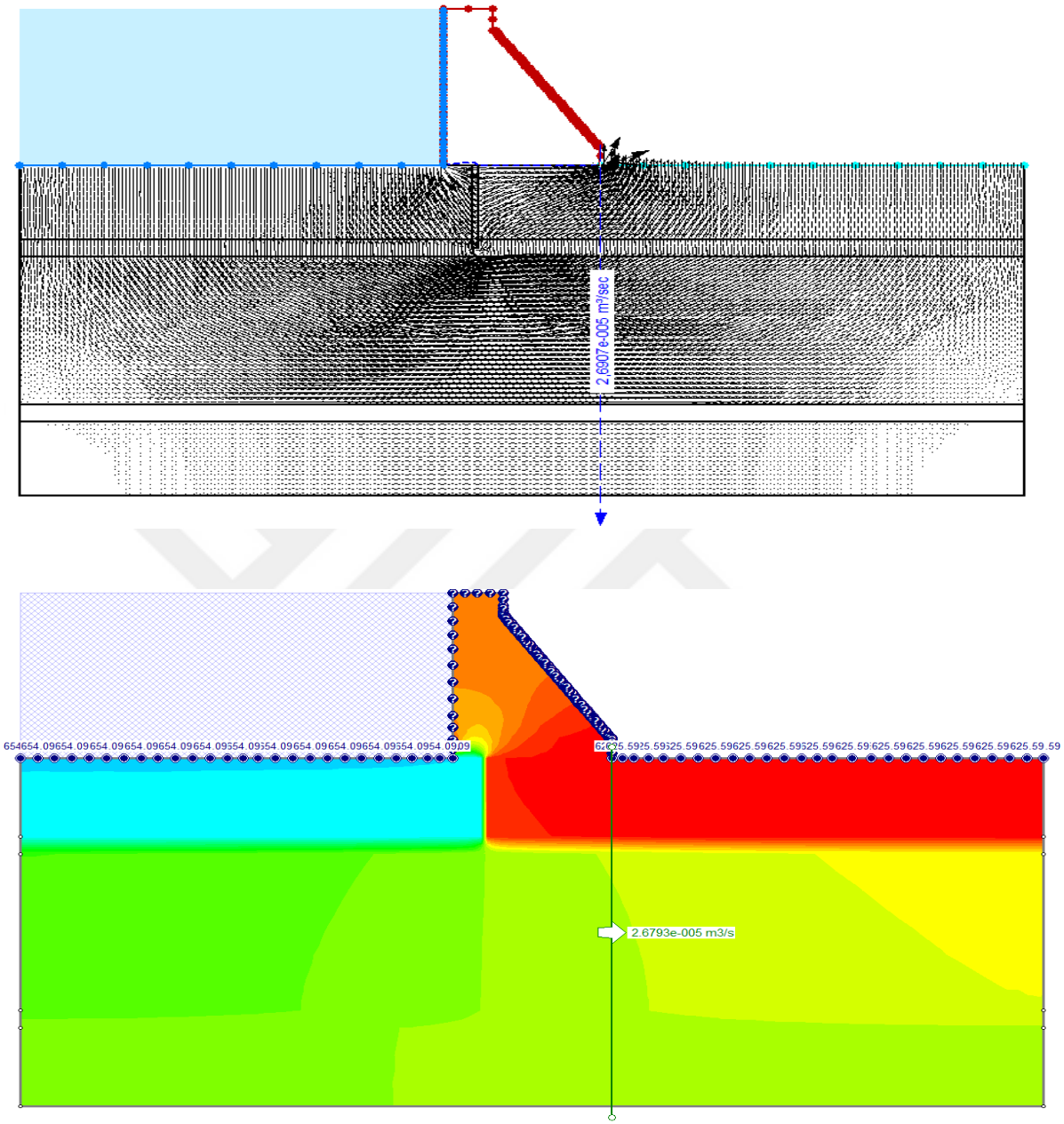
EK-C19 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



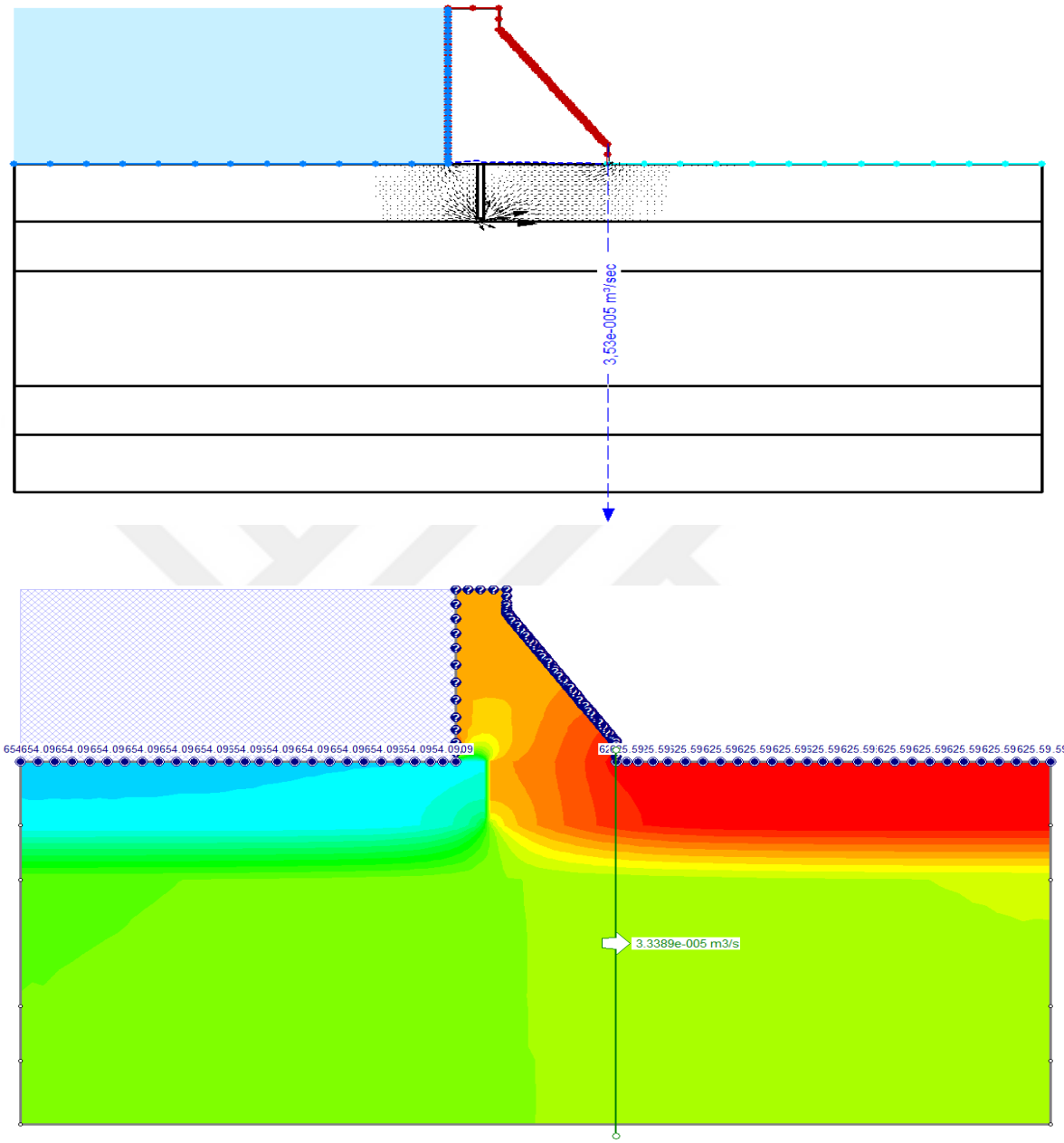
EK-C20 Senaryo-2a 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



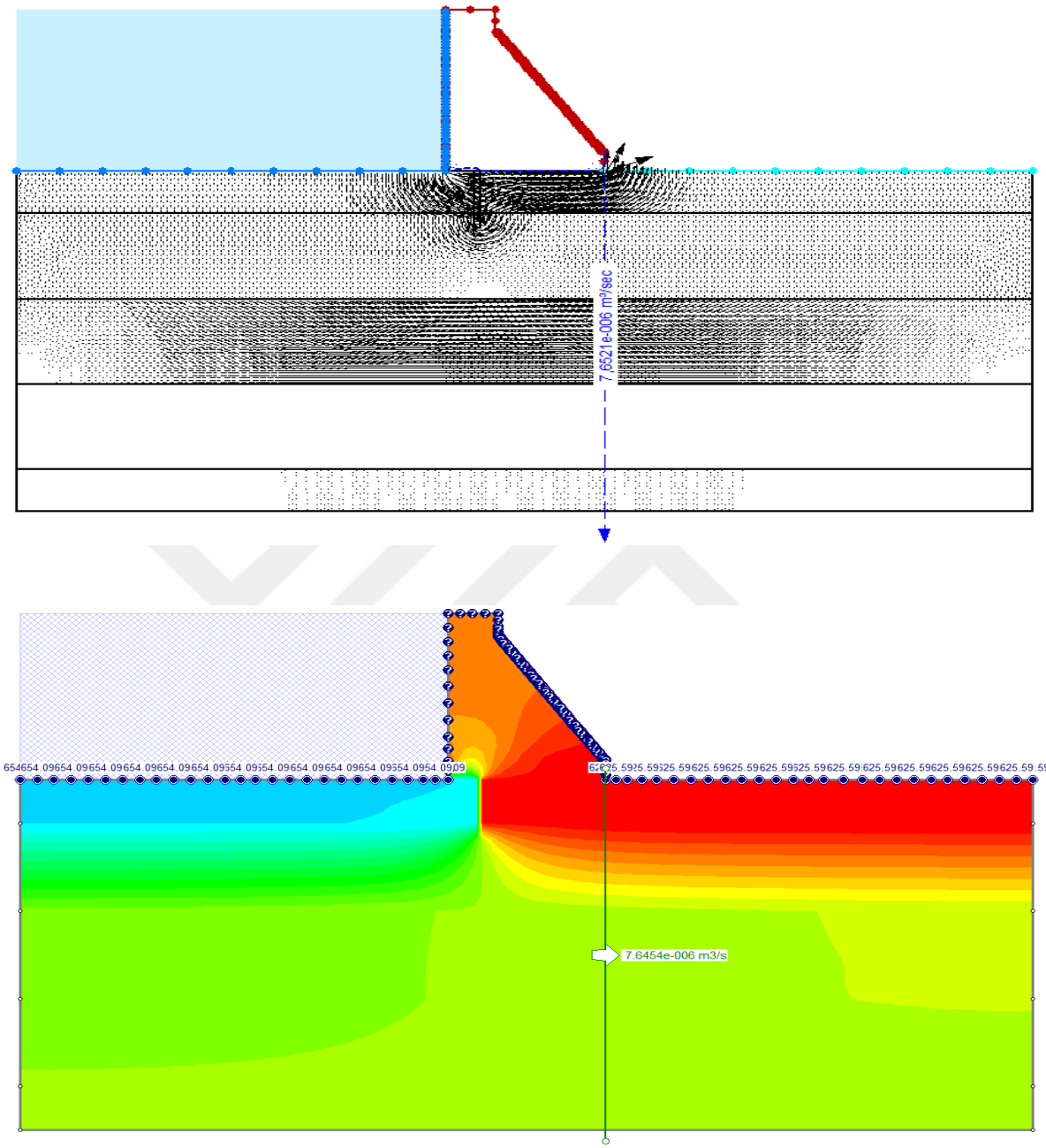
EK-C21 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



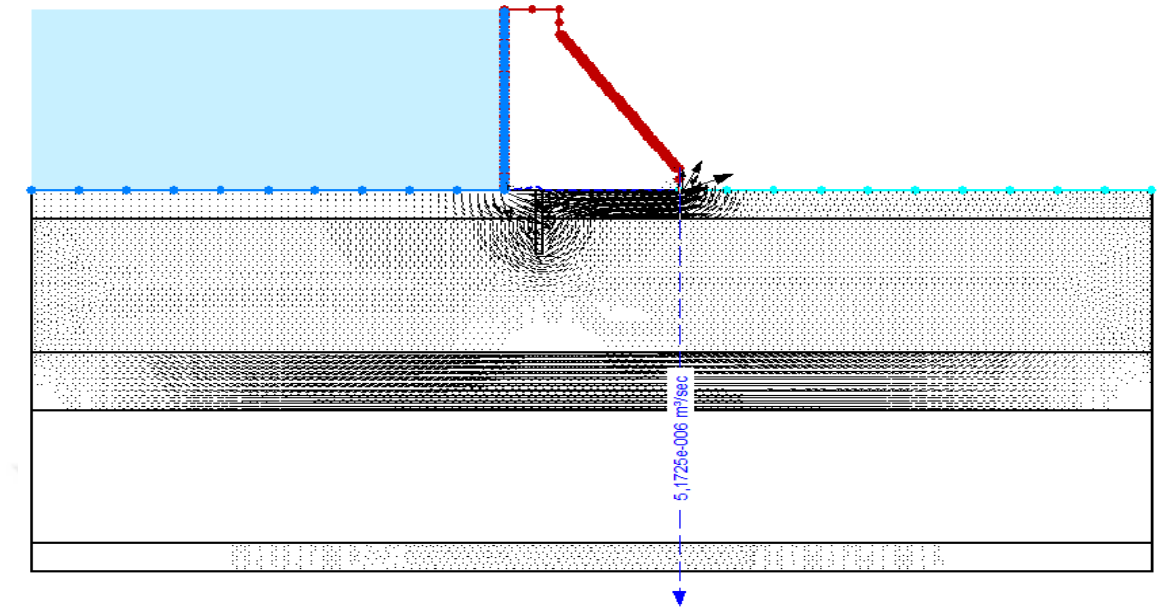
EK-C22 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

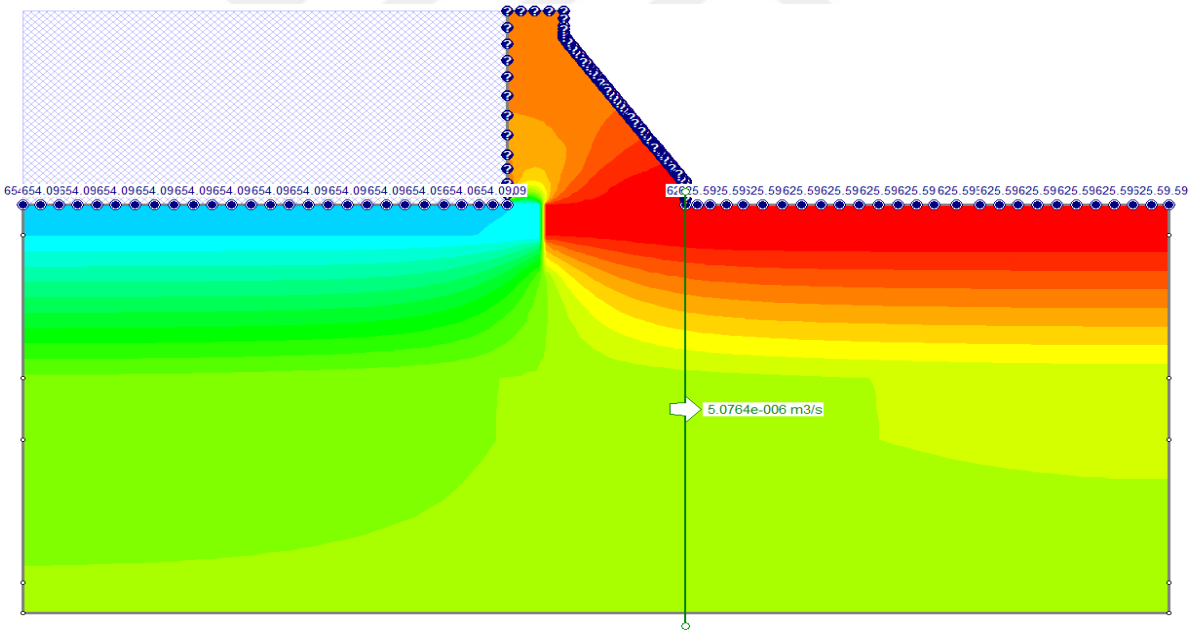


EK-C23 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

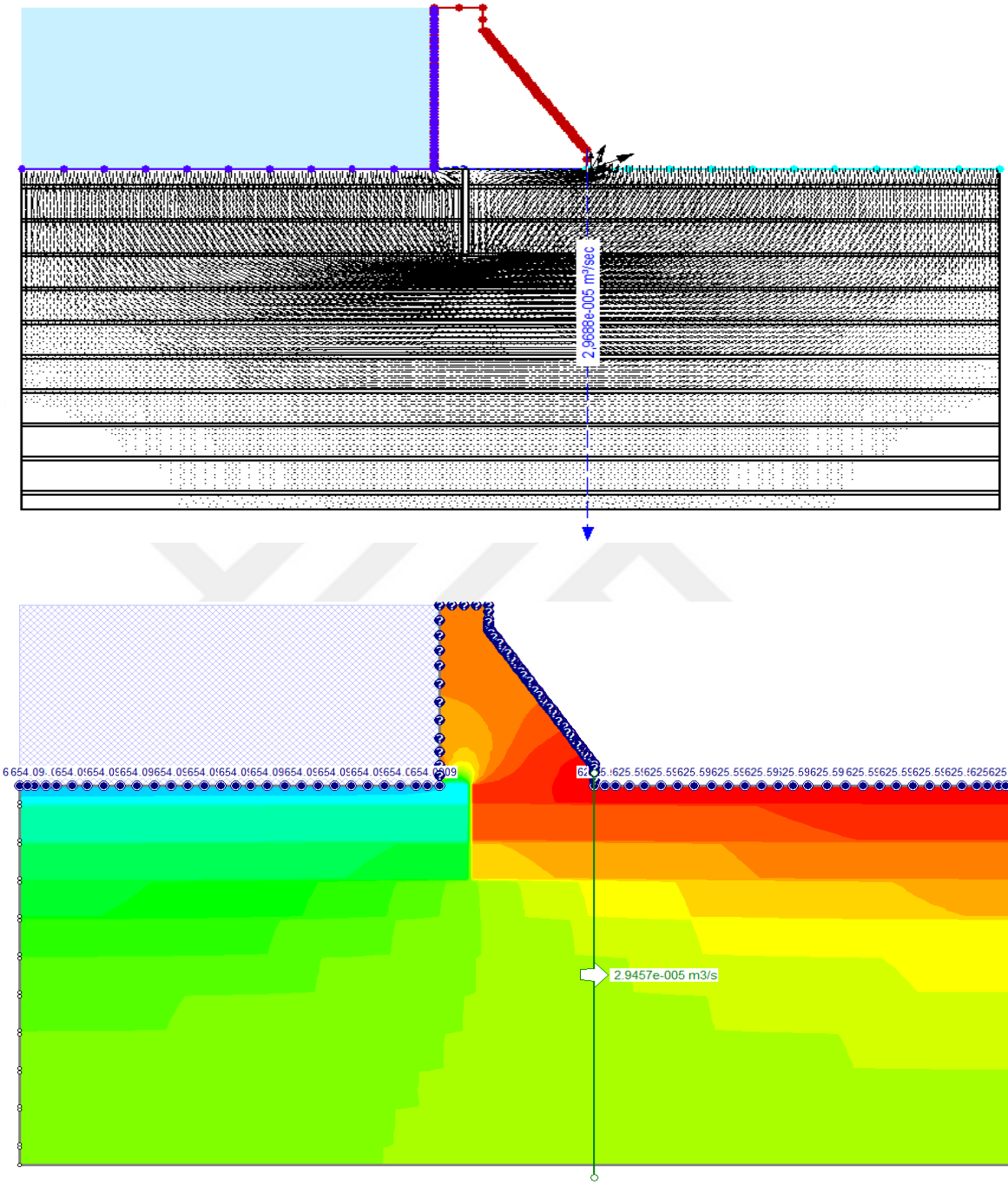


EK-C24 Senaryo-2a 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

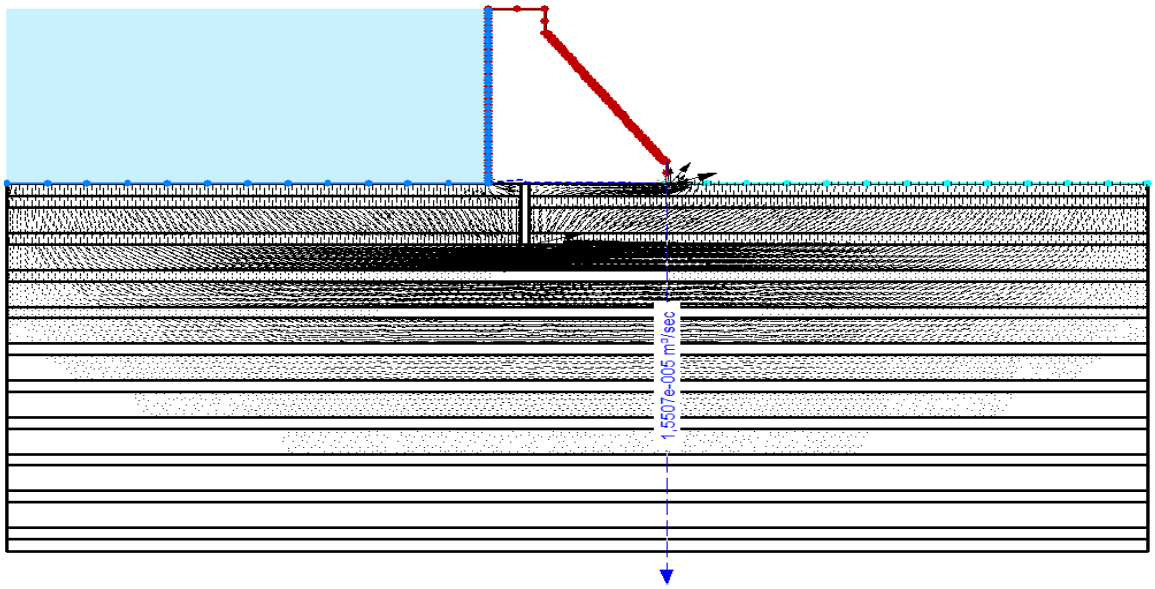


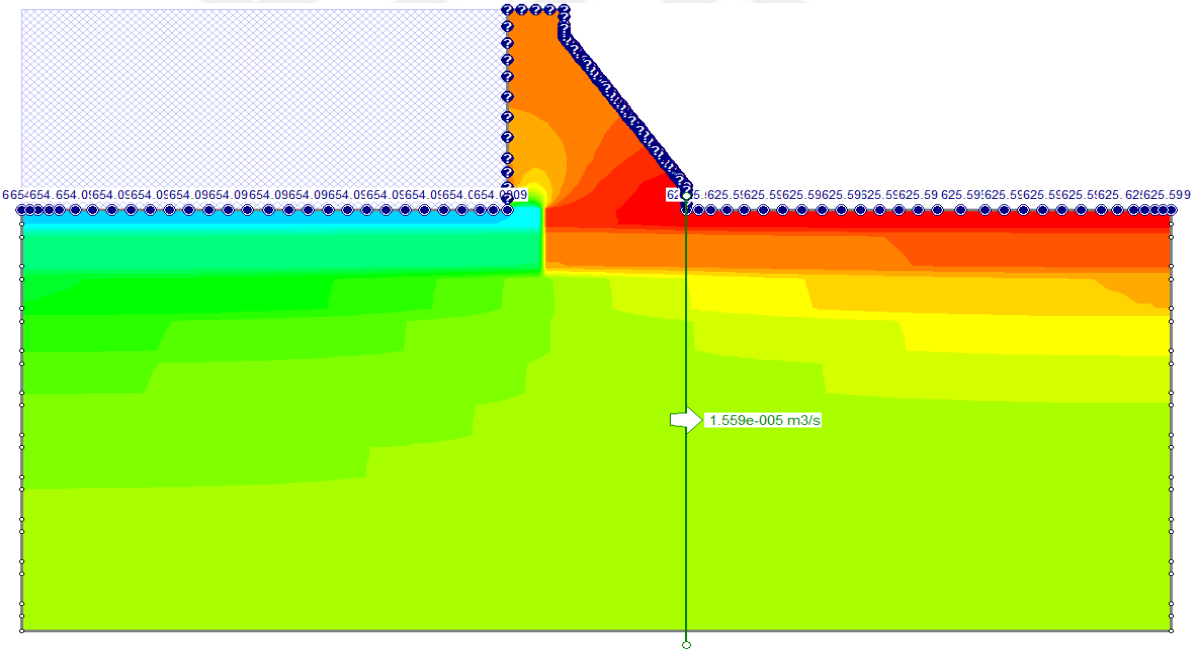


EK-D1 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

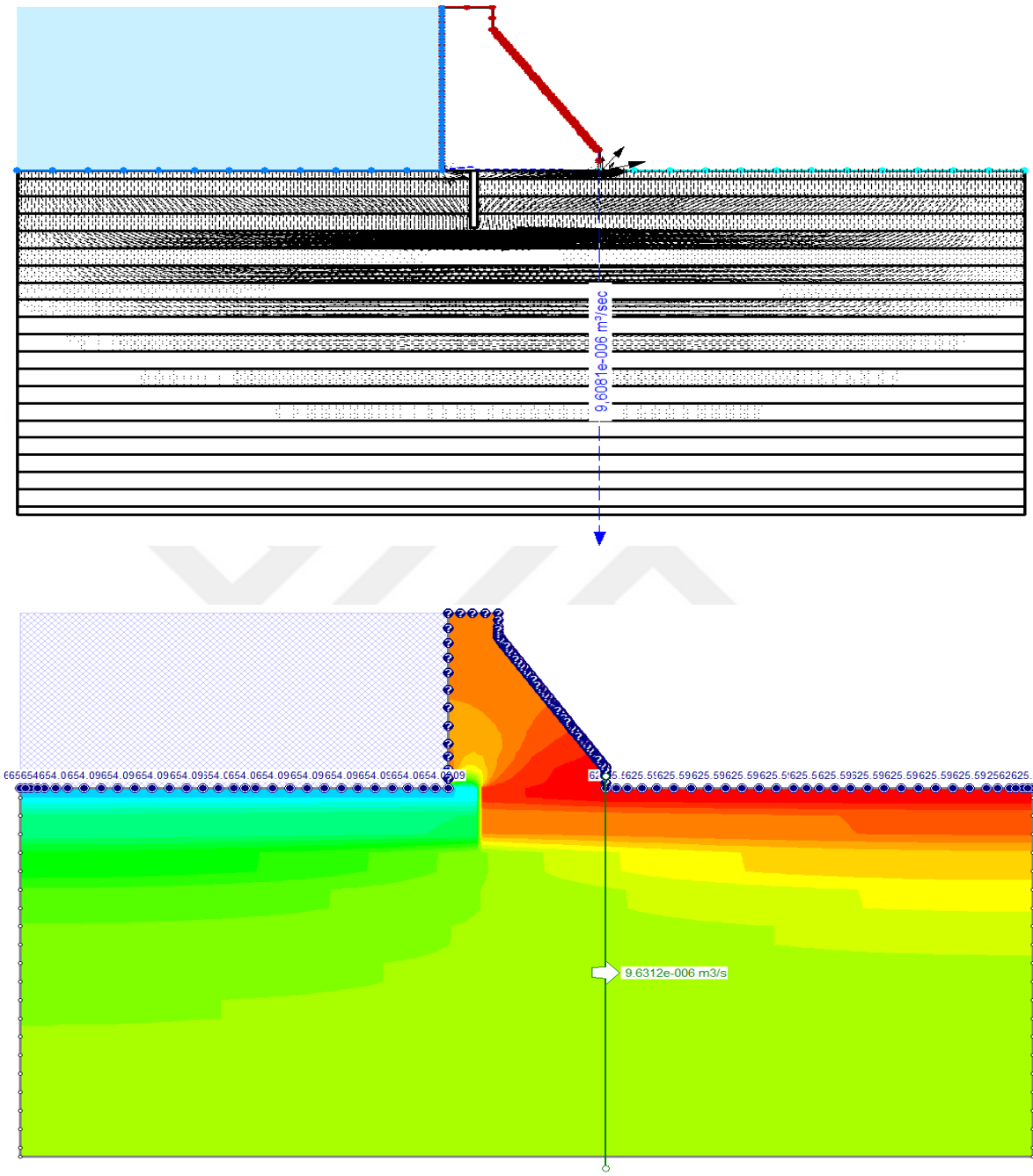


EK-D2 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

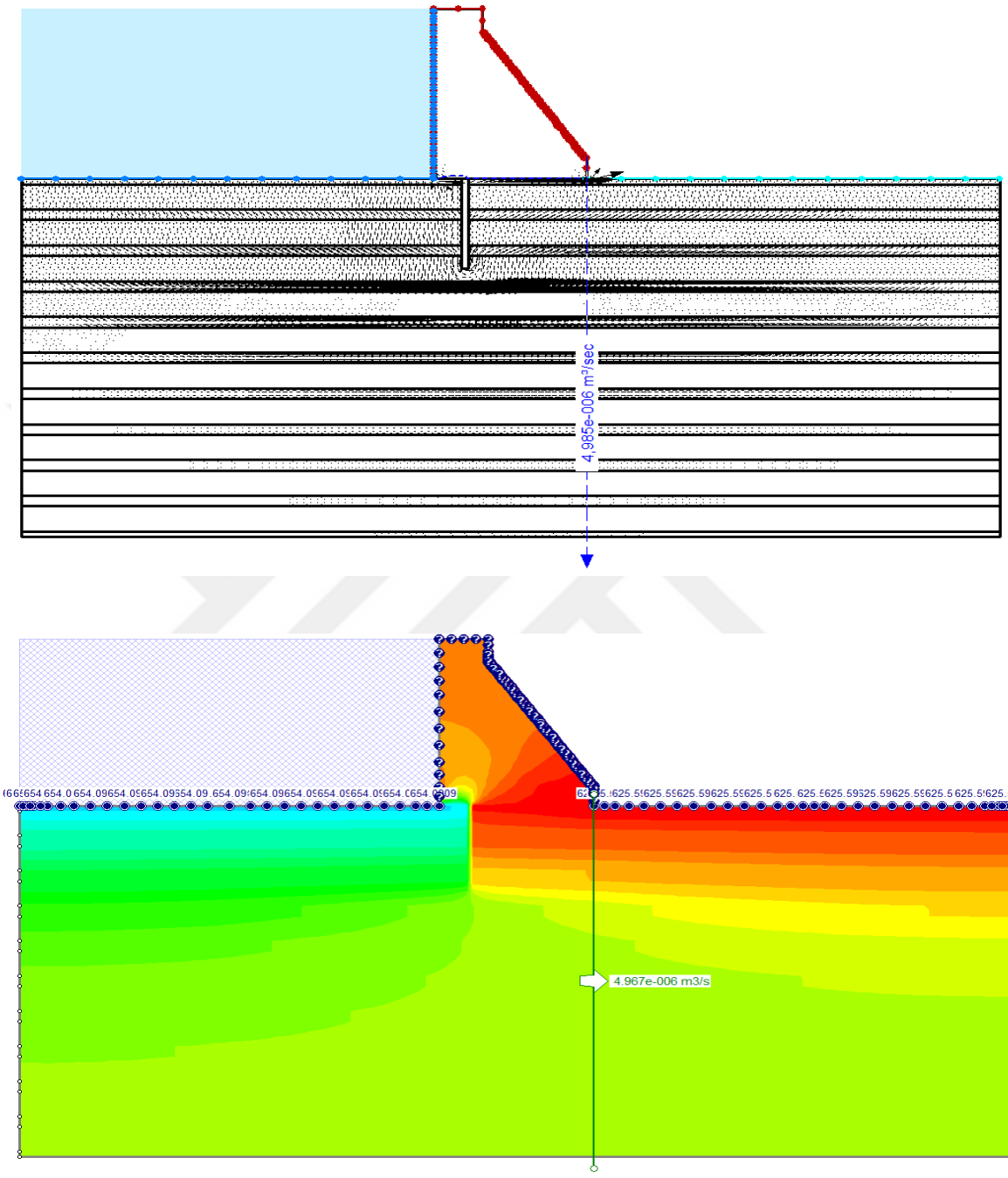




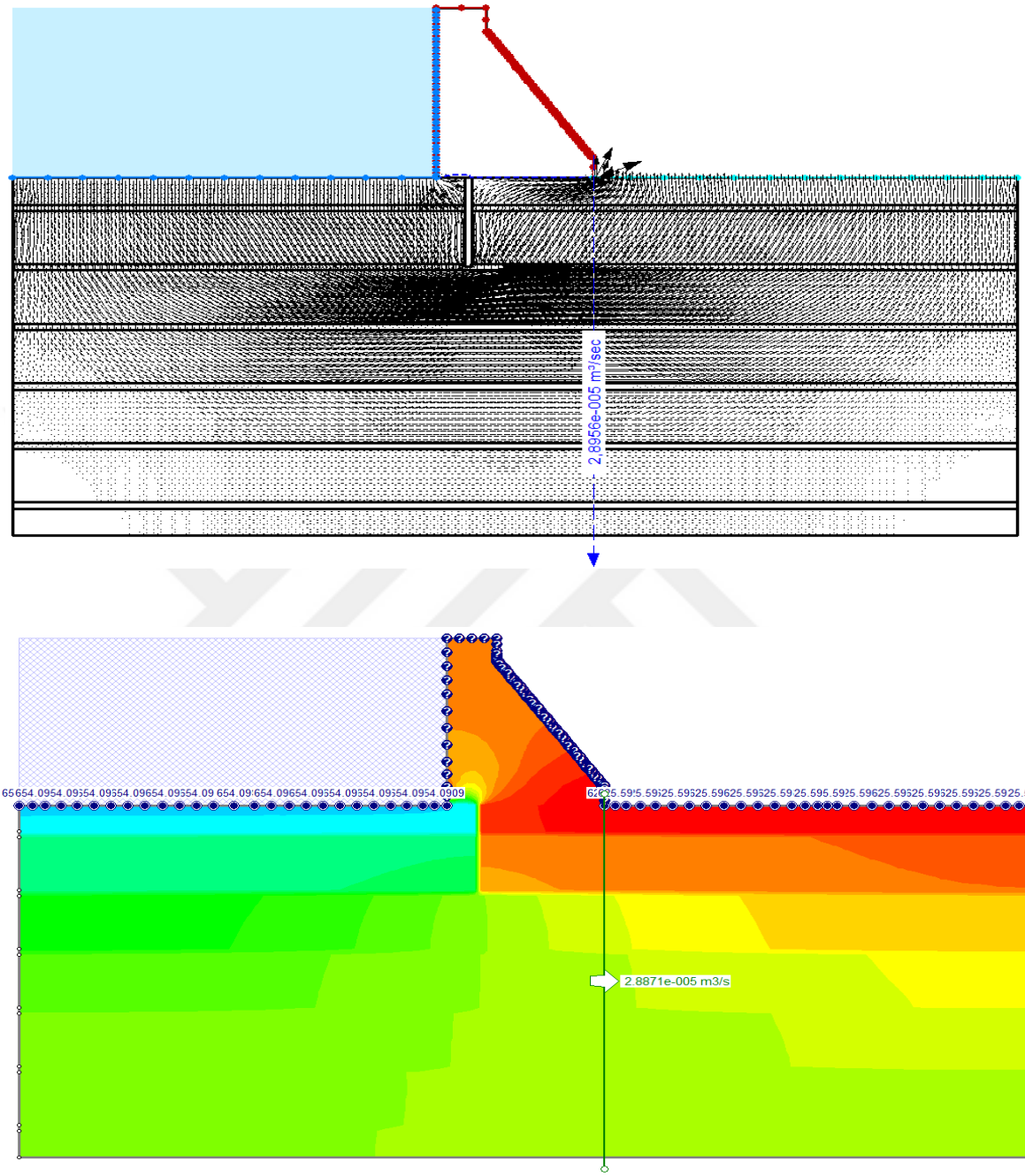
EK-D3 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



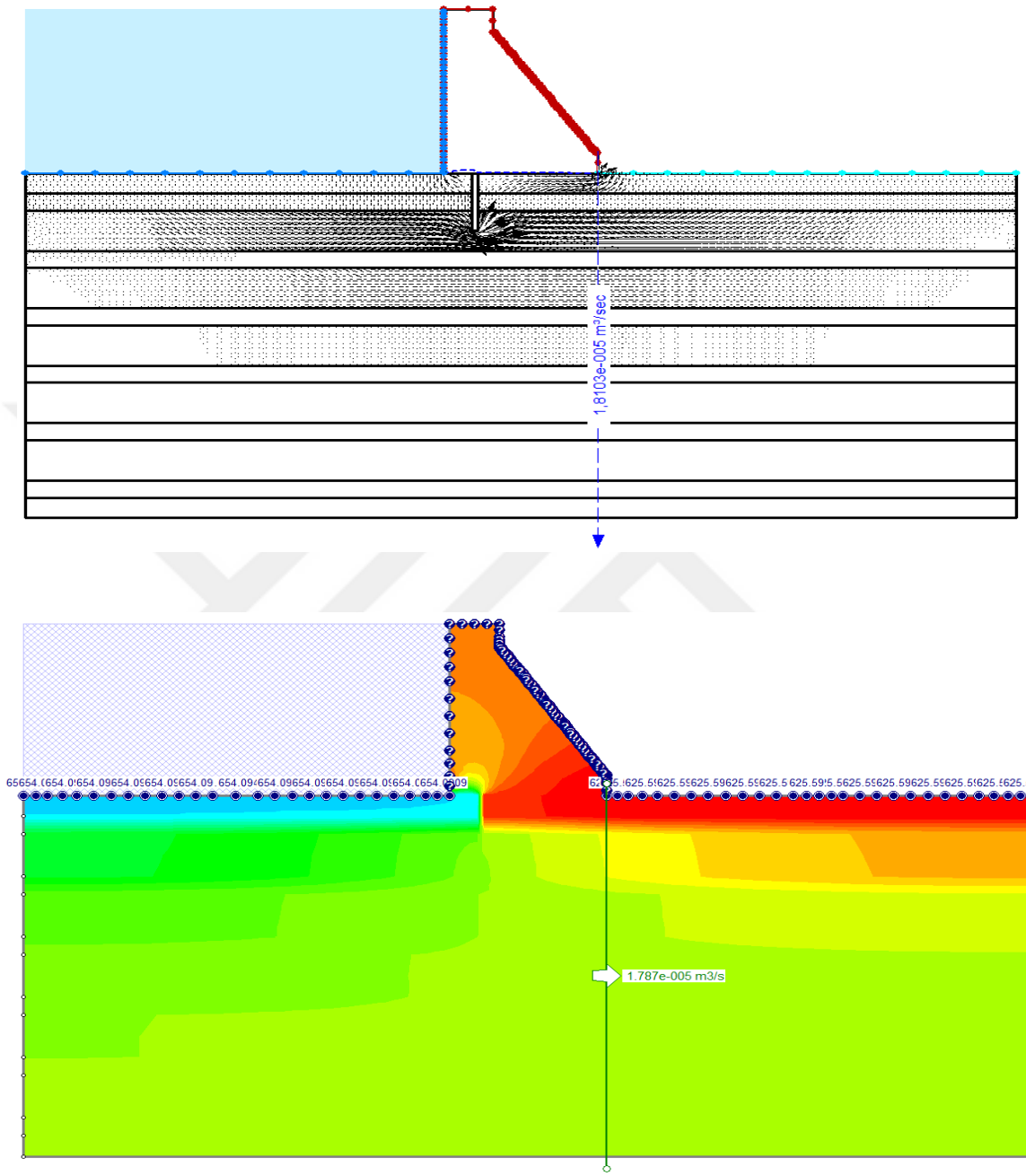
EK-D4 Senaryo-2b 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



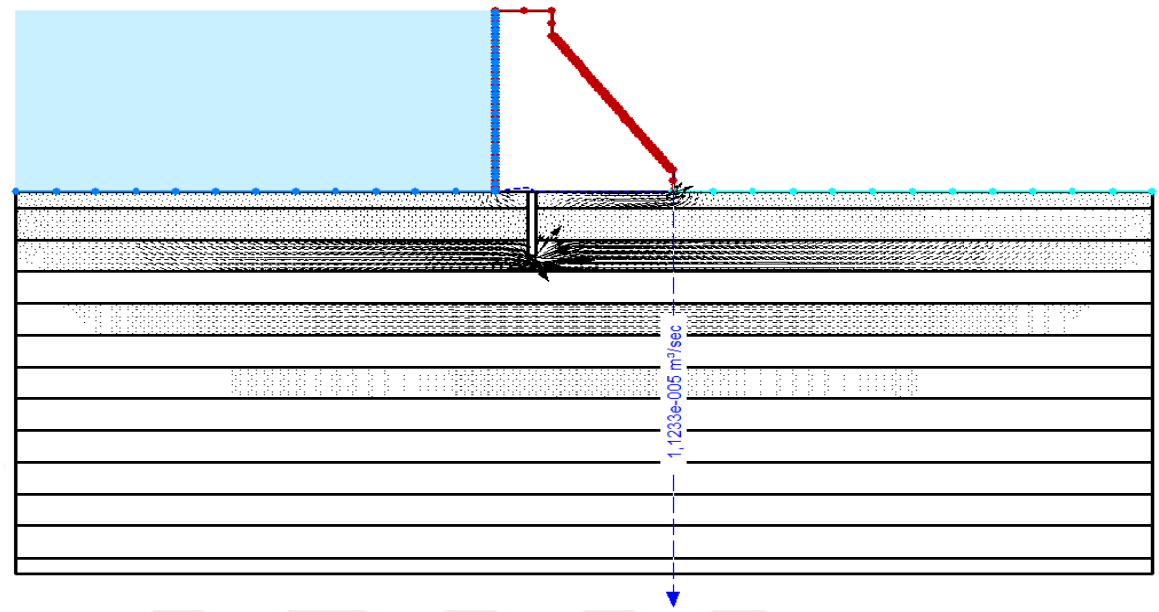
EK-D5 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

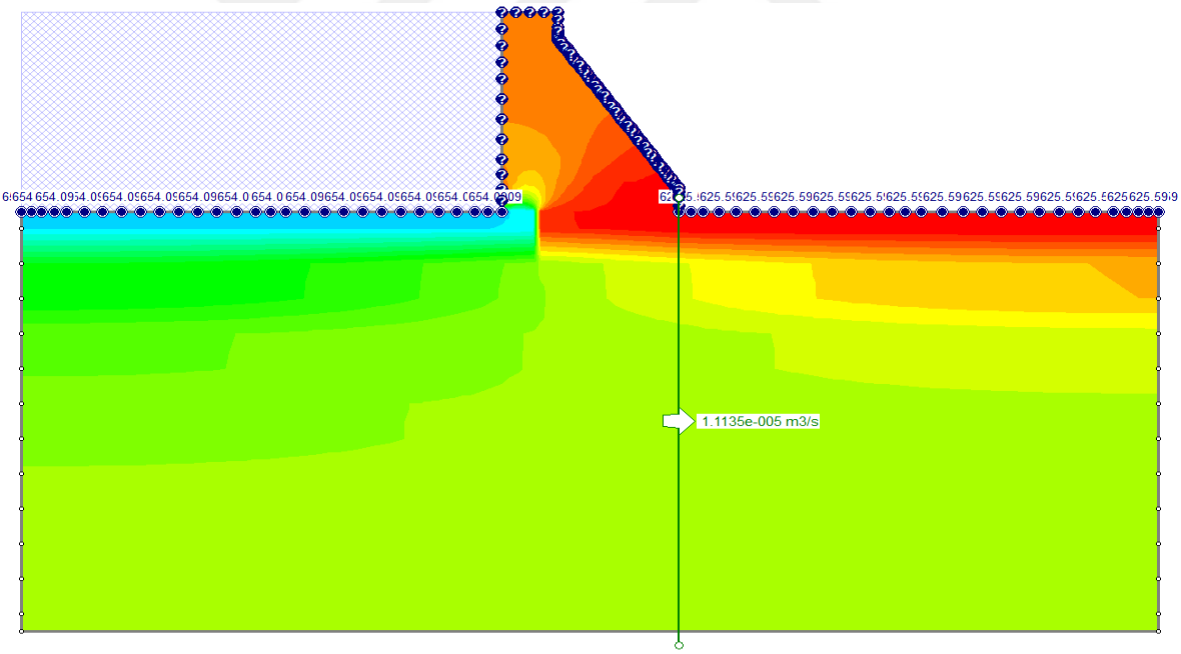


EK-D6 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

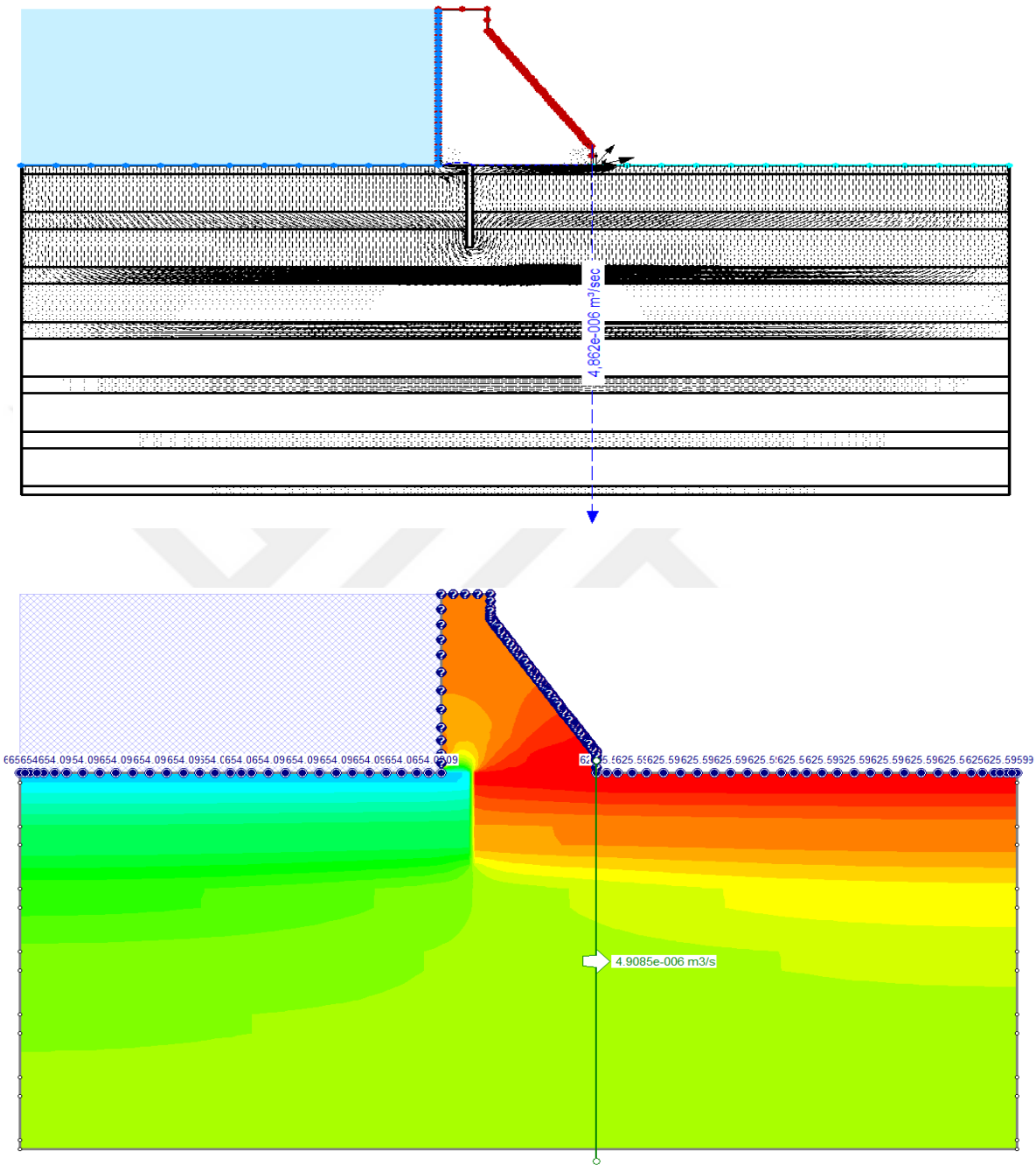


EK-D7 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

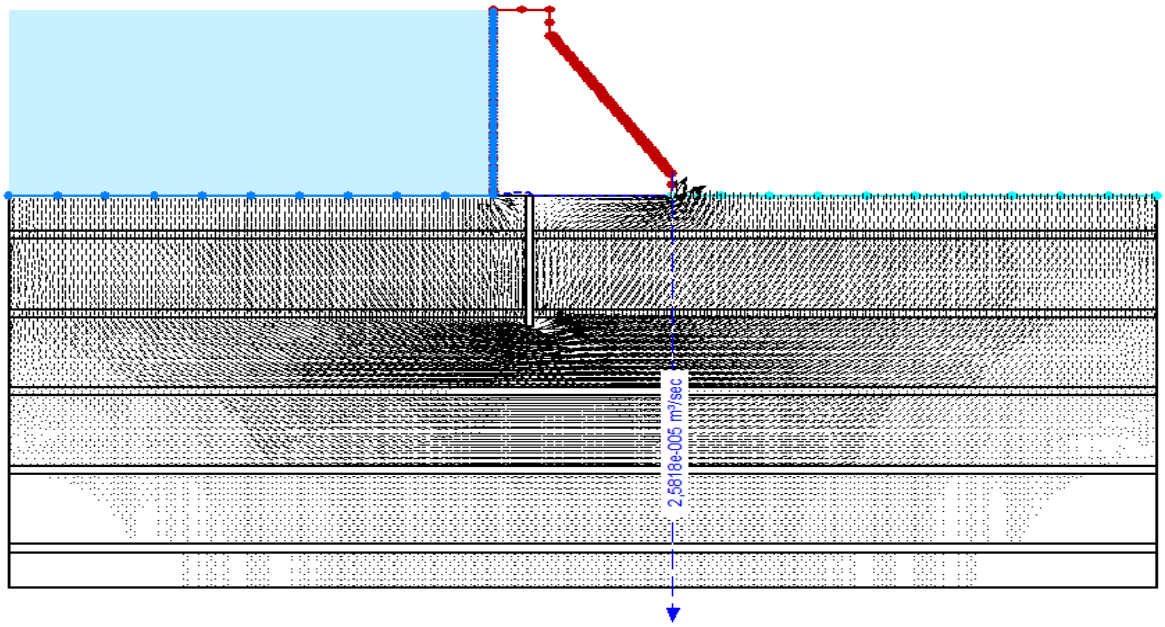


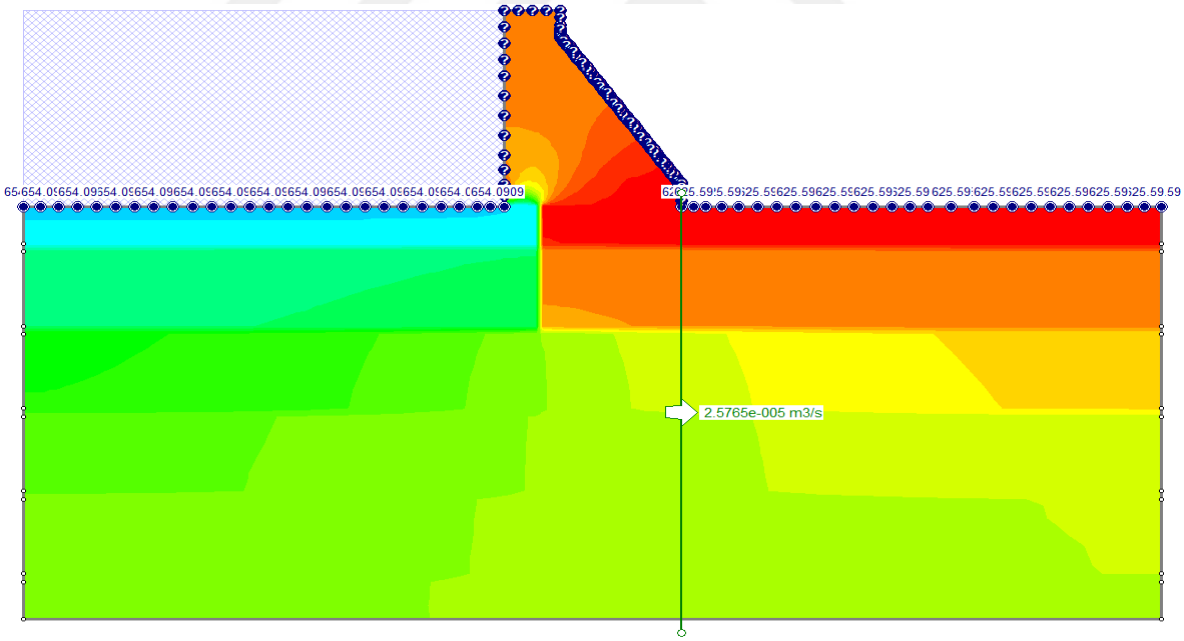


EK-D8 Senaryo-2b 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

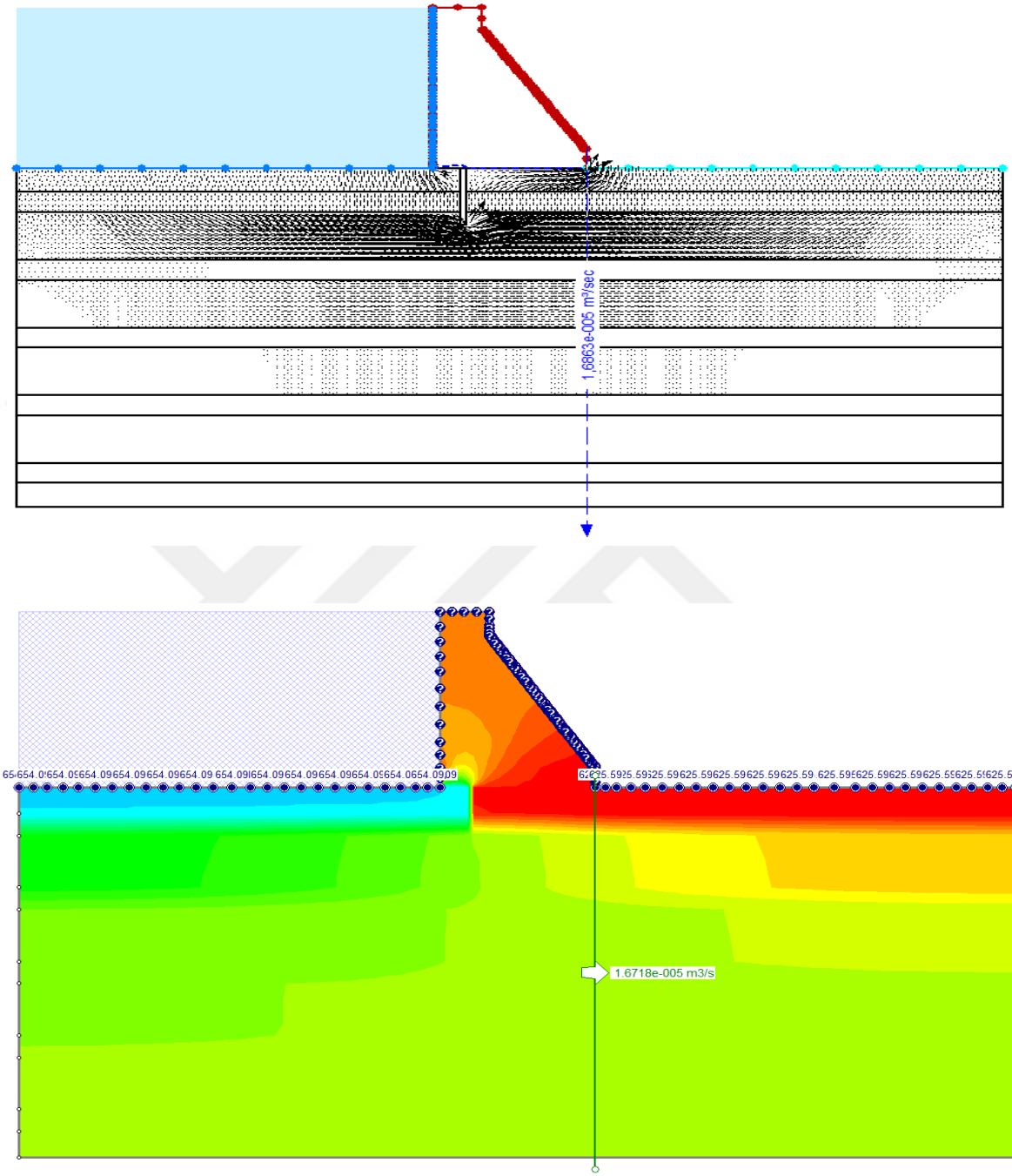


EK-D9 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 20 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

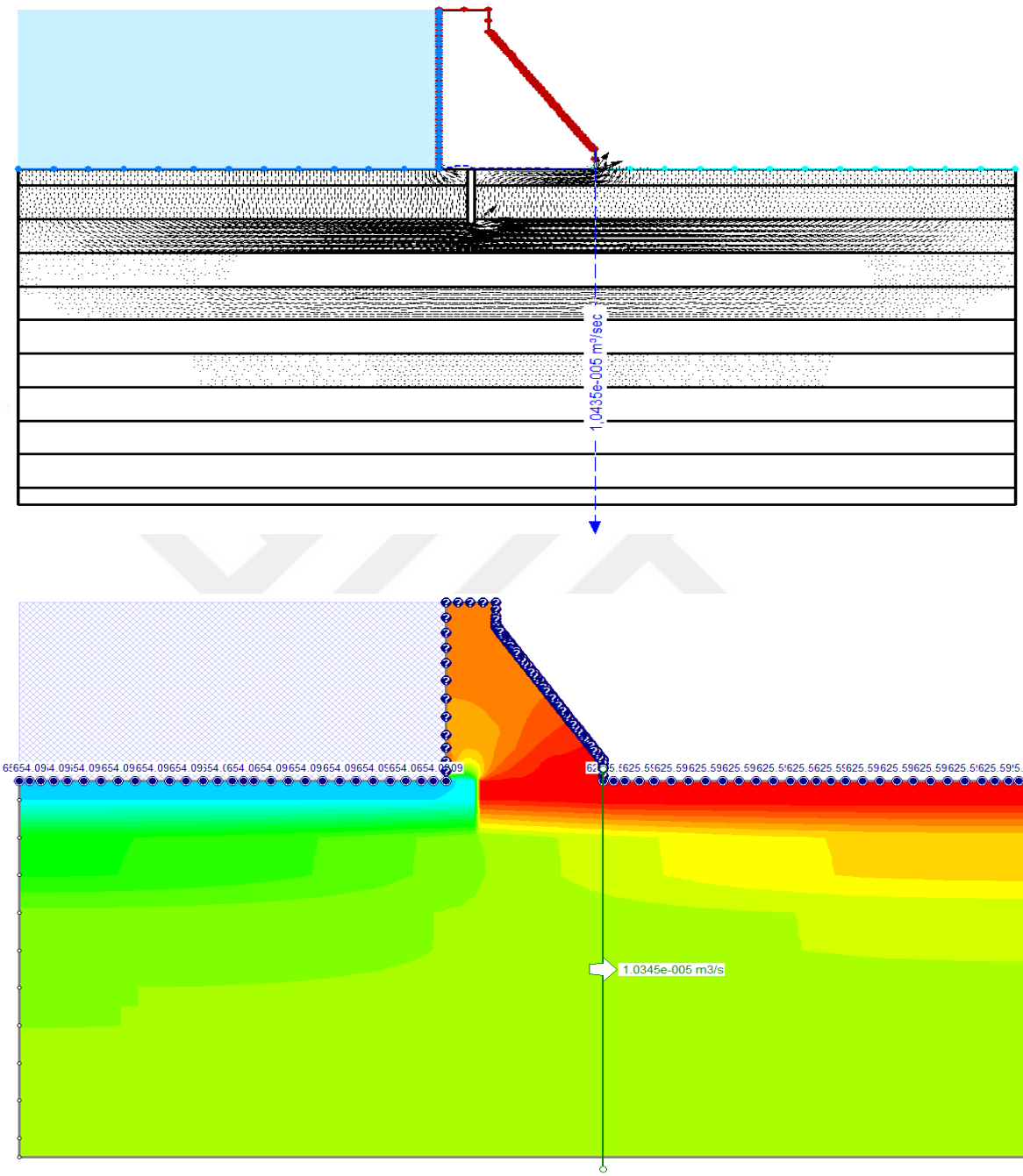




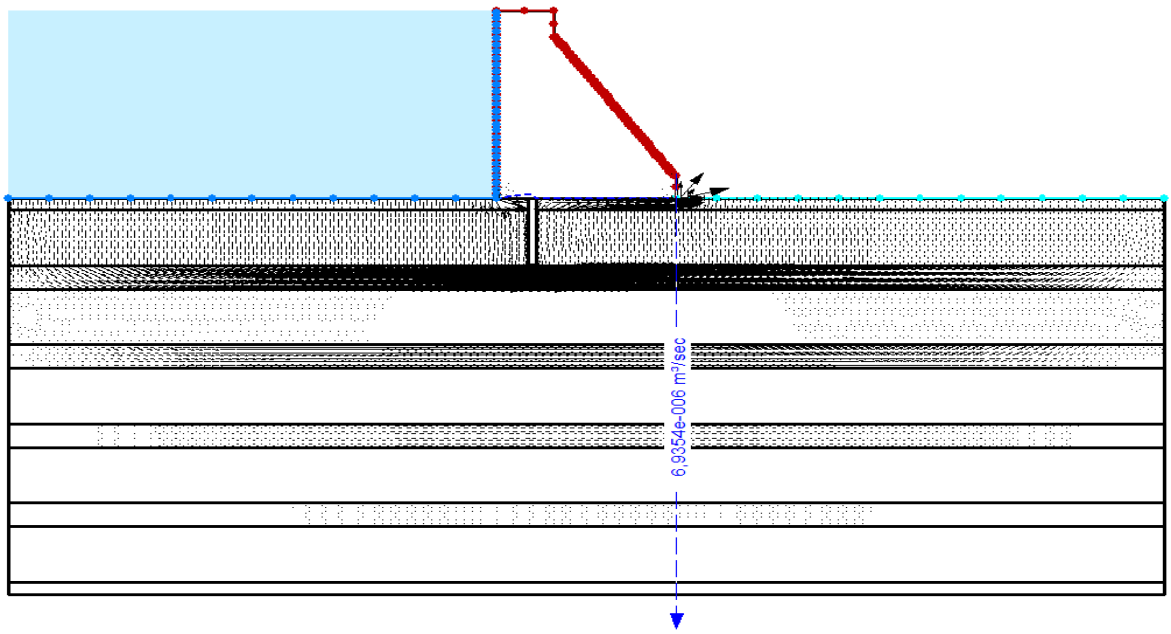
EK-D10 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

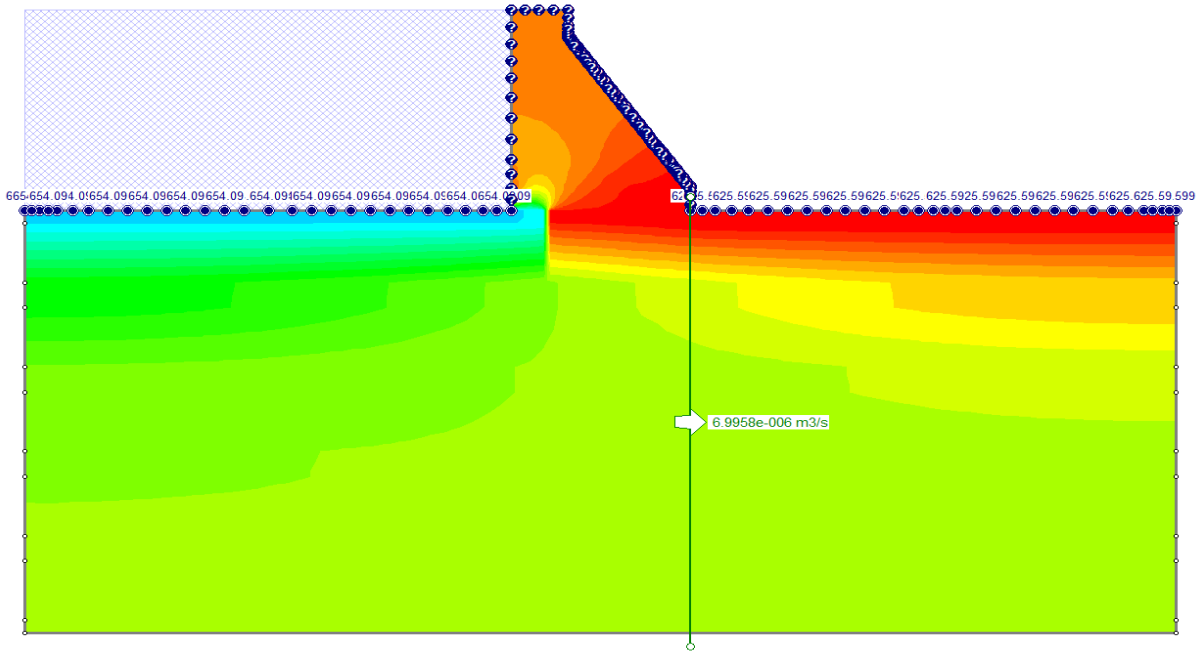


EK-D11 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

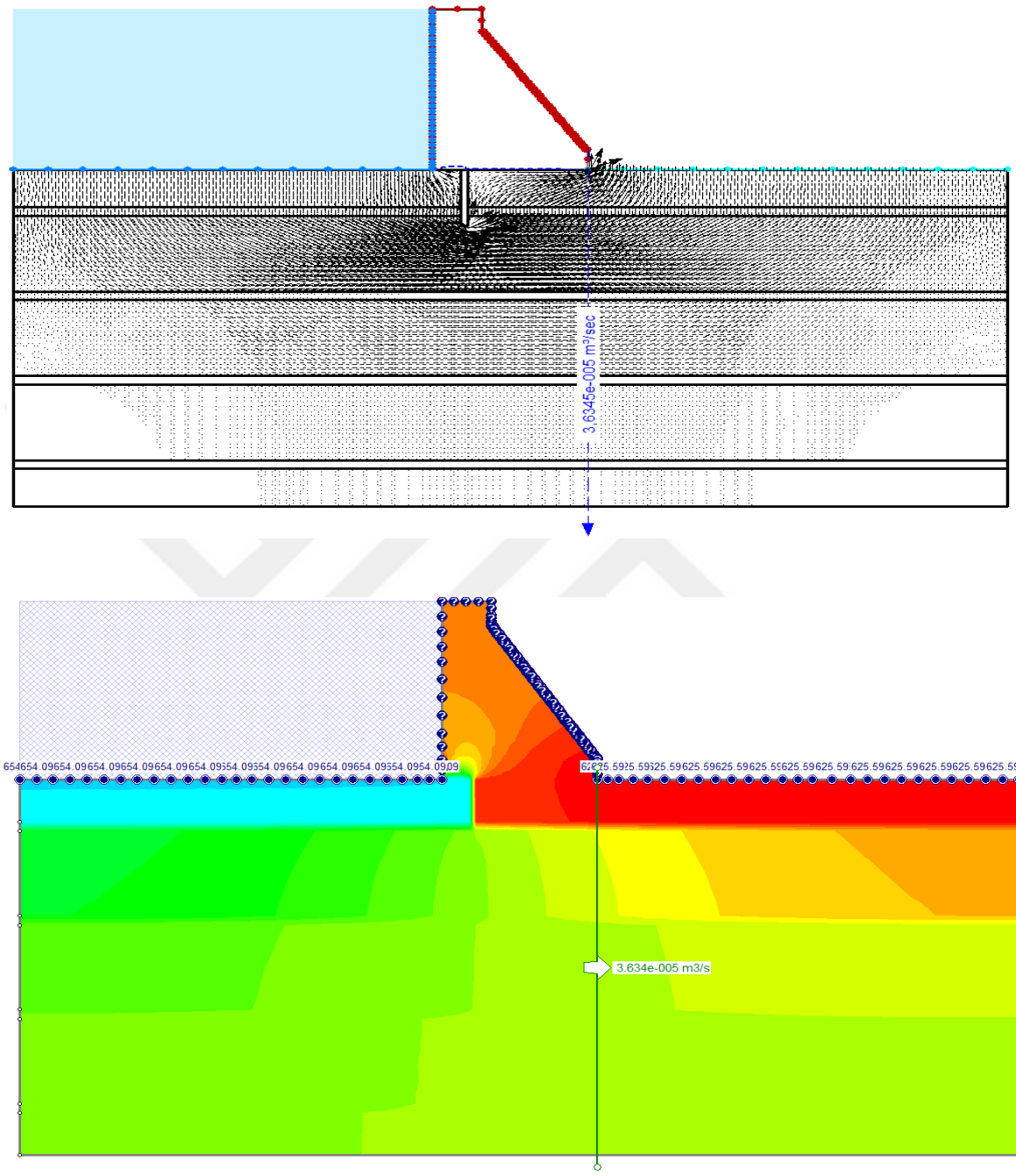


EK-D12 Senaryo-2b 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

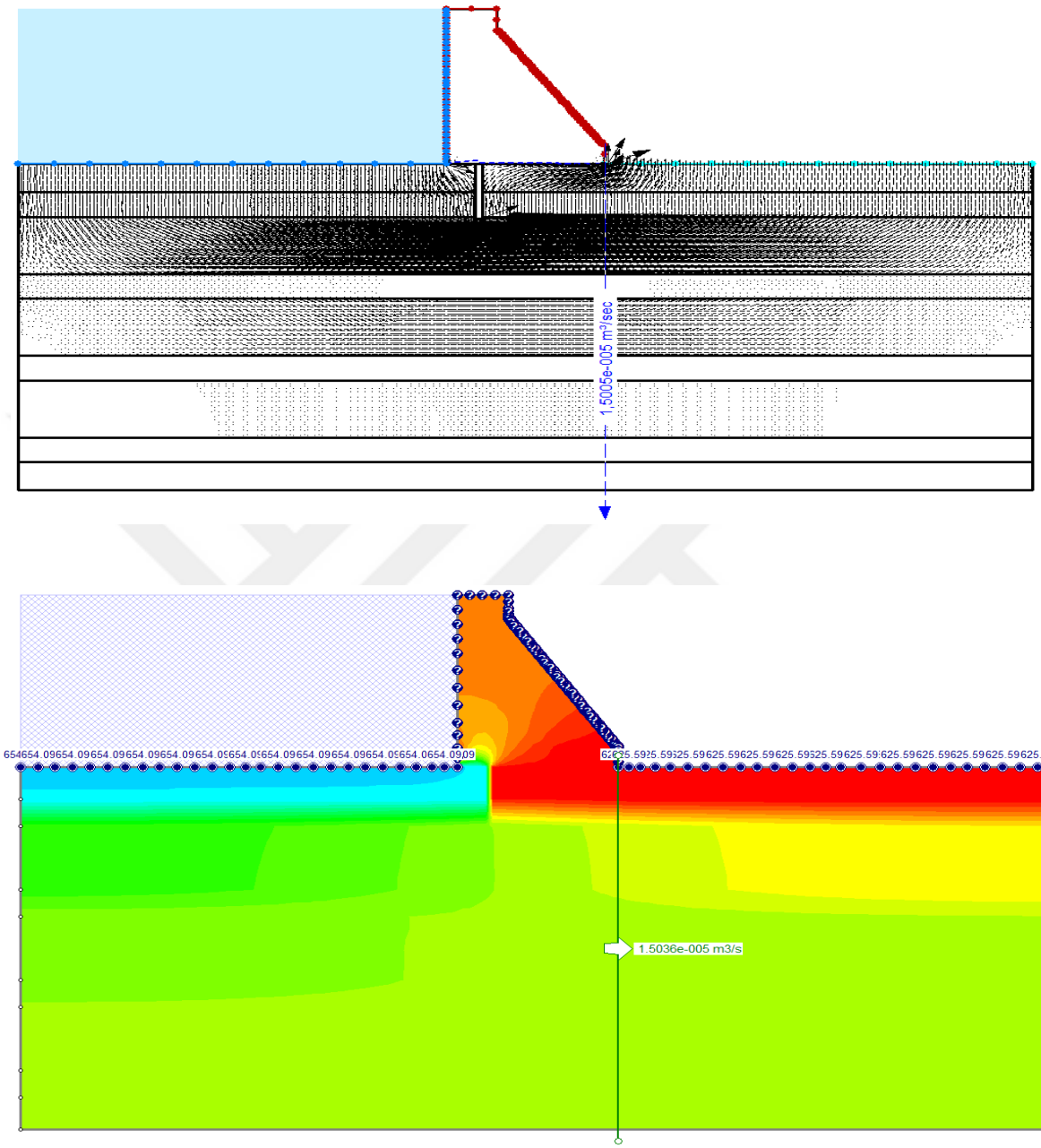




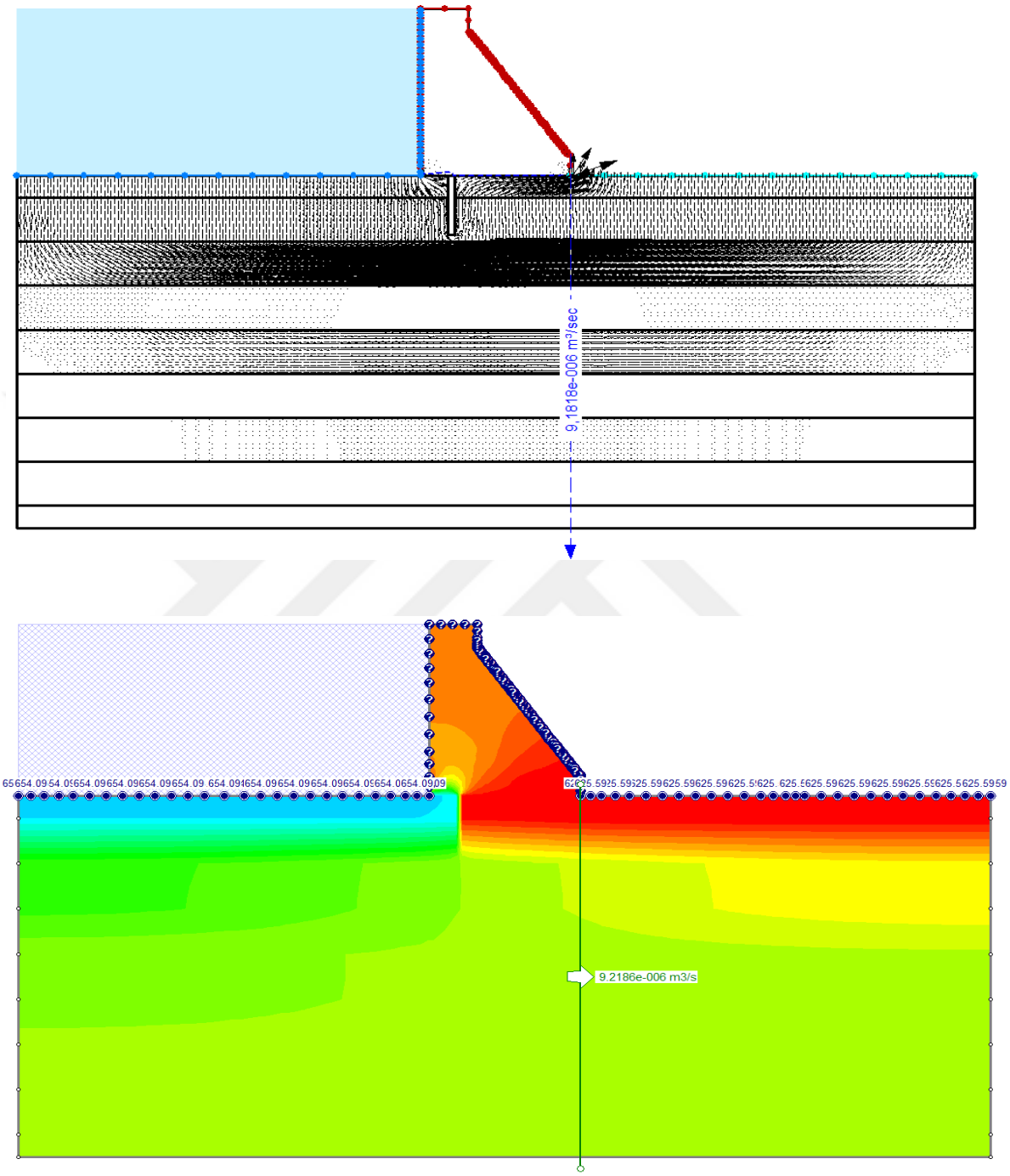
EK-D13 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



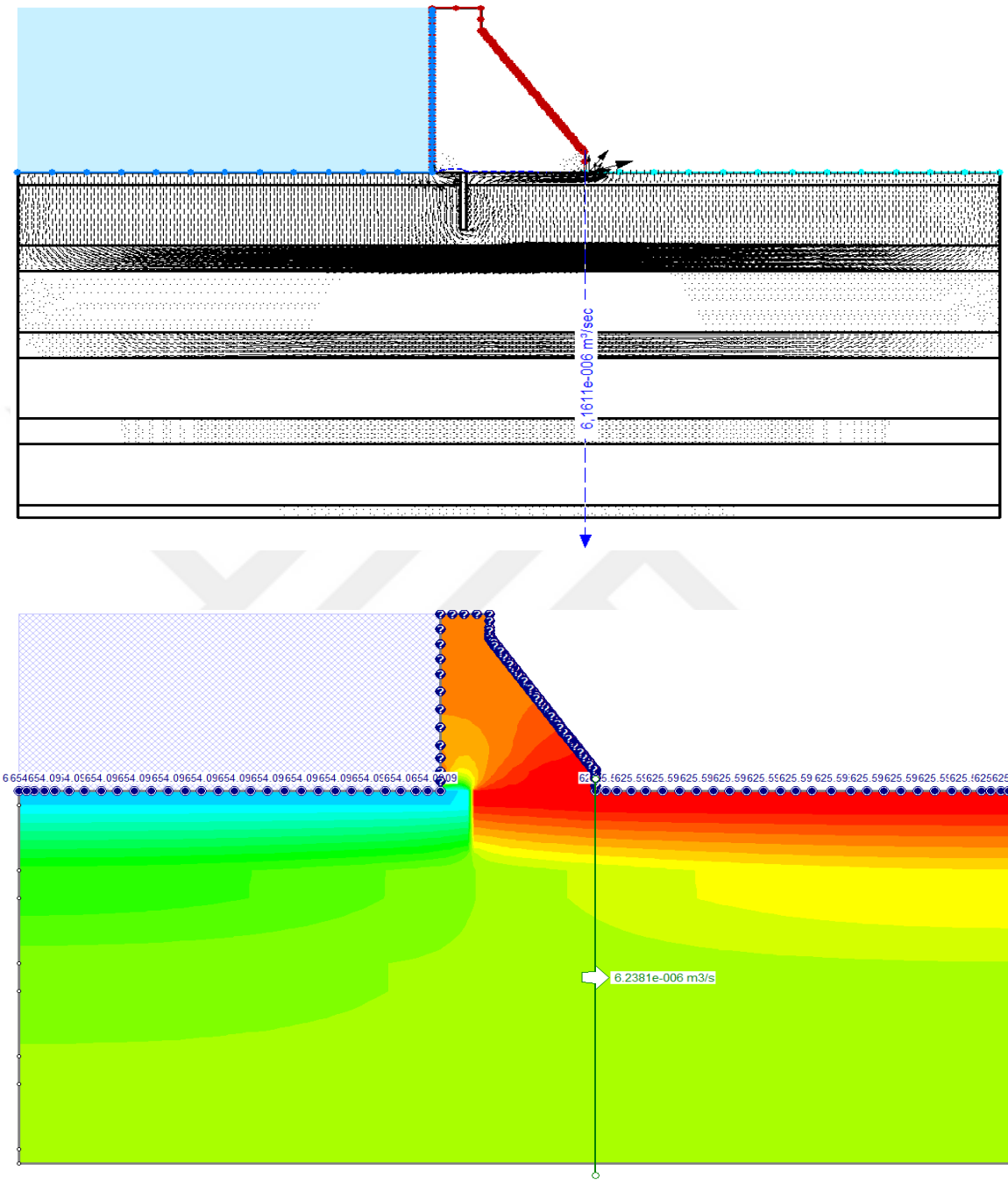
EK-D14 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



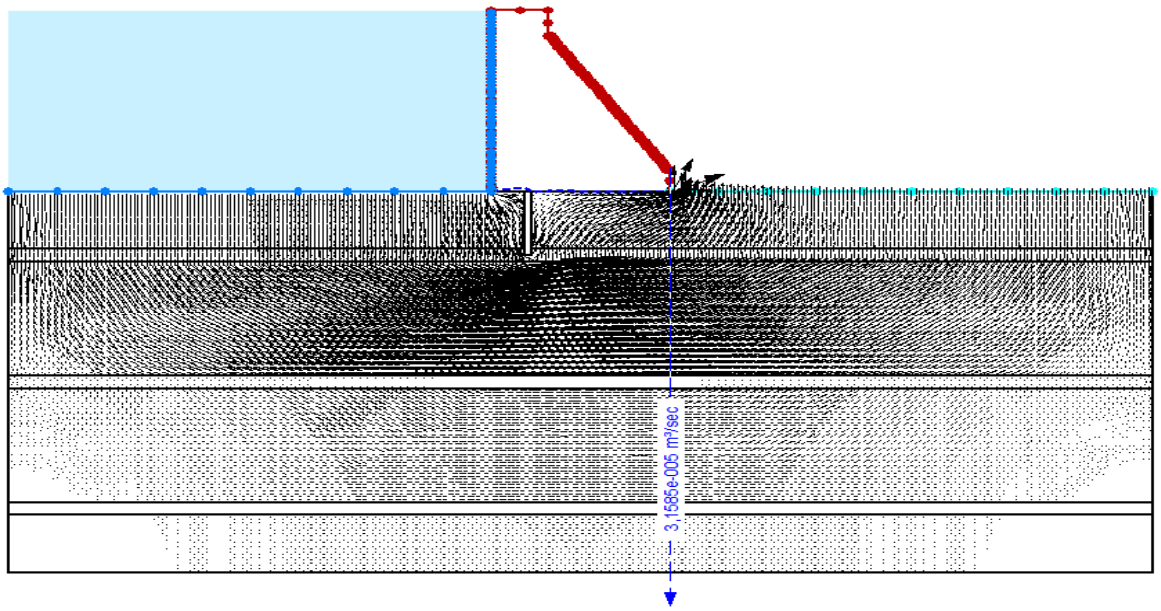
EK-D15 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

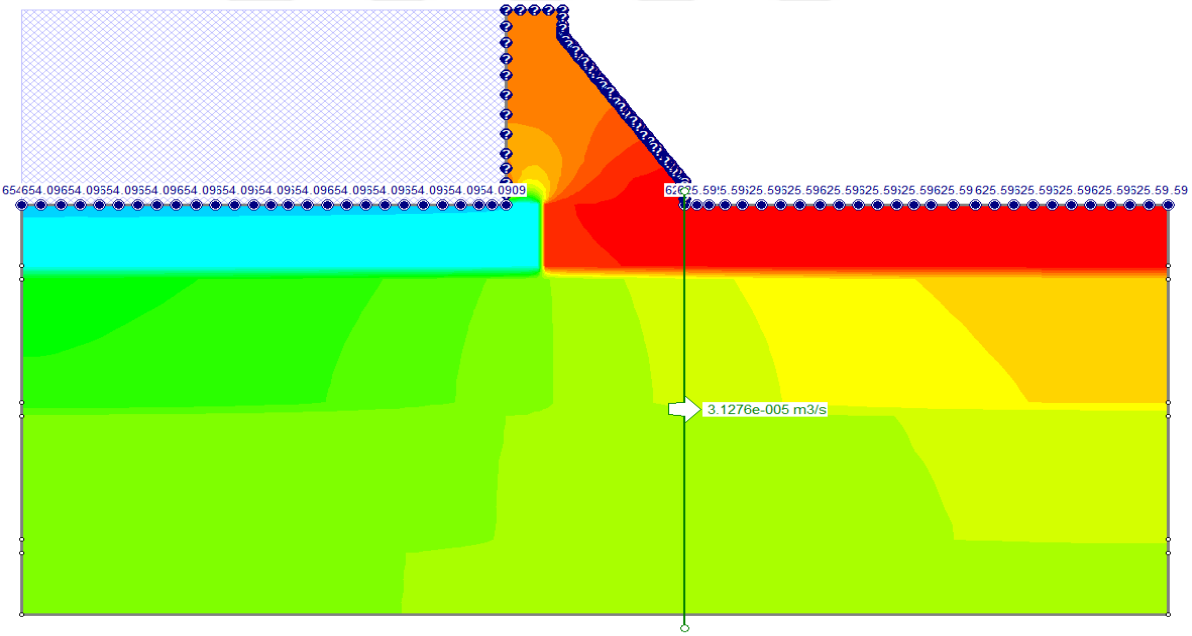


EK-D16 Senaryo-2b 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

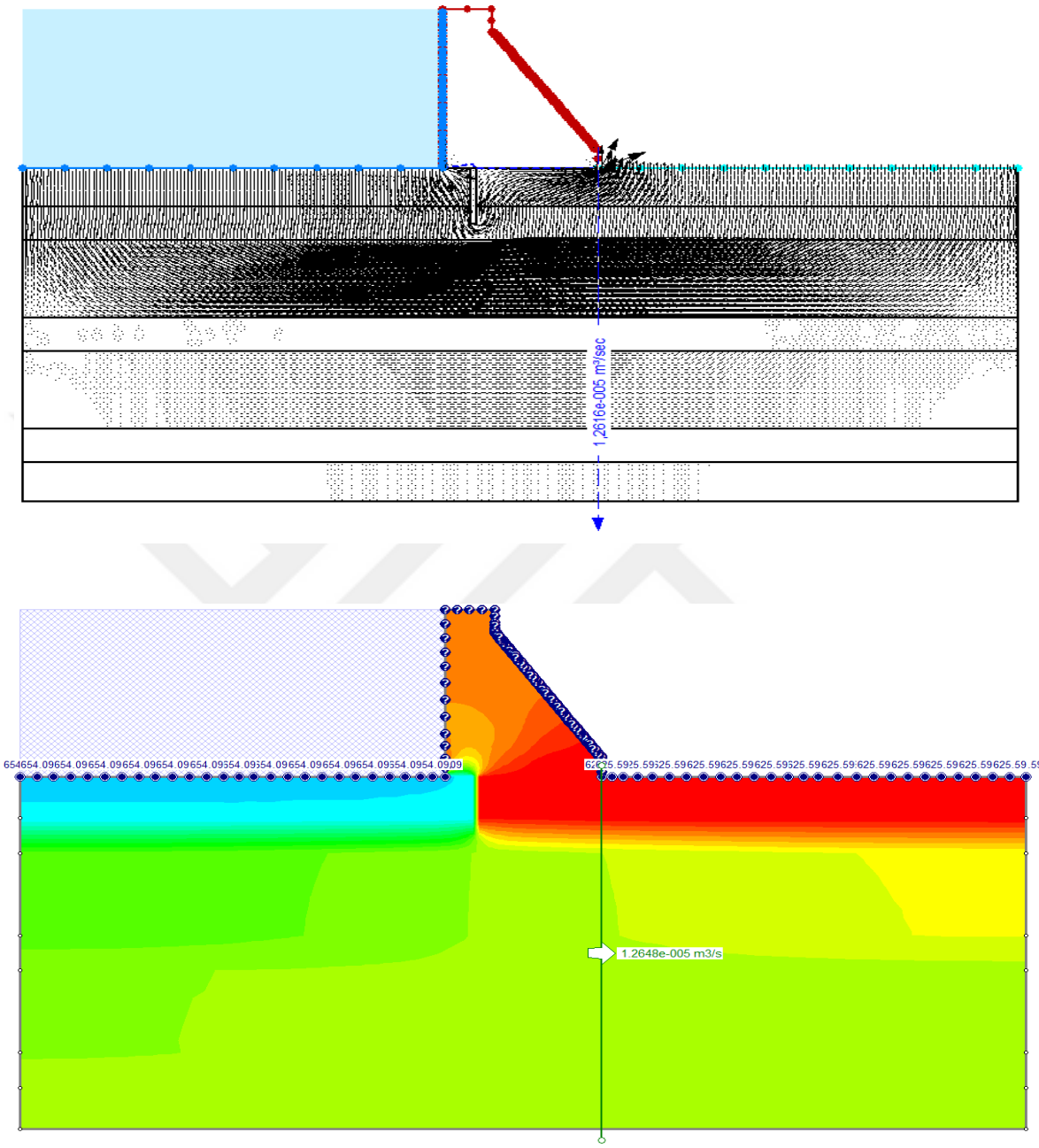


EK-D17 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

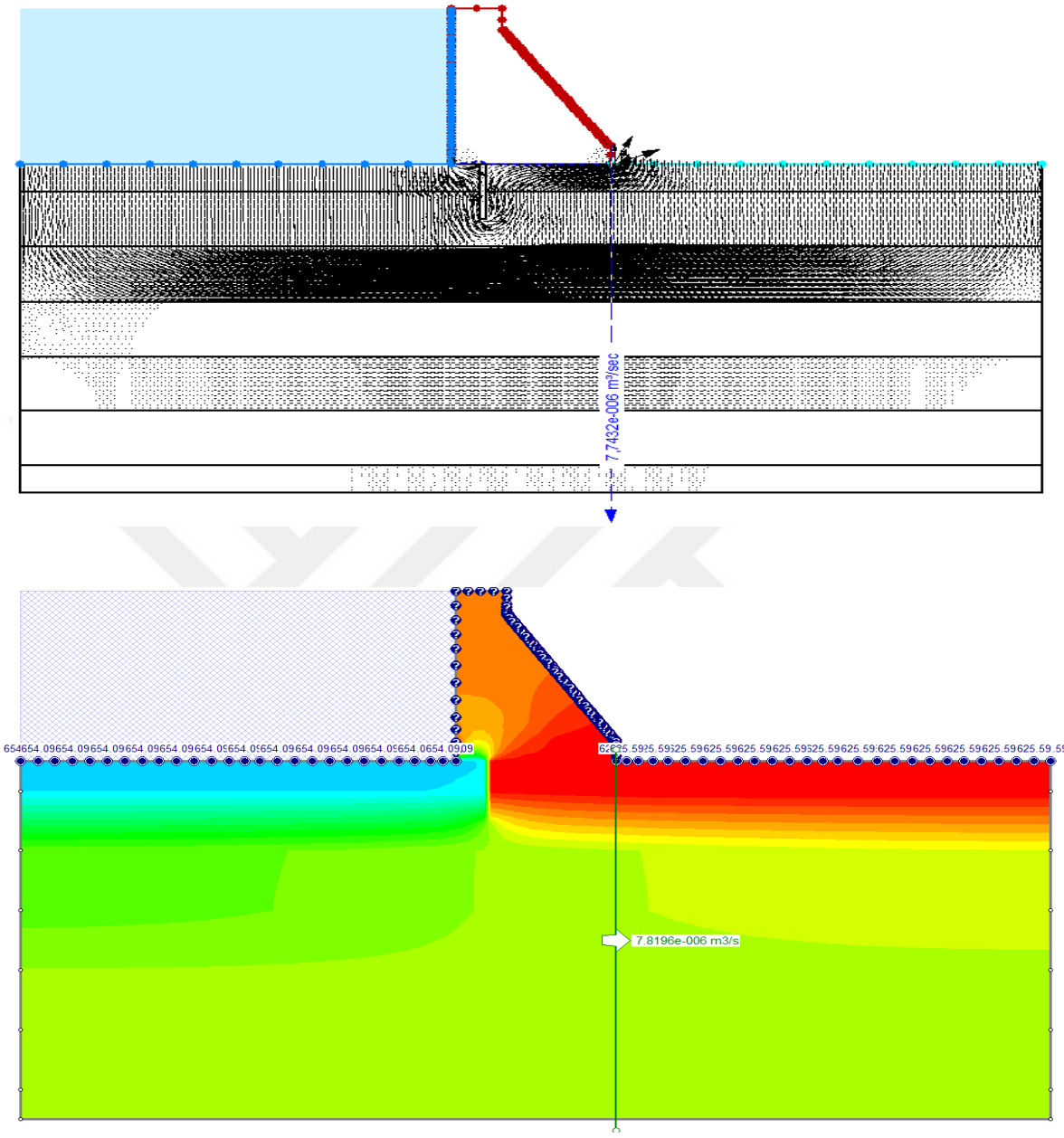




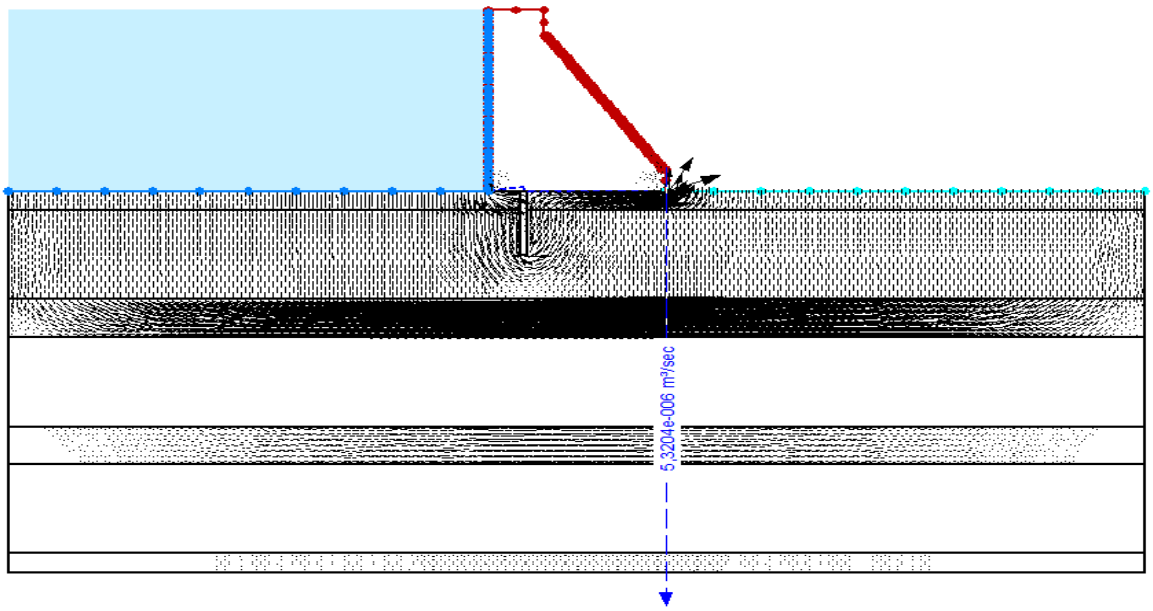
EK-D18 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

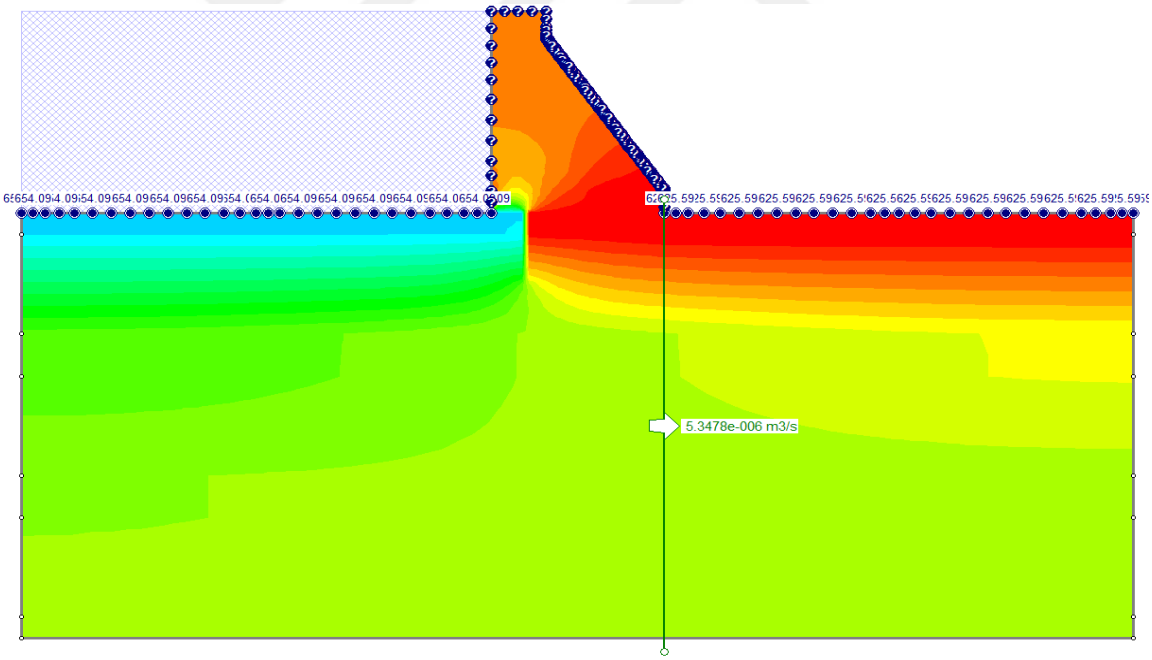


EK-D19 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

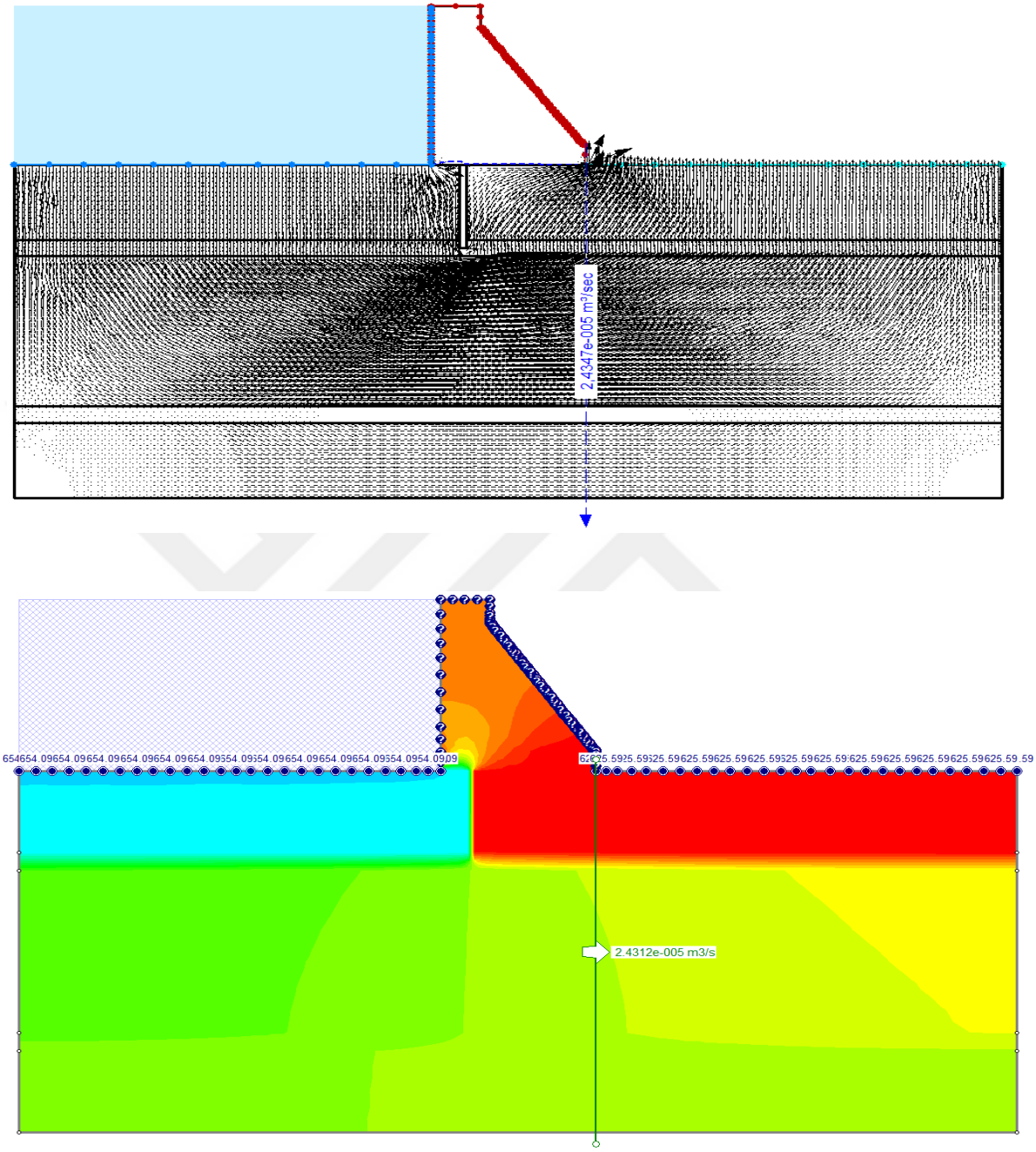


EK-D20 Senaryo-2b 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

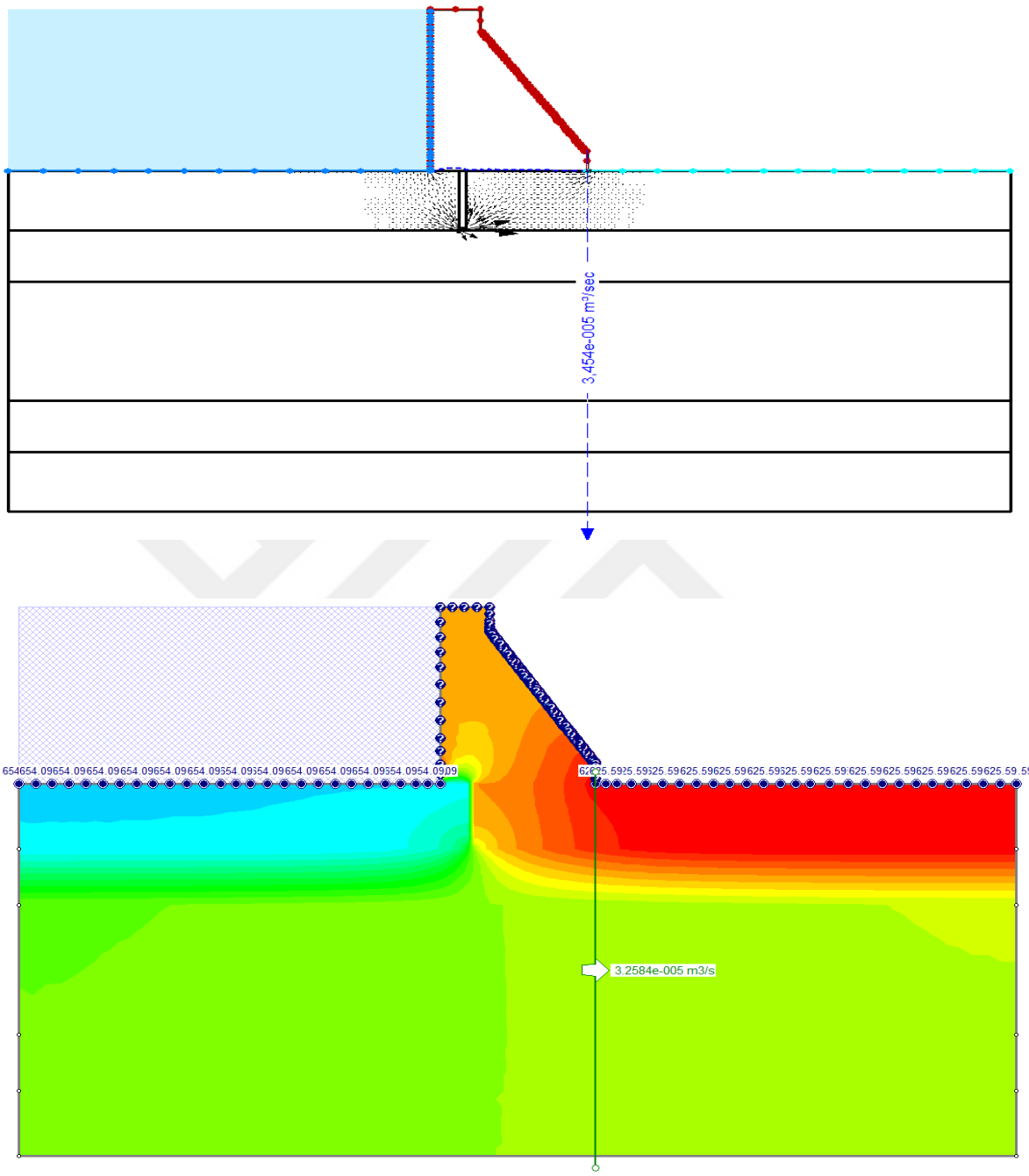




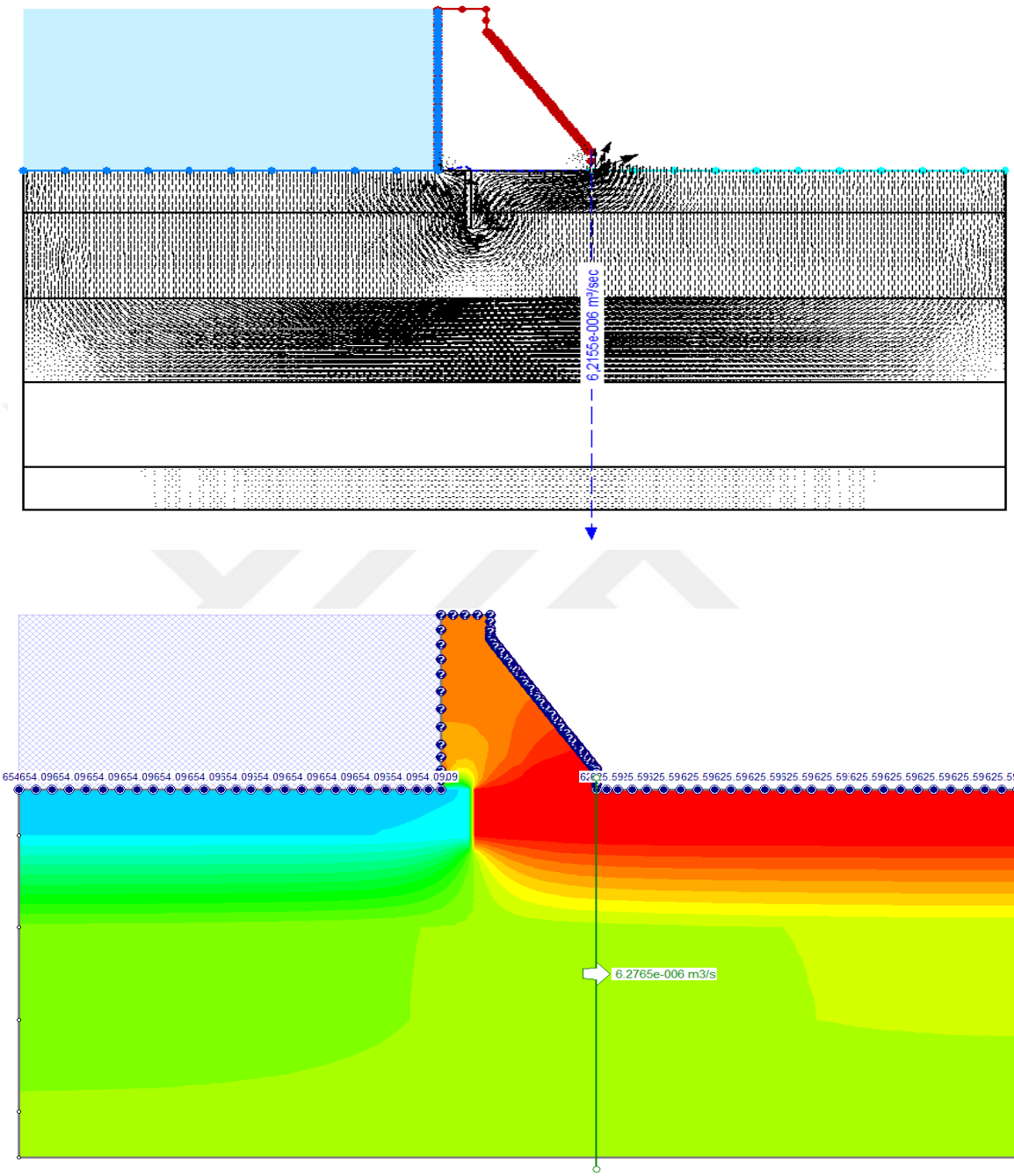
EK-D21 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



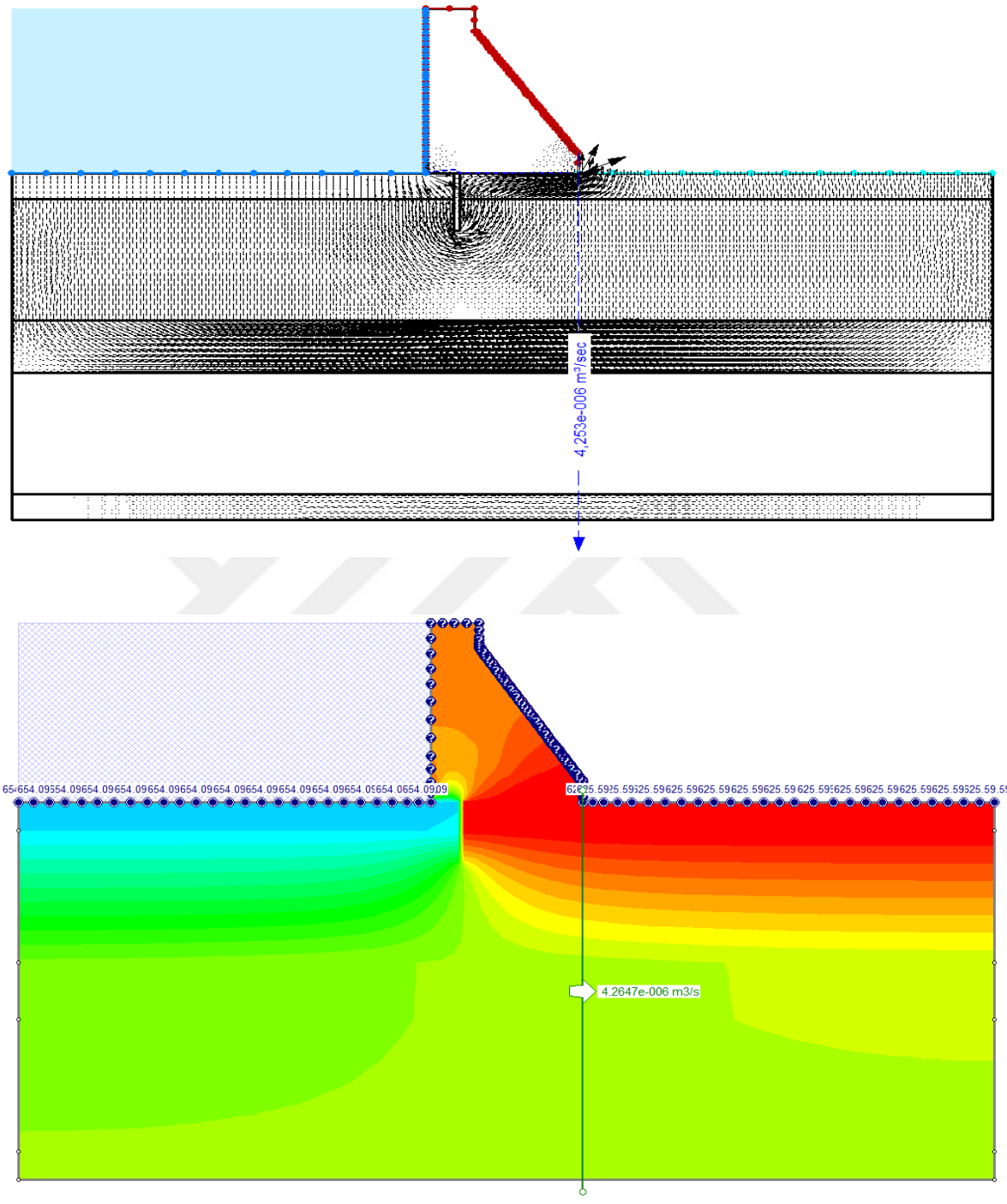
EK-D22 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



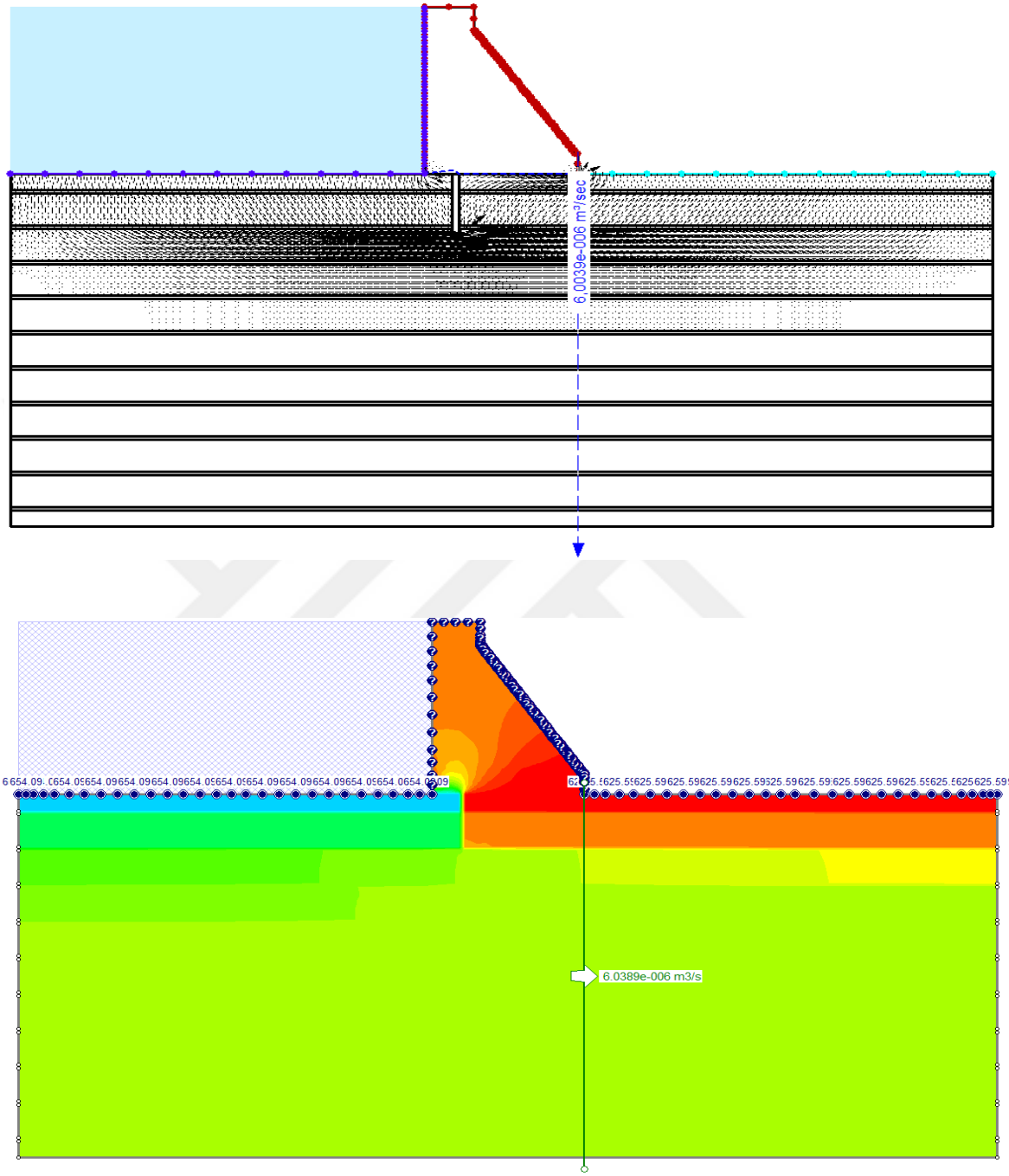
EK-D23 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



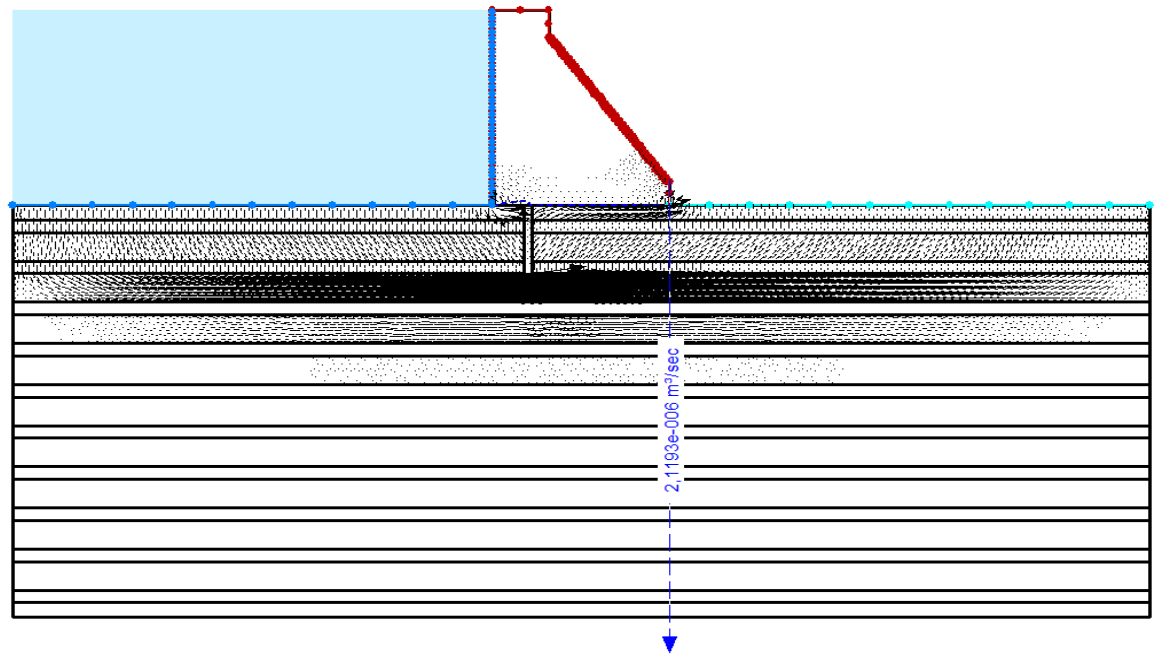
EK-D24 Senaryo-2b 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

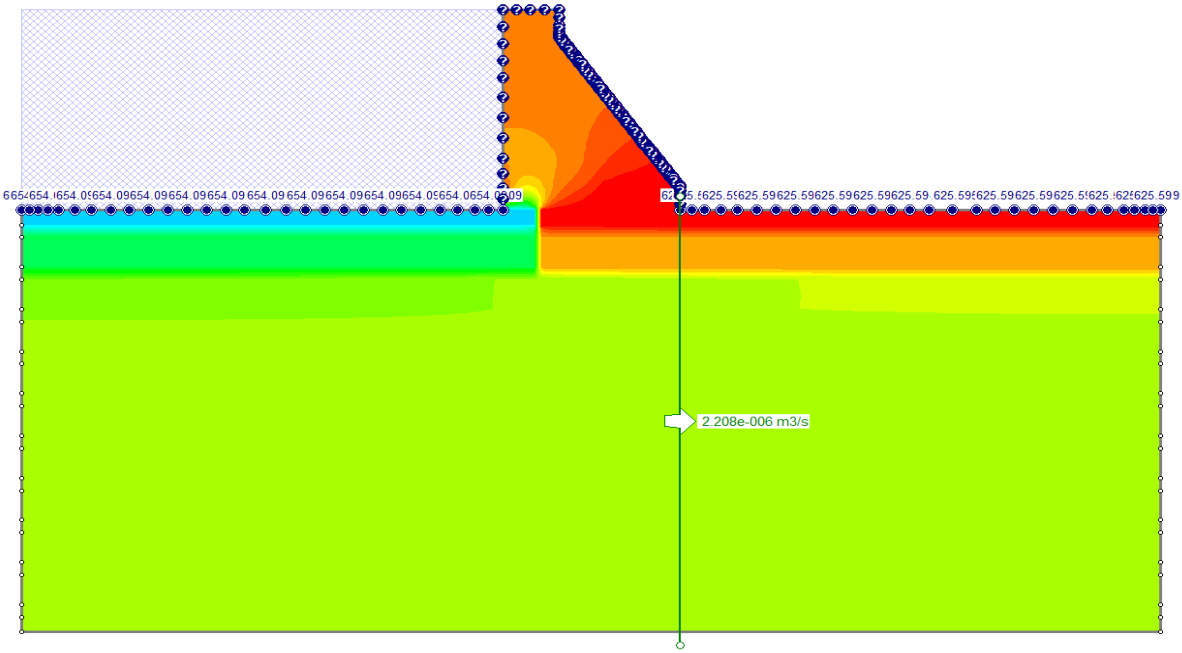


EK-E1 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

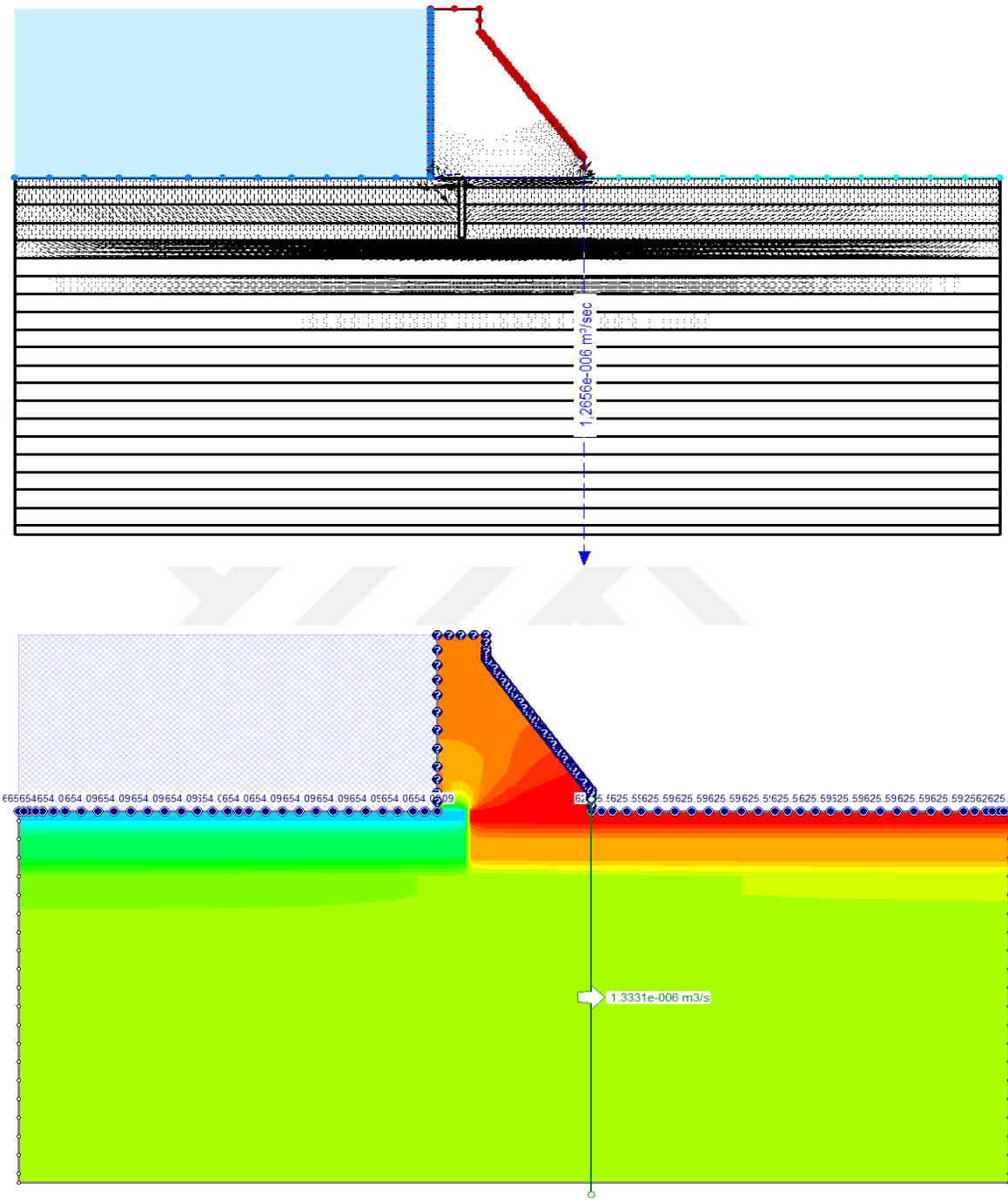


EK-E2 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

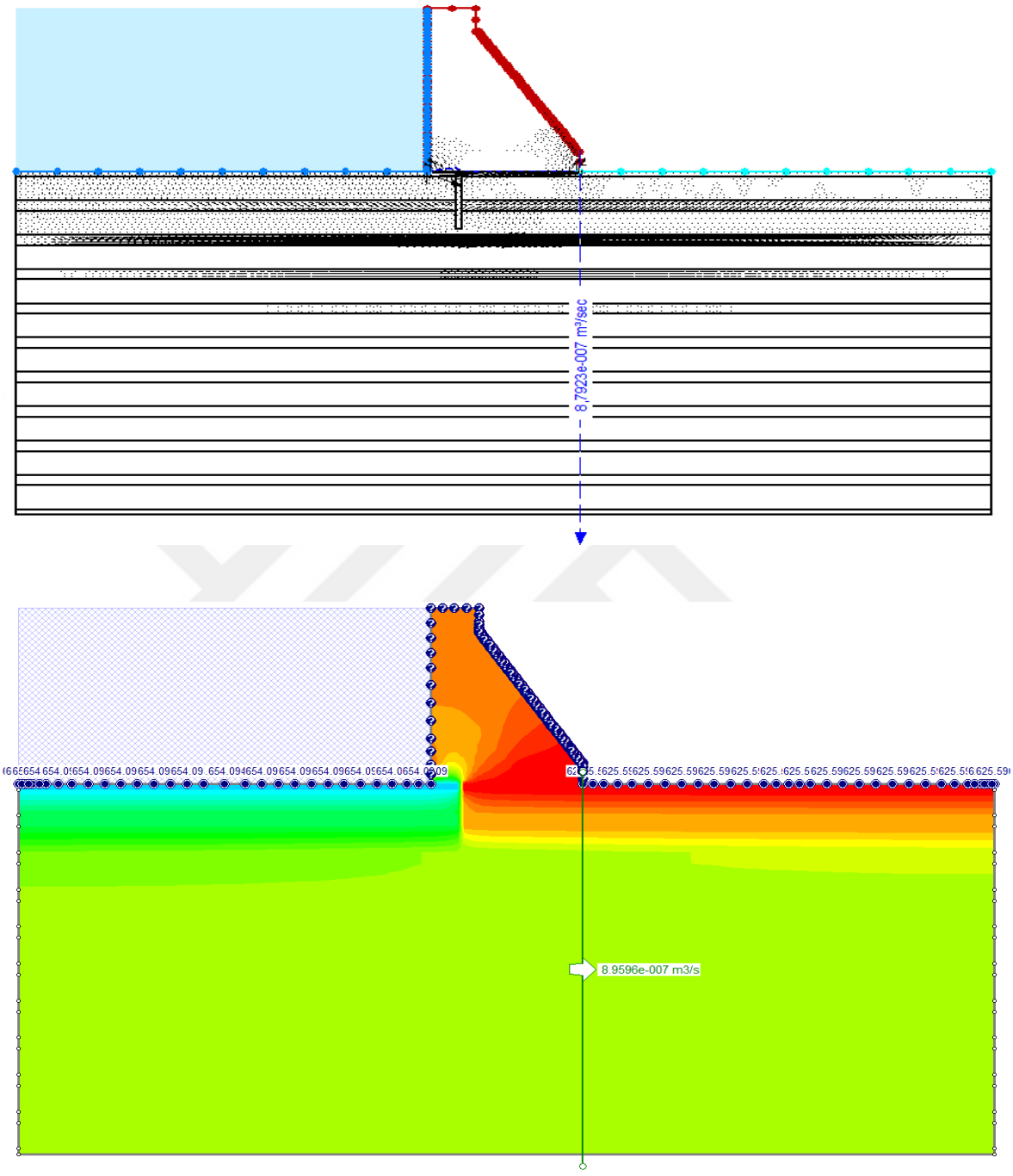




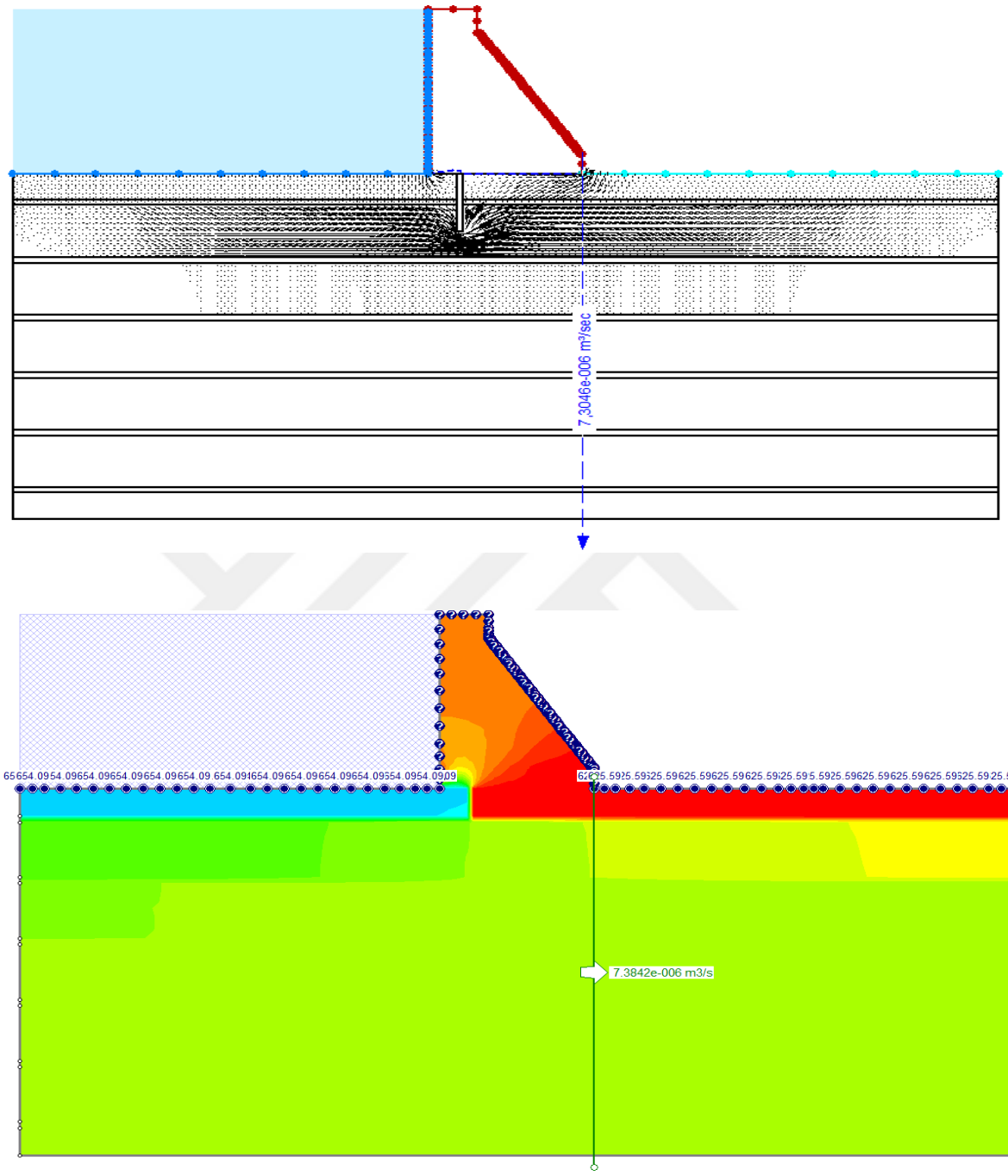
EK-E3 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



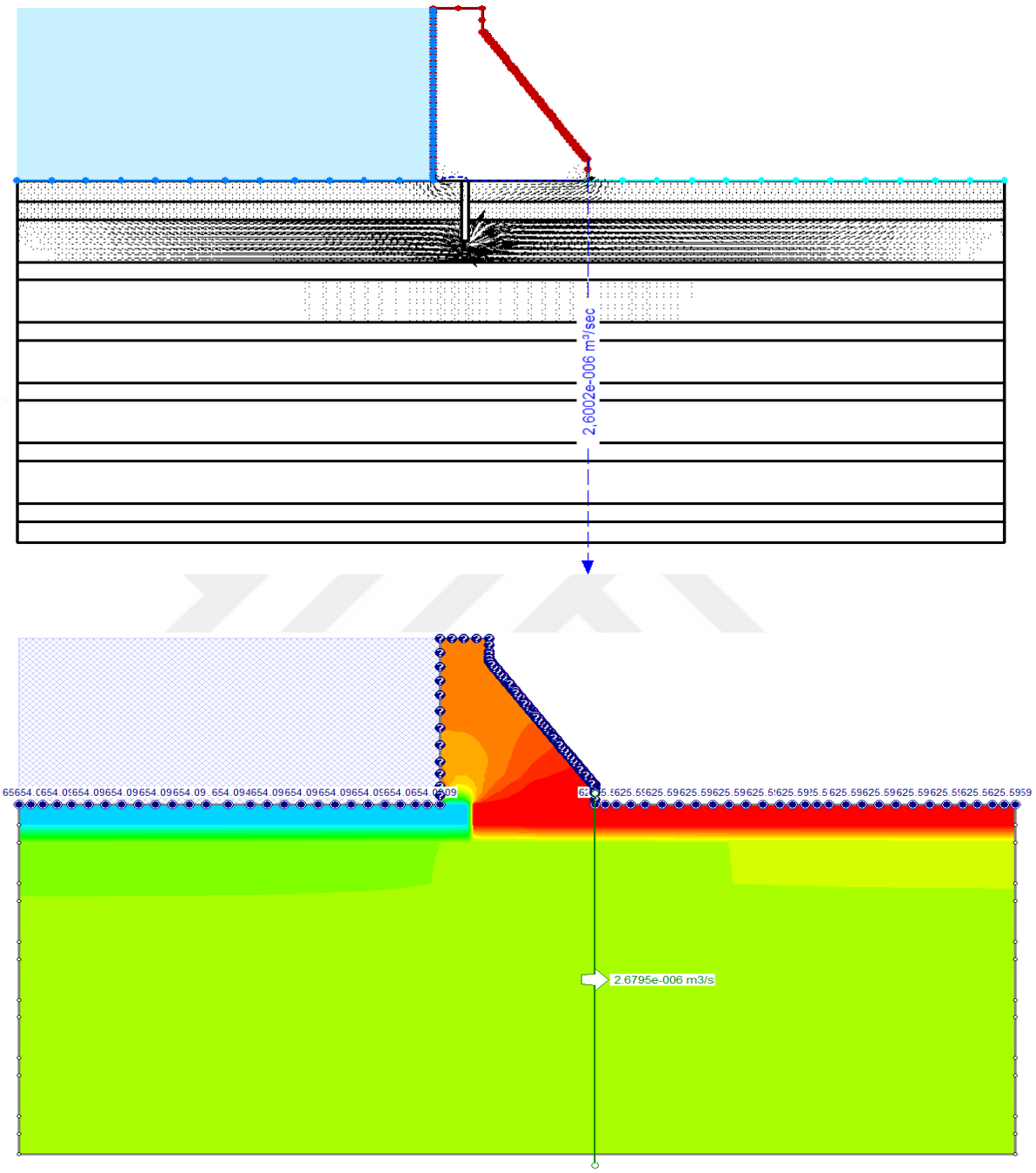
EK-E4 Senaryo-2c 6 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Goestudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



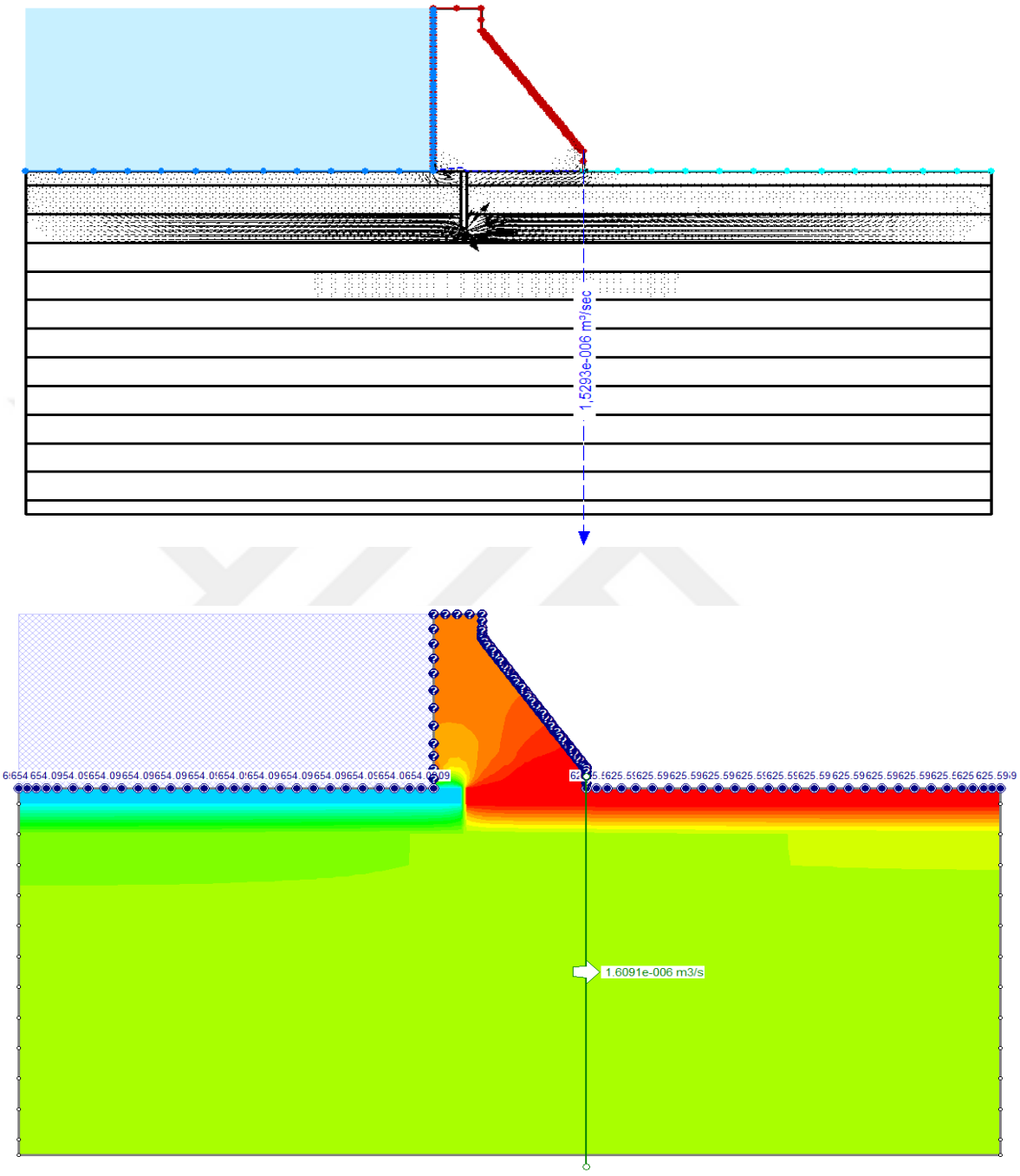
EK-E5 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



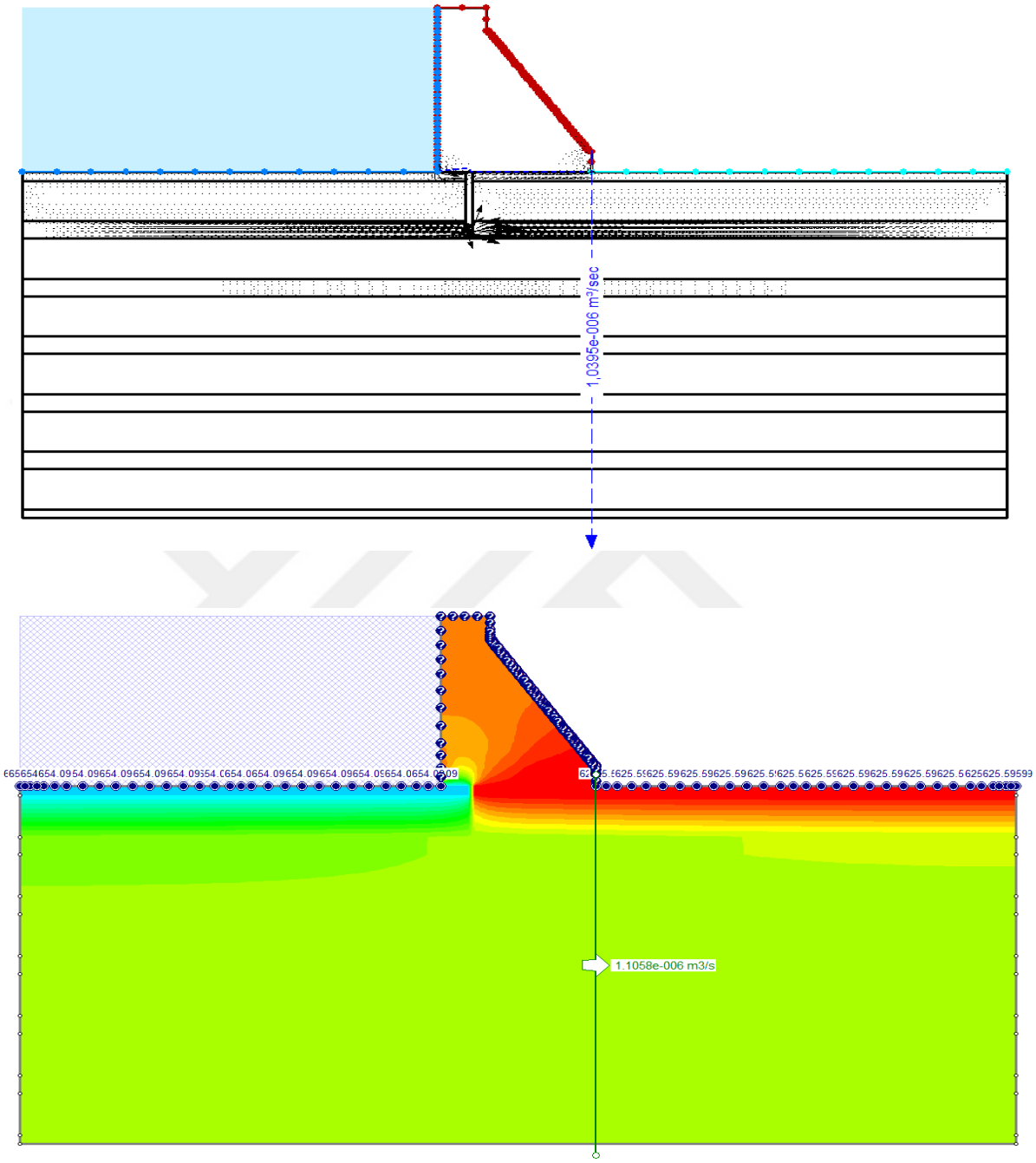
EK-E6 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



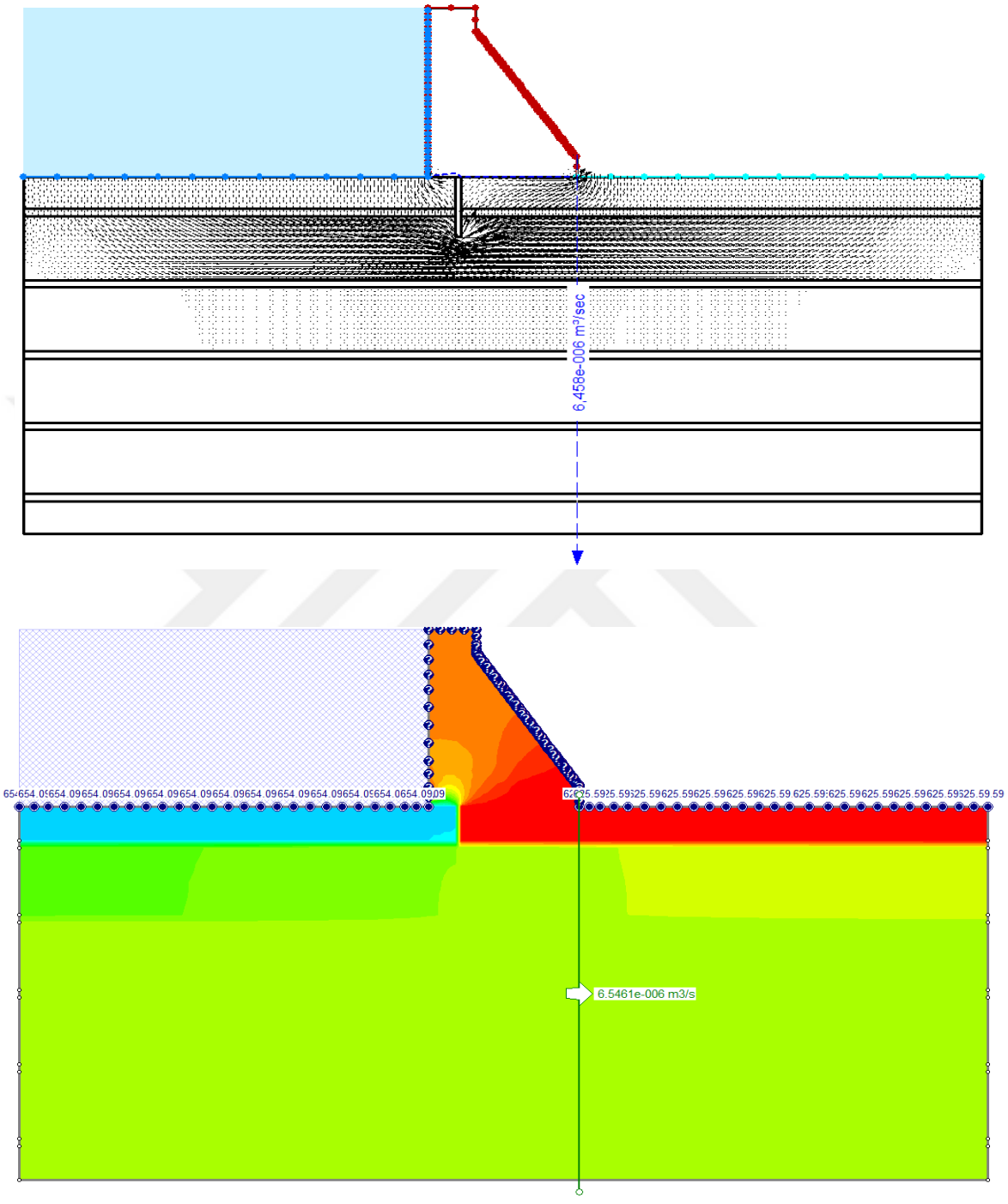
EK-E7 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda GeostudioProgramı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



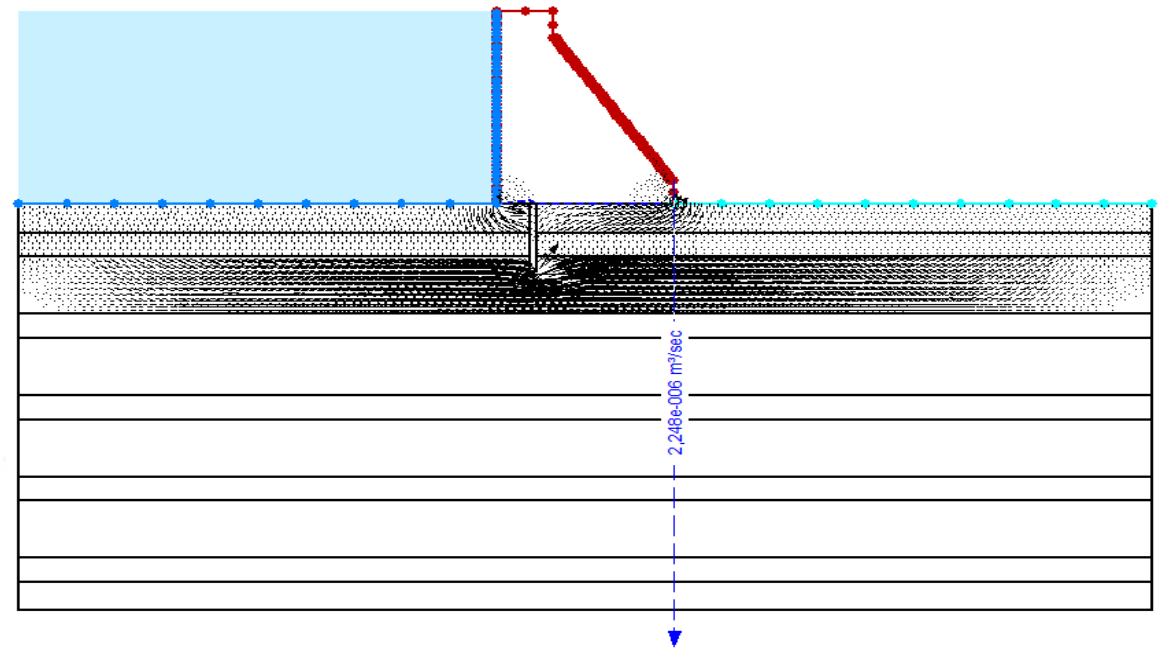
EK-E8 Senaryo-2c 10 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

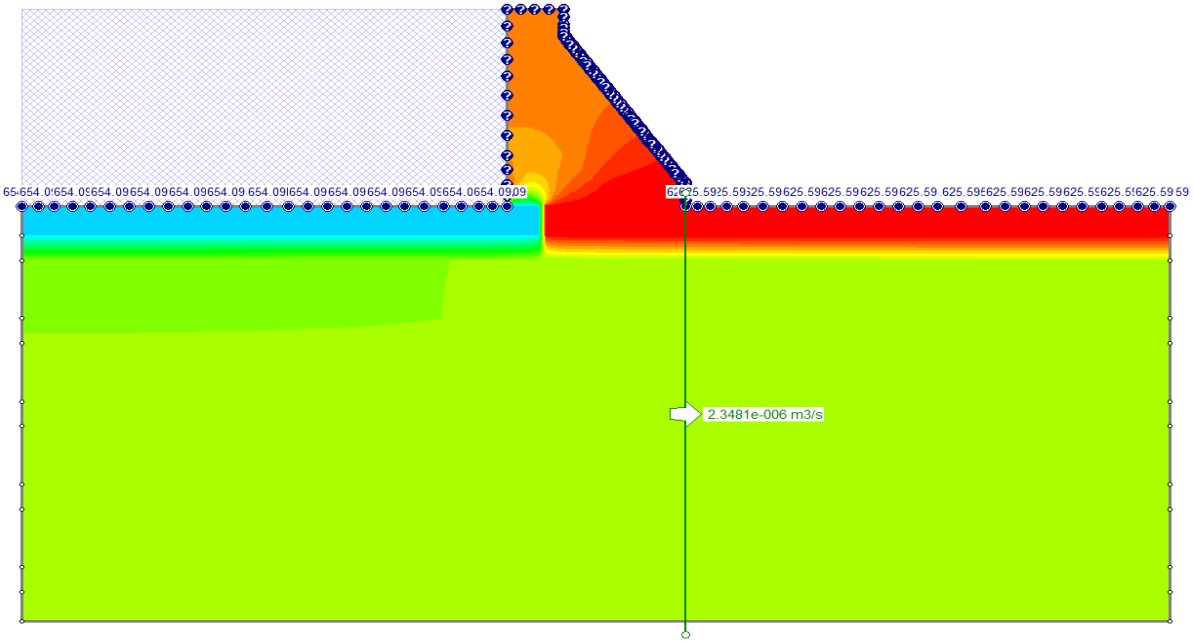


EK-E9 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

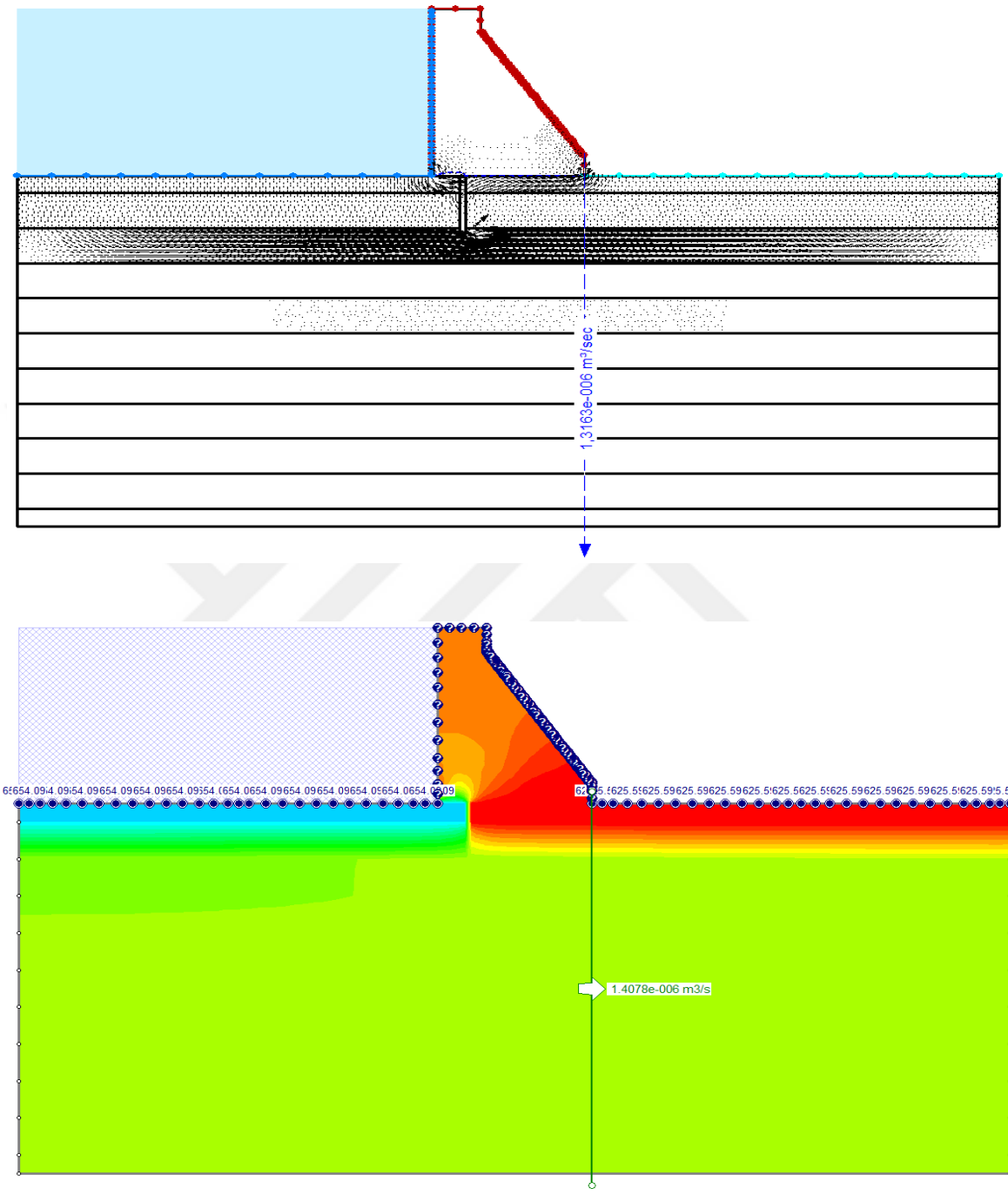


EK-E10 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

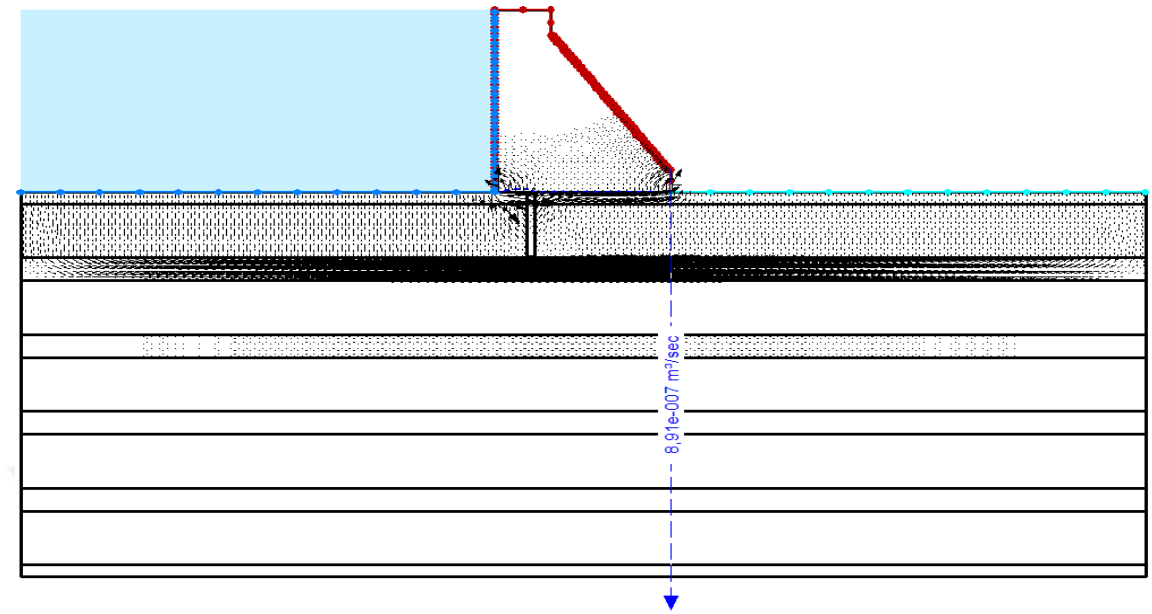


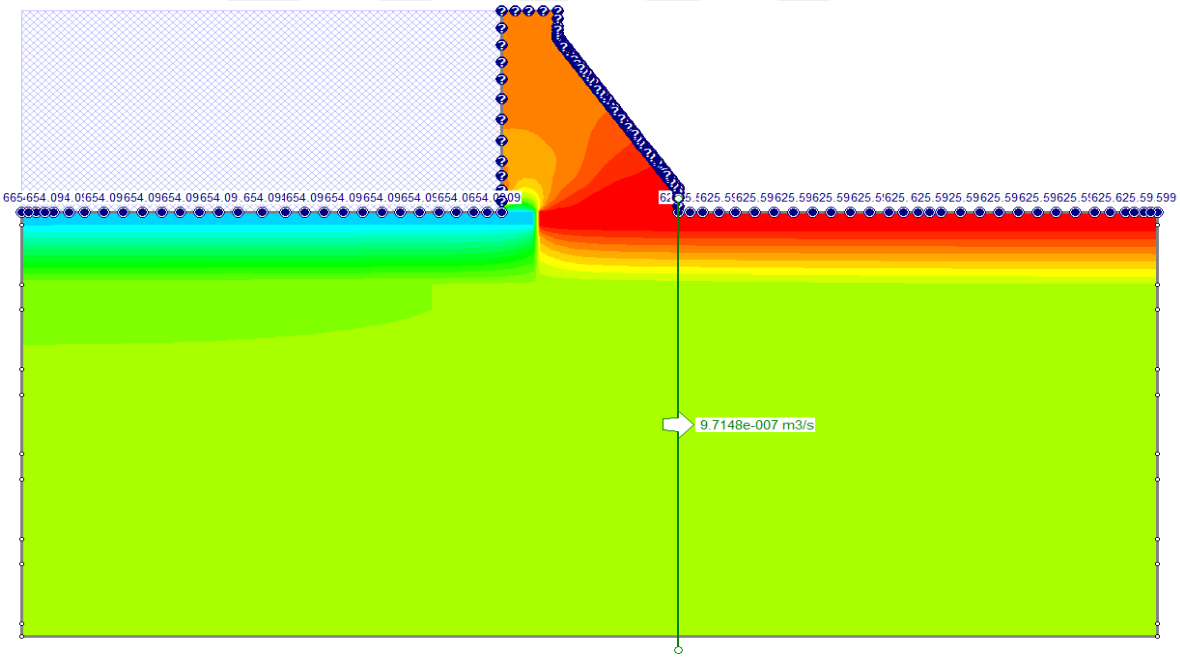


EK-E11 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

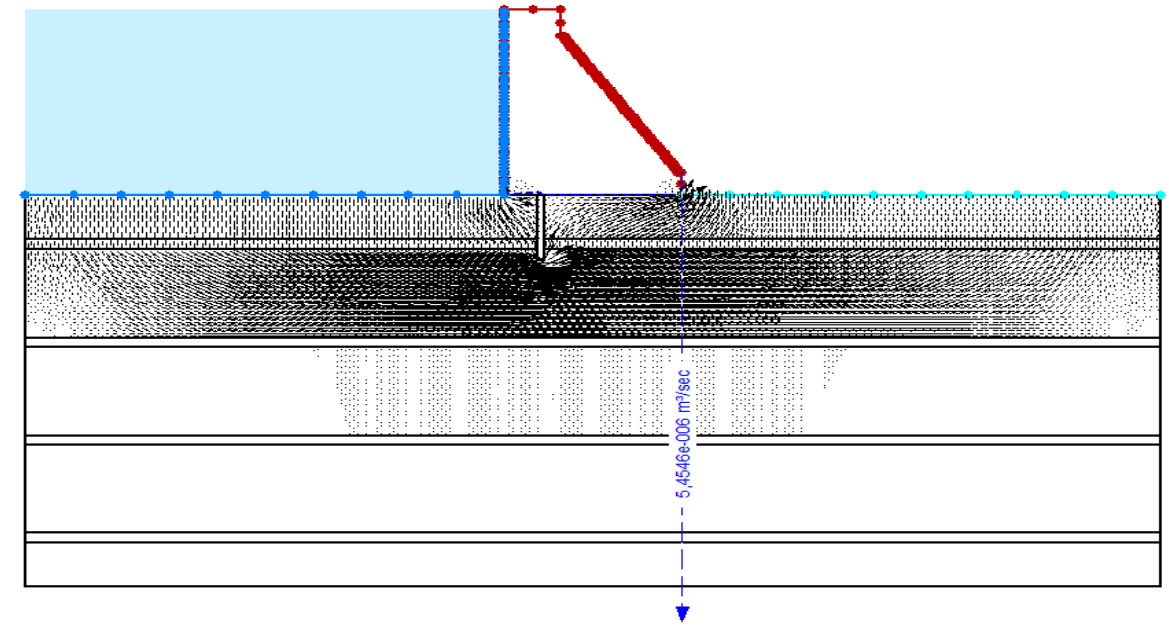


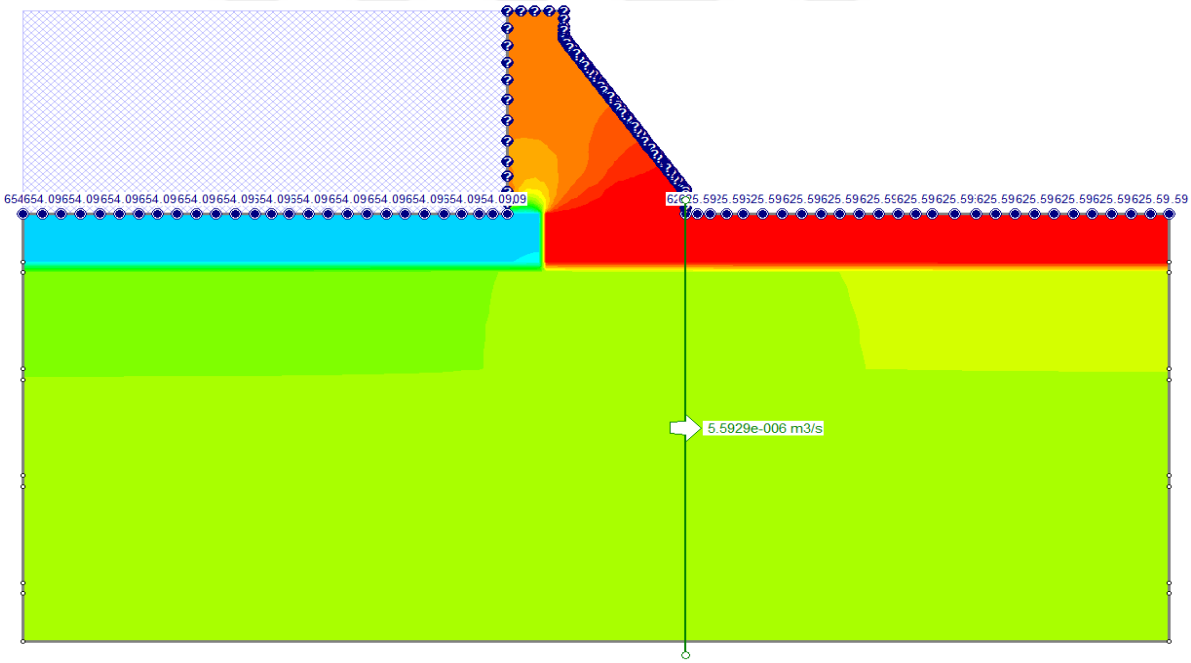
EK-E12 Senaryo-2c 12 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



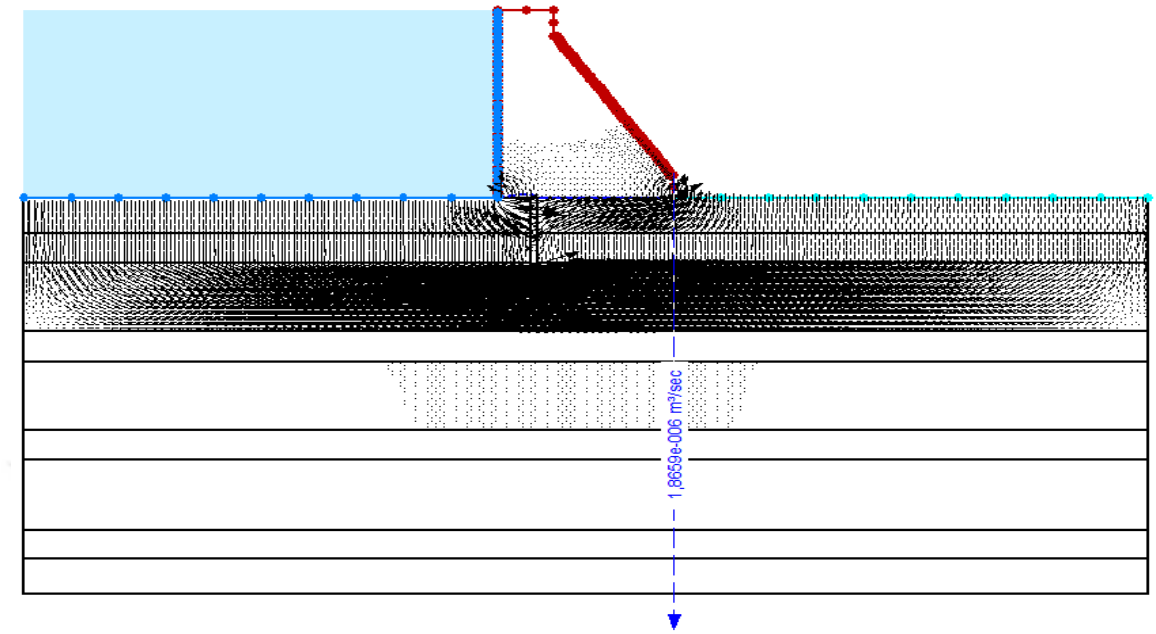


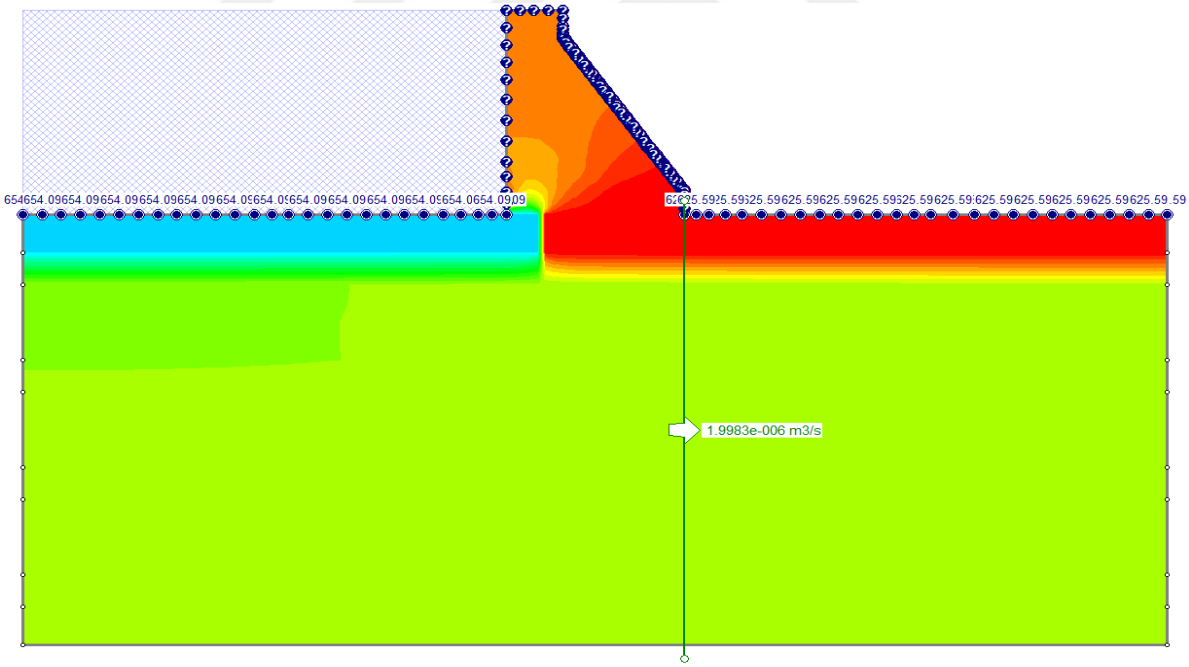
EK-E13 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



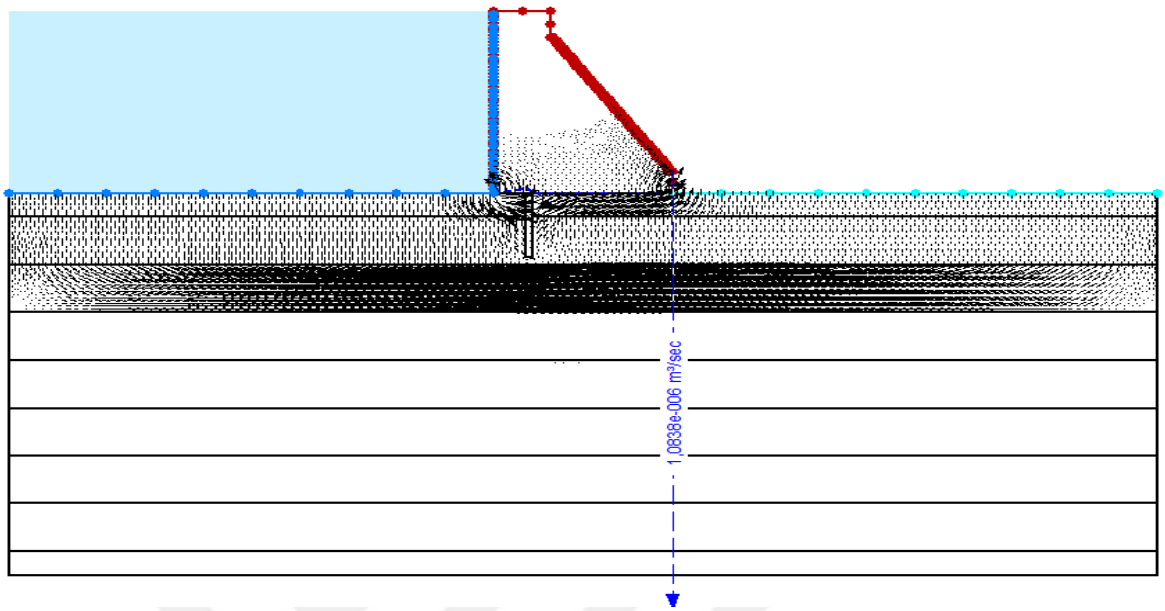


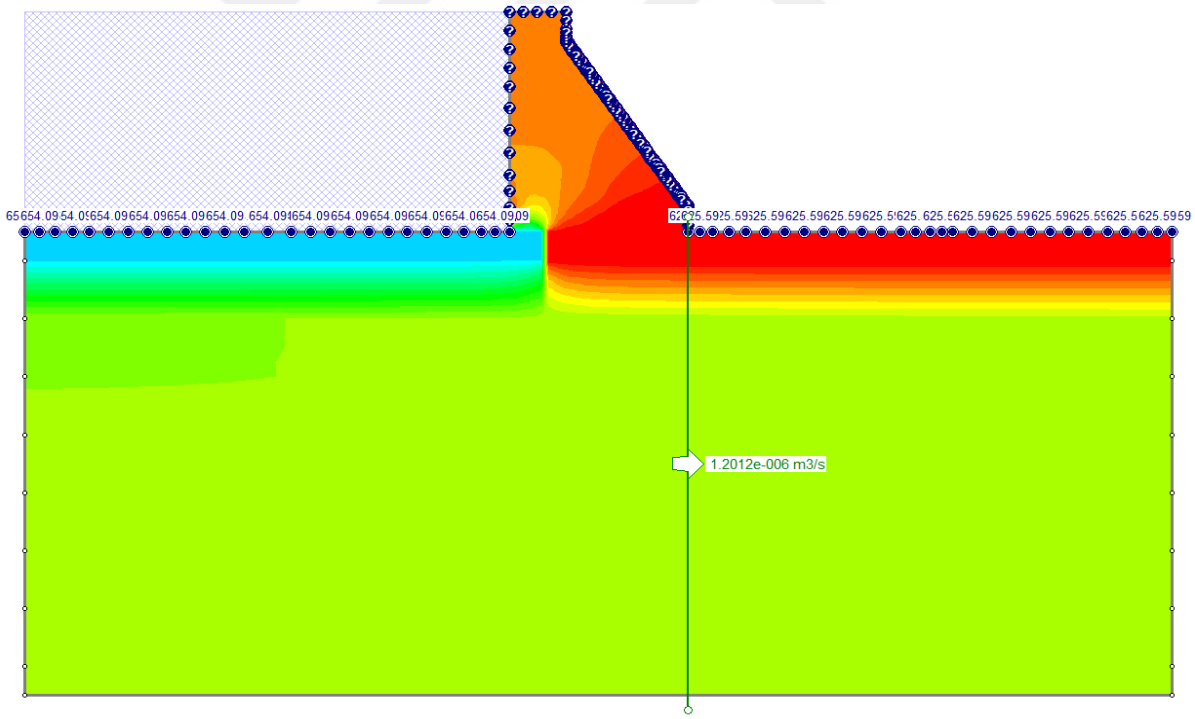
EK-E14 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



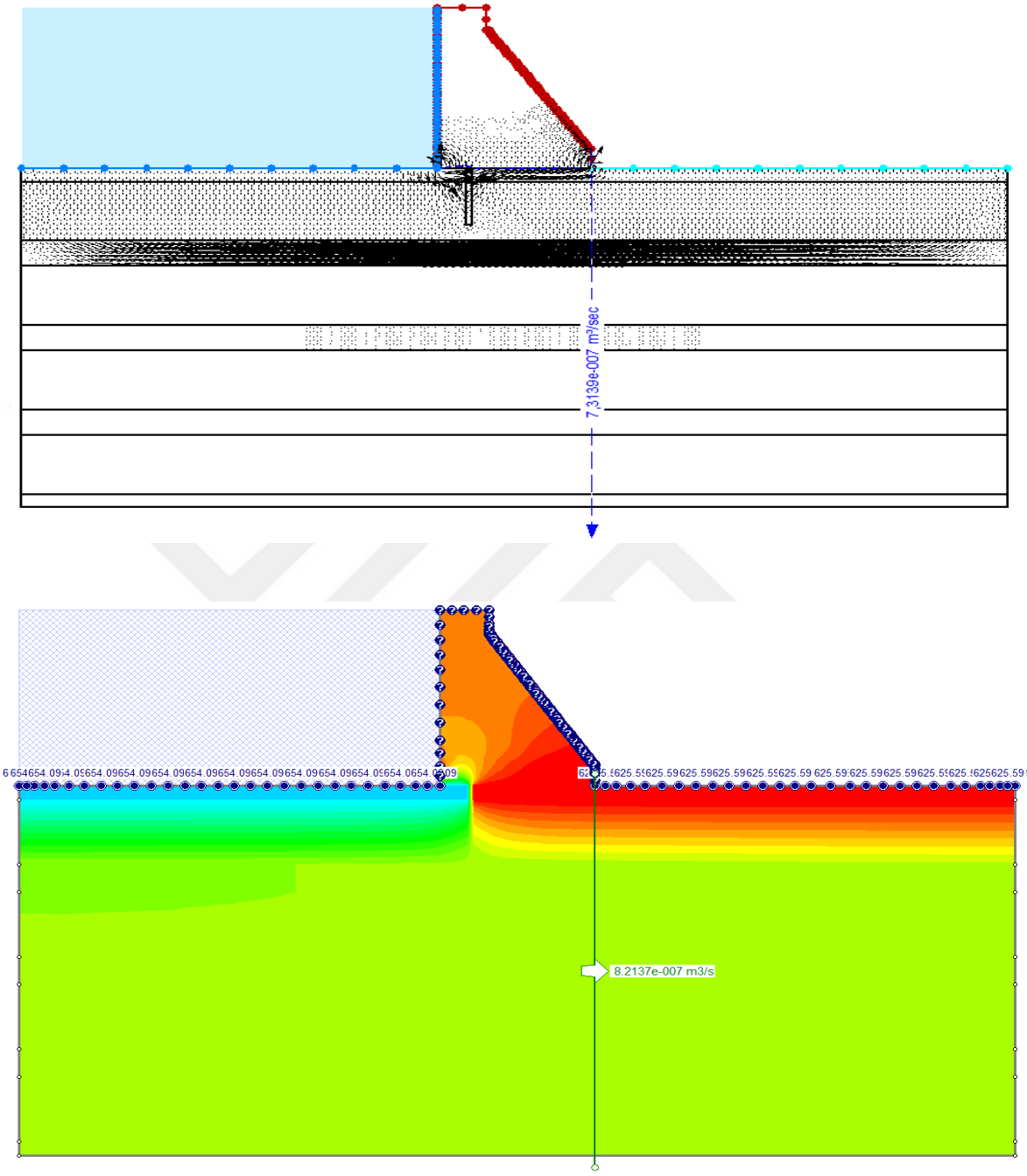


EK-E15 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

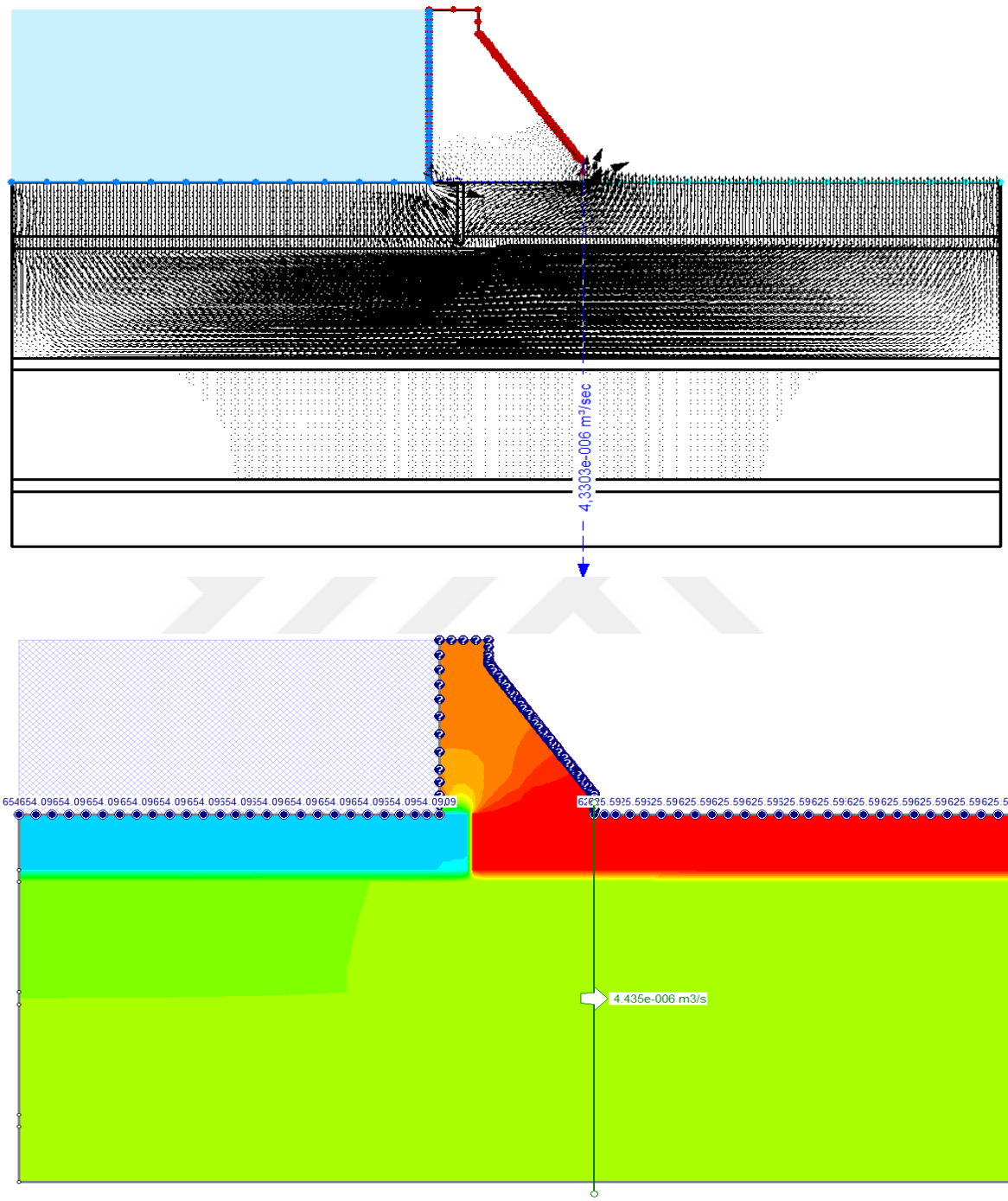




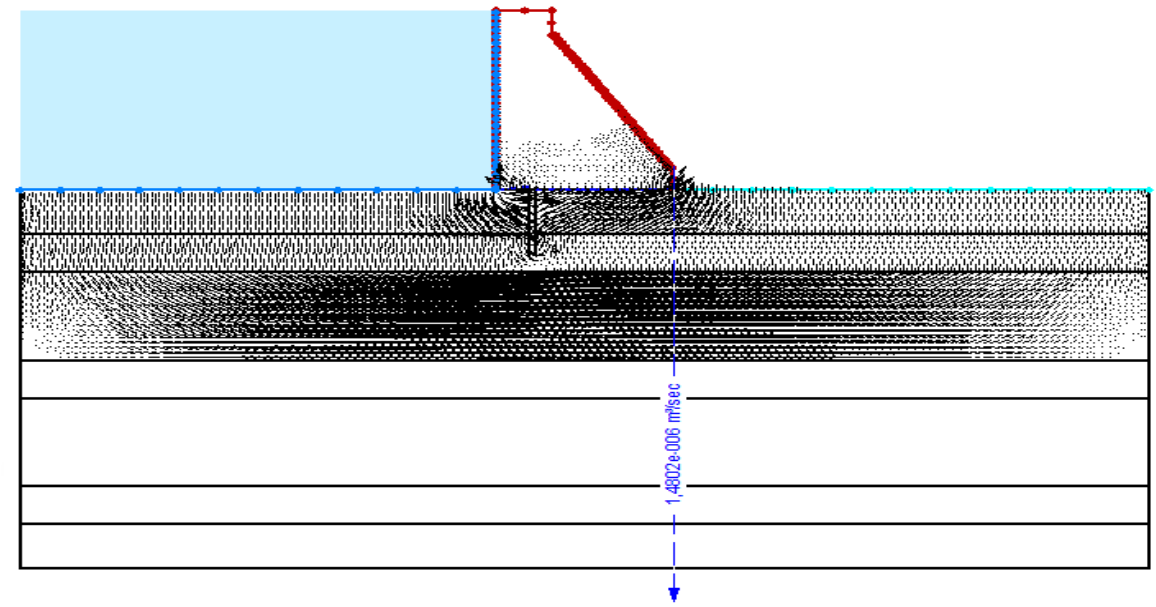
EK-E16 Senaryo-2c 15 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

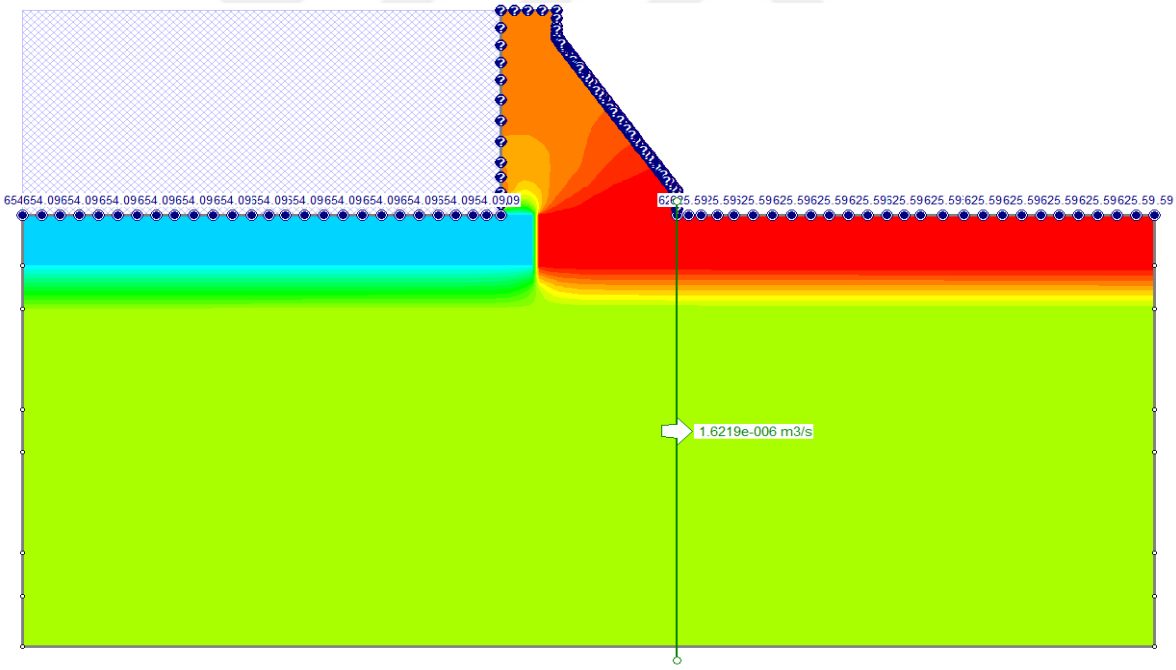


EK-E17 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

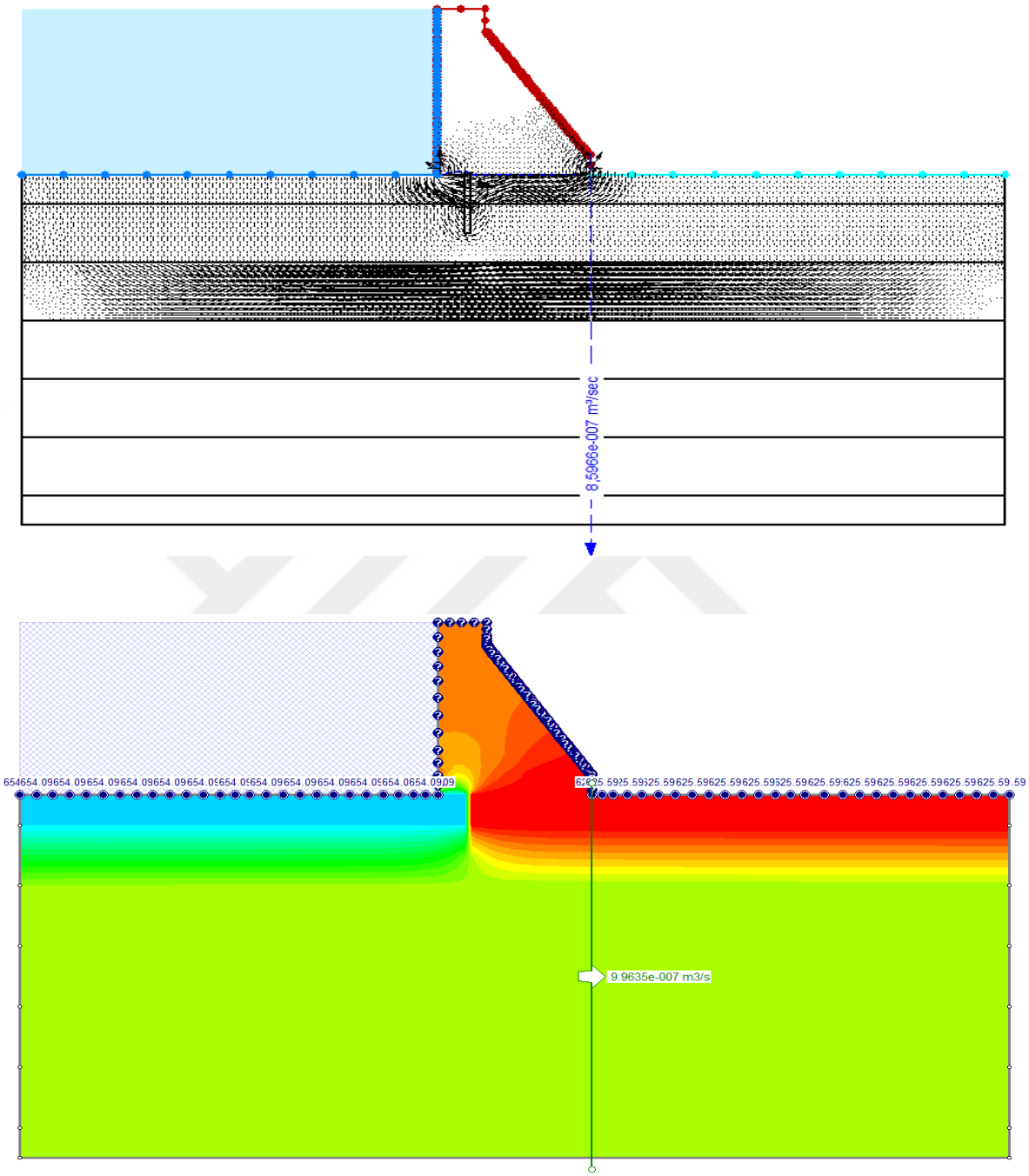


EK-E18 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

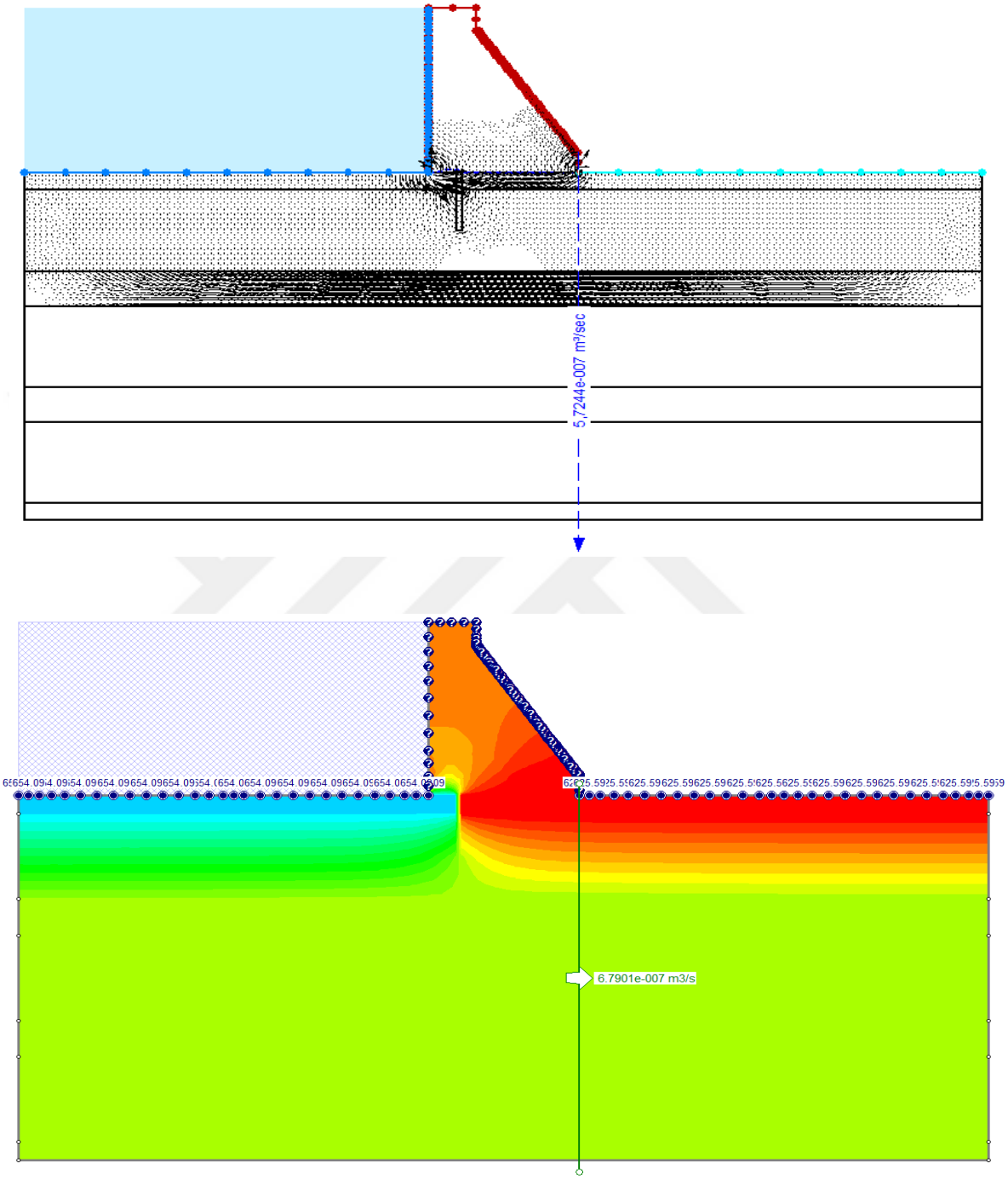




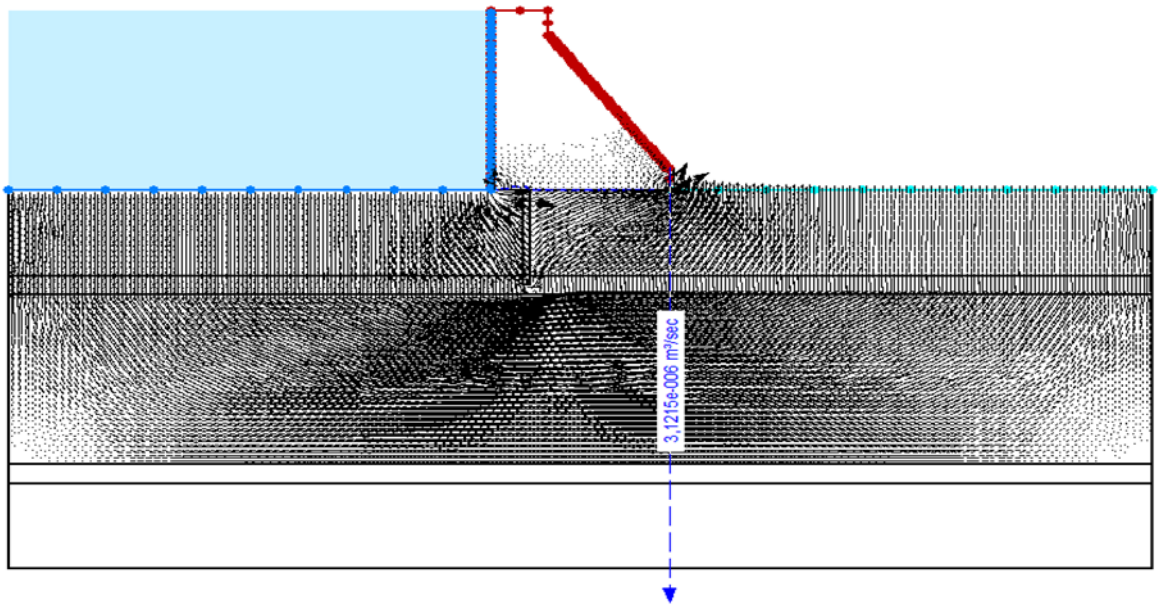
EK-E19 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

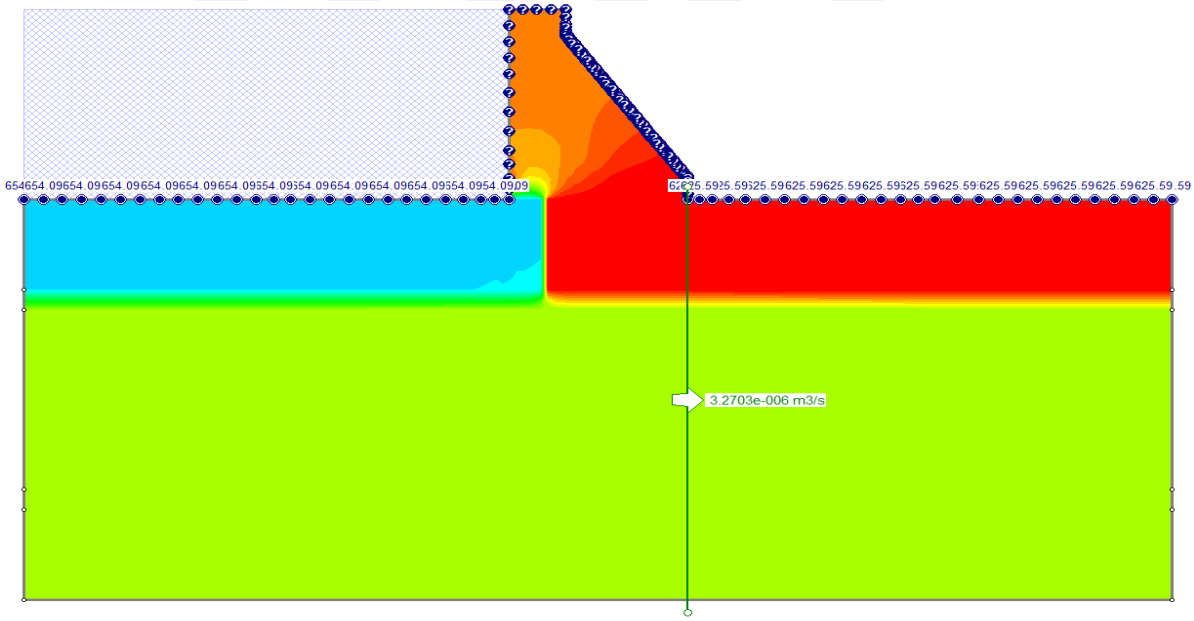


EK-E20 Senaryo-2c 20 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

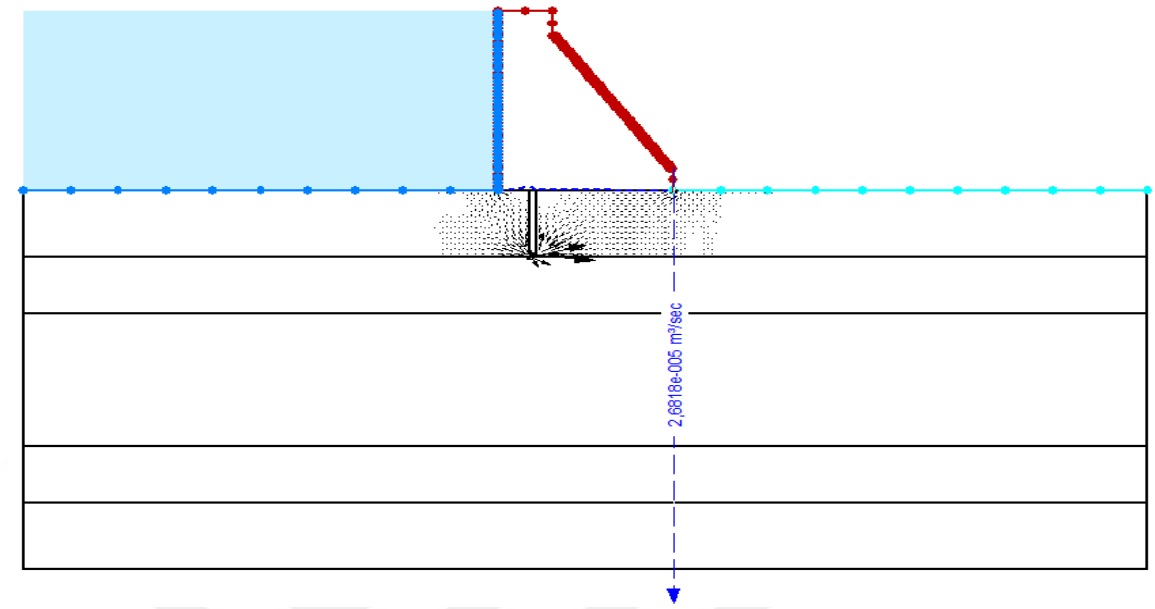


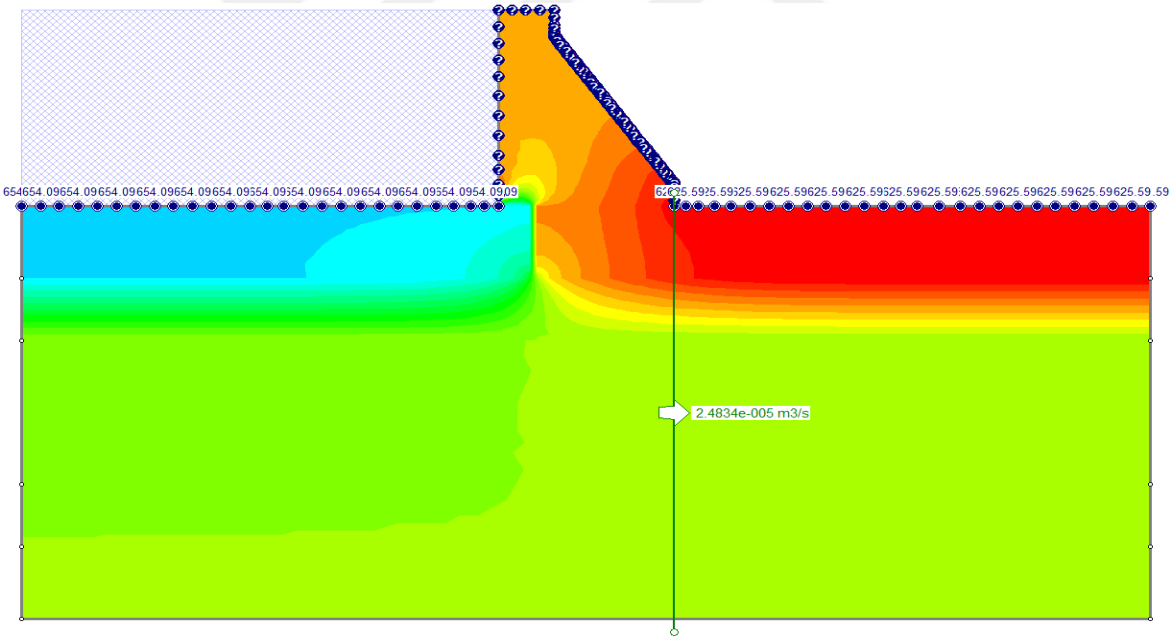
EK-E21 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %10 Silttaşı İçeren Modele Ait 15 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri



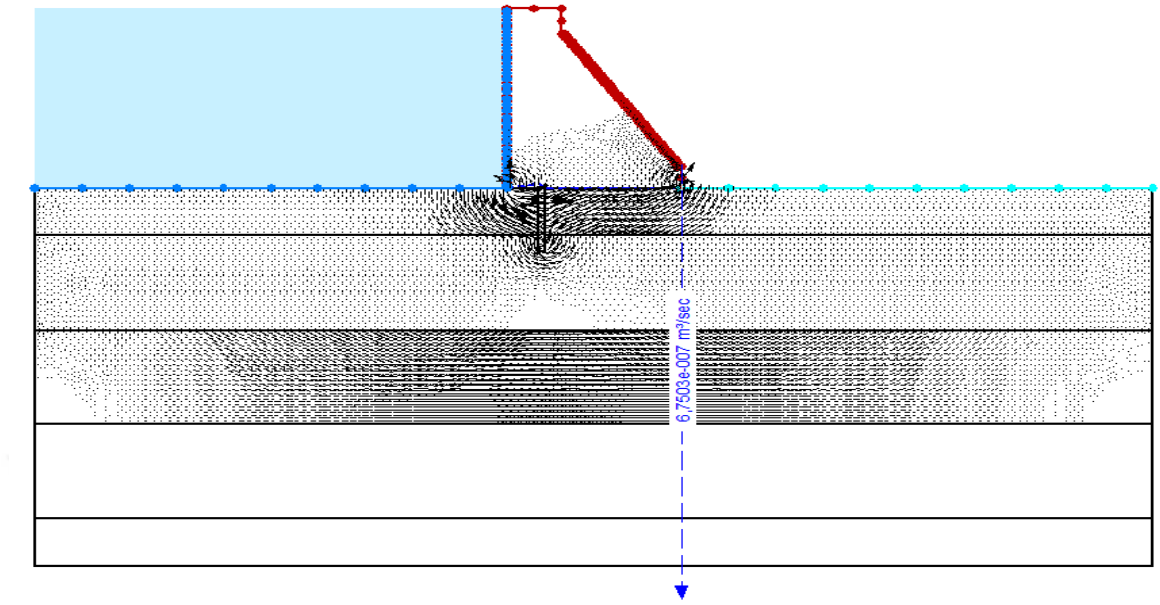


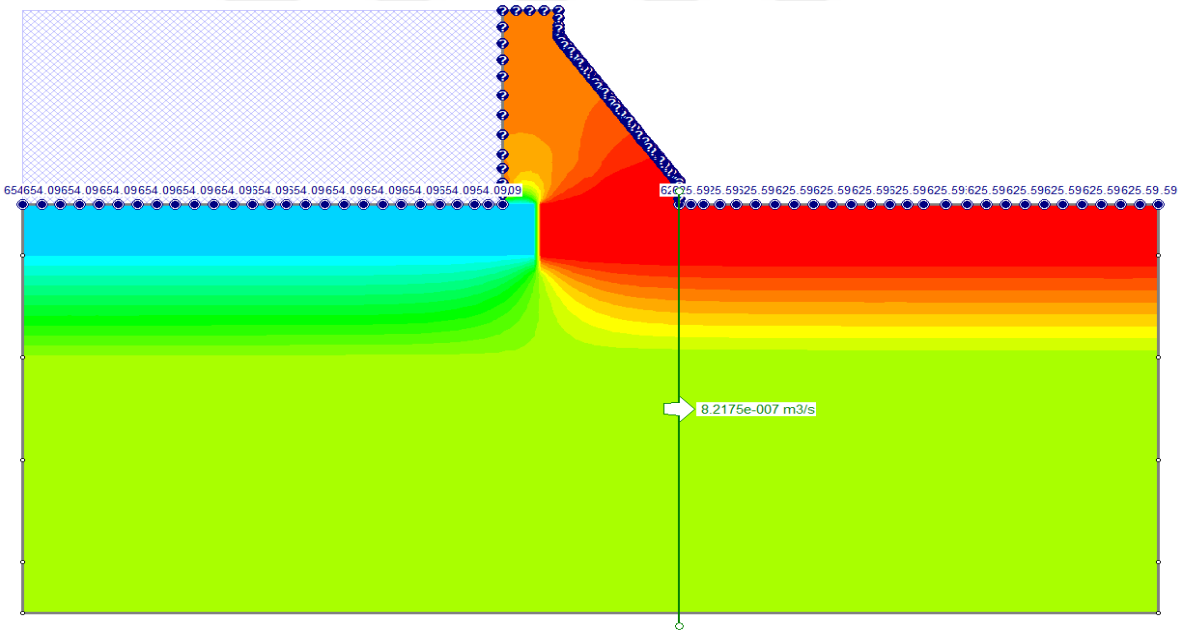
EK-E22 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %30 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri





EK-E23 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %50 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri





EK-E24 Senaryo-2c 30 m Tabaka Kalınlığında ve %70 Silttaşı İçeren Modele Ait 10 m Perdeli Durumda Geostudio Programı Sızma Değeri / Slide Programı Sızma Değeri

