T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOYGUN OLMAYAN KOŞULLARDA YAĞIŞ İNFİLTRASYONU ETKİSİNDEKİ ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZİ

Ayşenur ASLAN FİDAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Mayıs 2017

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Ayşenur ASLAN FİDAN tarafından yapılan "DOYGUN OLMAYAN KOŞULLARDA YAĞIŞ İNFİLTRASYONU ETKİSİNDEKİ ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZİ" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

	Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Doç Dr.	Taha TAŞKIRAN
Üye :	Doç Dr.	M. Salih KESKİN
Üye :	Yrd.Doç.Dr.	H. Süha AKSOY

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 26/05/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve birikimlerini paylaşarak bana yol gösteren danışman hocam Sn. Doç. Dr. Taha TAŞKIRAN' a, verdiği tavsiyeler ile motivasyonumu arttıran Sn. Doç. Dr. M. Salih KESKİN' e, tez çalışmamı tamamlamam için desteğini esirgemeyen bölüm başkanımız Sn. Doç. Dr. Halil GÖRGÜN' e, tez çalışmam için her türlü imkanı sağlayan Karayolları 9. Bölge Müdürü Şefik SOLMAZ' a verdikleri desteklerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın her aşamasında benimle birlikte emek veren sevgili eşim M. Selçuk FİDAN' a ve uzakta olsalar da manevi desteklerini esirgemeyen babam Mahfuz ASLAN, annem Fatma ASLAN ve canım kardeşlerim Muhammed ASLAN ve Mustafa ASLAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca MÜHENDİSLİK.16.003 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında, tez çalışmama katkılarından dolayı DÜBAP' a teşekkür ederim.

Ayşenur ASLAN FİDAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR …….. I

İÇİNDEKİLER…… II

ÖZET…… V

ABSTRACT…… VI

ÇİZELGE LİSTESİ…… VII

ŞEKİL LİSTESİ…….. VIII

KISALTMA VE SİMGELER…… XII

1. GİRİŞ…….. 1

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……..... 3

2.1. Doygun Olmayan Zeminler ……. 3

2.1.1. Yüzey Gerilimi …… 5

2.1.2. Zemin Emme Gerilmesi…… 8

2.1.3. Gerilme Durum Değişkenleri……... 12

2.1.4. Zemin-Su Karakteristik Eğrisi……. 13

2.2. Doygun Olmayan Zeminlerin Kayma Mukavemeti……. 15

2.3. Yağış infiltrasyonu……... 19

2.4. Yağış İnfiltrasyonunun Doygun Olmayan Zemin Şevlerinin Stabilitesine Etkisi 21

3. MATERYAL ve METOT……. 25

3.1. Saha Çalışması…… 26

3.2. İnceleme Alanı Jeolojisi……... 27

3.2.1. Yapısal Jeoloji……. 28

3.2.2. Genel Jeoloji…….. 28

3.2.2.1. Şelmo Formasyonu……... 29

3.2.2.2. Ziyaret Karışığı……. 29

3.2.2.3. Guleman Ofiyoliti……. 30

3.2.2.4. Baykan Karışığı…… 30

3.3. İncelenen Zeminin Özellikleri…….. 30

3.3.1. Zeminin İndeks/Fiziksel Özellikleri……. 31

3.3.2. Zemine Ait Kayma Direnci Parametreleri…… 32

3.3.3. Filtre Kağıdı Yöntemi ile Zemin-Su Karakteristik Eğrisinin Belirlenmesi…….. 33

3.3.3.1. Gerekli Ekipman……... 34

3.3.3.2. Filtre Kağıdı Kalibrasyonu……... 35

3.3.3.3. Matrik Emme Ölçümü…….. 42

3.4. Yağış Verileri……... 46

3.5. Limit Denge Yöntemi ile Şev Stabilize Analizleri…… 47

3.5.1. GEOSTUDIO Programı…….. 48

3.5.1.1. SEEP/W Modülü…….. 49

3.5.1.2. SLOPE/W Modülü……... 50

3.5.2. Doygun Olmayan Zeminlerin Şev Stabilite Analizi…….. 51

3.5.2.1. Doygun Olmayan Zeminlerin Yağış İnfiltrasyonu Etkisinde Şev Stabilite Analizi……..... 52

- Başlangıç Koşullarının Oluşturulması…… 52

- Yağış İnfiltrasyonunun Numerik Analizi……... 54

- Şev Stabilite Analizi……... 54

3.5.2.2. Doygun Olmayan Zeminlerin Yağışsız Şev Stabilite Analizi……... 56

3.5.2.3. Klasik Zemin Mekaniği Prensipleriyle Şev Stabilite Analizi…… 56

4. BULGULAR ve TARTIŞMA…… 59

4.1. Doygun Olmayan Zeminlerin Yağış İnfitlrasyonu Etkisindeki Şev Stabilitelerini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi…… 59

4.1.1. Yağış Yoğunluğunun Şev Stabilitesine Etkisi…….. 60

4.1.2 Yağış Süresinin Şev Stabilitesine Etkisi……... 65

4.1.3 Zemin Geçirimliliğinin Şev Stabilitesine Etkisi……... 72

4.2. Yeraltı Su Seviyesi Değişiminin Şev Stabilitesine Etkisi……. 76

4.3 Çalışma Alanında Yağış İnfiltrasyonu Etkisinde Örnek Bir Şev Stabilite Analizi……..... 83

5. SONUÇ VE ÖNERİLER……... 93

5.1. Sonuçlar…… 93

5.2. Öneriler…… 94

6. KAYNAKLAR…… 95

EKLER…….....101

ÖZGEÇMİŞ…….....119

ÖZET

DOYGUN OLMAYAN KOŞULLARDA YAĞIŞ İNFİLTRASYONU ETKİSİNDEKİ ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşenur ASLAN FİDAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

Şev göçmeleri hem insan hayatı, hem de ülke ekonomisi açısından yıkıcı sonuçlar doğurmaktadır. Yağış infiltrasyonu, şev göçmelerinin temel sebeplerinden birisidir. Doygun olmayan zeminlerin yağışlı sezonlarda şev stabilitesini kaybettiği tüm dünyada yaygın olarak görülmektedir. Yağış infiltrasyonu; asılı yeraltı suyu oluşumuna, yeraltı su seviyesinin yükselmesine ve/veya matrik emmenin azalmasına sebep olan boşluk suyu basıncının artmasına sebep olur. Bu durum zeminin kayma mukavemetinde azalmaya ve şevin göçmesine dahi neden olabilir. Bu gibi problemlerin önlenebilmesi için; doygun olmayan zeminlerin yağış infiltrasyonu etkisinde göçme mekanizmalarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gereklidir.

Bu çalışma; saha çalışması, laboratuvar çalışmaları ve GEOSTUDIO yazılımı ile modelleme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Saha çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı üzerinde belirlenen inceleme alanında araştırma çukurları açılarak ofiyolitli kil zeminden örselenmemiş numuneler alınmıştır. Zeminin doygun koşullarda sahip olduğu kayma direnci parametreleri ve geçirimliliği yapılan deneylerle elde edilmiş ve zeminin doygun olmayan durumdaki parametreleri ise filtre kağıdı deneyi ile bulunmuştur. Son olarak doygun olmayan zeminin yağış infiltrasyonu etkisinde stabilite analizleri GEOSTUDIO programının SEEP ve SLOPE modülü kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca zemin geçirimliliğinin, başlangıç yeraltı su seviyesinin, yağış yoğunluğu ve süresinin etkisi parametrik olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda güvenlik sayısında meydana gelen değişimler elde edilmiş ve incelenen tüm parametrelerin şev stabilitesini farklı oranlarda etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doygun Olmayan Zeminler, Ofiyolitli Kil, Yağış İnfiltrasyonu, Şev Stabilitesi

ABSTRACT

THE STABILITY ANALYSES OF UNSATURATED SOIL SLOPES AFFECTED BY RAIN INFILTRATION

MSc THESIS

Ayşenur ASLAN FİDAN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

Slope failures lead devastating results to both human lives and country economy. Rain infiltration is one of the major reason for slope instability. Moreover, the instability of unsaturated soil slopes during wet periods is common throughout the world. Rain infiltration causes to arise perched water table, increase the groundwater level or/and leads to rise pore water pressure resulting decrease in matric suction. This, results in a decrease in shear strength of soil and may even end up with failure. To prevent such problems; landslide mechanism of unsaturated slopes under rain infiltration need to be studied in detailed.

This study mainly consists of three steps including site investigation, laboratory works and modeling with GEOSTUDIO software. In site investigation, the site which is located on the Southeast Anatolian Thrust Belt was observed by opening research pits and taken undisturbed soil samples from ophiolitic clay soil by pushing the sample tube into the soil. Properties of saturated soil such as effective shear strength parameters (cohesion and angle of internal friction), the coefficient of permeability were found conducting laboratory and field tests and also obtained the soil-water characteristic curve, hydraulic conductivity and initial matric suction of soil using filter paper method. Finally, the unsaturated soil slope stability analyses under rain infiltration were done using SEEP and SLOPE modules of GEOSTUDIO. In addition, parametric analyses were done to understand the effects of permeability, rain intensity and duration, initial groundwater level on the stability of unsaturated soil slopes. As a result of the analysis, changes in the factor of safety have been obtained and it is seen that all the parameters have effects in varying degrees of the slope stability.

Keywords: Unsaturated Soil, Ophiolitic Clay, Rain Infiltration, Slope Stability

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	Sıcaklığa bağlı olarak hava-su ara yüzeyinde meydana gelen yüzey gerilimi	6
Çizelge 2.2.	Emme gerilmeleri ölçümü için yöntemler	11
Çizelge 2.3.	Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti için literatürde önerilen denklemler	18
Çizelge 3.1.	Lugeon aralığına bağlı olarak geçirimlilik sınıflandırılması	31
Çizelge 3.2.	Zemine ait indeks/fiziksel özellikler	32
Çizelge 3.3.	Zemine ait kayma direnci parametreleri	34
Çizelge 3.4.	Filtre kağıdı kalibrasyon eğrisi	34
Çizelge 3.5.	Filtre kağıdı yöntemi dengelenme süreleri	34
Çizelge 3.6.	NaCl konsantrasyonları için ozmotik emme değerleri	36
Çizelge 3.7.	Filtre kağıtlarının su muhtevalarını hesaplama çizelgesi	40
Çizelge 3.8.	Filtre kağıdı deneyi matrik emme ölçüm sonuçları	46
Çizelge 3.9.	Toplam yağış miktarları	47
Çizelge 3.10.	Doygun olmayan zemine ait hacimsel su içerikleri ve kayma direnci parametreleri	55
Çizelge 4.1.	Analizlerde kullanılan parametreler	60
Çizelge 4.2.	Farklı yağış yoğunlukları için yapılan analizlerde kullanılan yağış yoğunlukları ve yağış süreleri	61
Çizelge 4.3.	Farklı yoğunluktaki yağışlar için elde edilen güvenlik sayıları	64
Çizelge 4.4.	Yağış süresi etkisinin incelendiği analizlerde kullanılan yağış verileri	66
Çizelge 4.5.	Yağış süresine bağlı olarak elde edilen güvenlik sayıları	71
Çizelge 4.6.	Zemin geçirimliliğinin etkisinin incelendiği analizlerde kullanılan yağış yoğunlukları	72
Çizelge 4.7.	Zemin geçirimliliğine bağlı yağış öncesi ve sonrası güvenlik sayıları	75
Çizelge 4.8.	Zemine ait toplam ve efektif kayma direnci parametreleri	77
Çizelge 4.9.	Farklı yeraltı su seviyeleri için güvenlik sayıları	82

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1.	Doygun ve doygun olmayan zeminlerin bölgeleri	3
Şekil 2.2.	Zemin mekaniğinin genel alanları	4
Şekil 2.3.	Doygun olmayan zeminin fazları	5
Şekil 2.4.	Hava-su ara yüzeyinde meydana gelen yüzey gerilimi a) hava-su ara yüzeyindeki moleküllere etkiyen kuvvetler b) su içerisindeki moleküle etkiyen kuvvetler	6
Şekil 2.5.	Üç boyutlu membranda yüzey gerilmeleri	7
Şekil 2.6.	Doygun olmayan zemin için gerilme durum değişkenleri	13
Şekil 2.7.	Doygun olmayan zemin için gerilme tensörleri a) efektif gerilme tensörü b) matrik emme gerilme tensörü	13
Şekil 2.8.	Genel Zemin-Su Karakteristik Eğrisi	14
Şekil 2.9.	Farklı zemin türleri için zemin-su karakteristik eğrisi	15
Şekil 2.10.	Mohr-Coulomb kırılma zarfı	15
Şekil 2.11.	Genişletilmiş Mohr-Coulomb kırılma zarfı	16
Şekil 3.1.	Araştırma çukuru lokasyonları	26
Şekil 3.2.	Örselenmemiş numune alınması	27
Şekil 3.3.	Çalışma alanındaki mevcut birimler	29
Şekil 3.4.	Filtre kağıdı kalibrasyon eğrisi	33
Şekil 3.5.	Kavanozlara NaCl çözeltilerinin doldurulması	36
Şekil 3.6.	Plastik aparatların yerleştirilmesi	37
Şekil 3.7.	Plastik aparatların üzerine filtre kağıtlarının bırakılması	37
Şekil 3.8.	İzole bant ile kapağı sarılmış kavanozlar	38
Şekil 3.9.	Filtre kağıdı kalibrasyon eğrisi	42
Şekil 3.10.	Filtre kağıtlarının desikatör içinde bekletilmesi	43
Şekil 3.11.	Kullanılan filtre kağıtlarının konumlandırılması	43
Şekil 3.12.	Zemin tabakaları arasına filtre kağıdının yerleştirilmesi	44
Şekil 3.13.	Zemin numuneleri birleştirilerek etraflarının izole bantla sarılması	44
Şekil 3.14.	Zemin numunesinin kavanoz içine yerleştirilmesi	45

Şekil 3.15. Kavanoz kapağının bantlanması 45

Şekil 3.16. Yıllık toplam yağış miktarları 46

Şekil 3.17. Yıllara göre aylık toplam yağış miktarları 47

Şekil 3.18. Zemin-su karakteristik eğrisi 52

Şekil 3.19. Hidrolik iletkenlik eğrisi 53

Şekil 3.20. Yeraltı su seviyesinin tanımlanması 54

Şekil 3.21. Zemin-su karakteristik eğrisi kullanılarak hacimsel su içeriklerinin elde edilmesi 55

Şekil 3.22. Entry-Exit komutu ile kayma yüzeylerinin belirlenmesi 56

Şekil 4.1. Analizlerde kullanılan şev geometrisi 59

Şekil 4.2. Yağış öncesi şev stabilite analizi sonucu 60

Şekil 4.3. 200 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 61

Şekil 4.4. 353 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 62

Şekil 4.5. 400 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 62

Şekil 4.6. 200 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı 63

Şekil 4.7. 353 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı 63

Şekil 4.8. 400 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı 64

Şekil 4.9. Farklı yoğunluktaki yağışlar için elde edilen güvenlik sayıları 65

Şekil 4.10. Şevin başlangıç koşullarında boşluk suyu basıncı dağılımı 66

Şekil 4.11. Şevin üç aylık yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 67

Şekil 4.12. Şevin üç aylık yağış sonrası güvenlik sayısı 67

Şekil 4.13. Şevin aylık yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 68

Şekil 4.14. Şevin aylık yağış sonrası güvenlik sayısı 68

Şekil 4.15. Şevin üç günlük yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı 69

Şekil 4.16. Şevin üç günlük yağış sonrası güvenlik sayısı 69

Şekil 4.17. Üç günlük yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi 70

Şekil 4.18. Bir aylık yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi 70

Şekil 4.19. Üç aylık yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi 71

Şekil 4.20. $5x10^{-7}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları 72

Şekil 4.21. 10^{-6} m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları 73

Şekil 4.22. $5x10^{-5}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları 73

Şekil 4.23. 5x10-7 m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı 74

Şekil 4.24. 10^{-6} m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı 74

Şekil 4.25. $5x10^{-5}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı 75

Şekil 4.26. Zemin geçirimliliğine bağlı güvenlik sayıları 76

Şekil 4.27. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 77

Şekil 4.28. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 78

Şekil 4.29. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 78

Şekil 4.30. Yeraltı su seviyesinin 20 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 79

Şekil 4.31. Yeraltı su seviyesinin 20 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 79

Şekil 4.32. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 80

Şekil 4.33. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 80

Şekil 4.34. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 81

Şekil 4.35. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu 81

Şekil 4.36. YASS değişimi ile güvenlik sayılarının değişimi 82

Şekil 4.37. 10 m yüksekliğe sahip şev geometrisi 83

Şekil 4.38. 12 m yüksekliğe sahip şev geometrisi 84

Şekil 4.39. 10 m yükseklikteki şevin başlangıç boşluk suyu basıncı durumu 84

Şekil 4.40. 12 m yükseklikteki şevin başlangıç boşluk suyu basıncı durumu 85

Şekil 4.41. 10 m yükseklikteki şevin başlangıç durumundaki güvenlik sayısı 85

Şekil 4.42. 12 m yükseklikteki şevin başlangıç durumundaki güvenlik sayısı 86

Şekil 4.43. 10 m şev için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları 86

Şekil 4.44. 12 m şev için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları 87

Şekil 4.45. 10 m yüksekliğindeki şevin yağış sonrası güvenlik sayısı 87

Şekil 4.46. 12 m yüksekliğindeki şevin yağış sonrası güvenlik sayısı 88

Şekil 4.47. Yağış infiltrasyonu etkisinde güvenlik sayısının zamana bağlı değişimi 88

Şekil 4.48. 10 m yükseklikteki şevin efektif kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı 89

Şekil 4.49. 10 m yükseklikteki şevin toplam kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı 82

Şekil 4.50. 12 m yükseklikteki şevin efektif kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı 90

Şekil 4.51. 12 m yükseklikteki şevin toplam kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı 91

KISALTMA VE SİMGELER

AEV	:Hava giriş değeri
ASTM	:Amerikan Malzeme ve Test Derneği
c’	:Efektif kohezyon
c	:Toplam kohezyon
c_{ult}	:Toplam kohezyon
CU	:Konsolidasyonlu-Drenajsız üç eksenli basınç deneyi
d	:Düzeltme katsayısı
DAFZ	:Doğu Anadolu Fay Zonu
DSİ	:Devlet Su İşleri
f	:İnfiltrasyon yoğunluğu
F	:Kümulatif infiltrasyon miktarı
GS	:Güvenlik sayısı
h_w	:Islak cephe derinliği
I	:Yağış yoğunluğu
I_p	:Plastisite indisi
KAFZ	:Kuzey Anadolu Fay Zonu
k_s	:Permeabilite katsayısı
K	:Düzeltme katsayısı
MTA	:Maden Tetkik Arama
μ	:Islak cephe derinliği üzerindeki hacimsel su içeriği değişimi
n	:Porozite
Θ:	:Normalize su muhtevası
P_{at}:	:Atmosferik basınç
R	:Genel gaz sabiti
Rs	:Eğrilik yarıçapı
ρ_w :	:Suyun özgül hacmi
Θ_r:	:Rezidüel hacimsel su muhtevası
Θs:	:Doygun hacimsel su muhtevası
Θ:	:Hacimsel su muhtevası
R:	:Genel gaz sabiti
S	:Suya doygunluk yüzdesi
S_f	:Nihai suya doygunluk yüzdesi
S_o	:Başlangıç suya doygunluk yüzdesi

SWCC	:Zemin su karakteristik eğrisi
t°	:Sıcaklık
T	:Mutlak sıcaklık
λ'	:Düzeltme katsayısı
Ts	:Suyun yüzey gerilimi
τ_{ff}	:Kayma mukavemeti
τ_{sr}	:Kalıcı matrik emmenin kayma mukavemetine katkısı
u	:Membran yüzeyine etki eden basınç
u_a	:Boşluk hava basıncı
$(u_a- u_v)$	:Matrik emme
UU	:Konsolidasyonsuz-Drenajsız üç eksenli basınç deneyi
$\bar{u}_v$	:Kısmi boşluk suyu buhar basıncı
$\bar{u}_{vo}$	:Aynı sıcaklıktaki saf su yüzeyi üzerindeki doymuş su buharı basıncı
u_v	:Boşluk suyu basıncı
w	:Su muhtevası
ω_v	:Su buharının moleküler kütlesi
χ	:Efektif gerilme katsayısı
α	:Matrik emmeye bağlı başlangıçtaki kayma mukavemeti açısı
β^1	:Kayma mukavemetine katkı yapan bağlayıcı faktörü
β_1	:Matrik emmeye bağlı maksimum kayma mukavemeti
γs	:Dane birim hacim ağırlığı
v_{wo}	:1/Suyun özgül hacmi
π	:Ozmotik emme
σ	:Toplam gerilme
$(\sigma-u_a)$	:Net normal gerilme
$(\sigma-u_w)$	:Efektif gerilme
σ’	:Efektif gerilme
ϕ	:Kayma mukavemeti açısı
ϕ’	:Efektif kayma mukavemeti açısı
ϕ_b	:Matrik emmeye bağlı kayma mukavemeti açısı
ψ	:Zemin emme gerilmesi ya da toplam emme
ψ_e	:Hava giriş matrik emme değeri
ψf	:Islak cephe matrik emme gerilmesi
ψ_r	:Kalıcı matrik emme
$\Delta\Theta_i$	:Hacimsel su içeriğindeki değişim
zw	:Islak cephe derinliği

1. GİRİŞ

Şev stabilite problemleri, geoteknik mühendisliğinde en yaygın karşılaşılan problemler arasındadır. Şev duraylılığının önemi nedeniyle uzun yıllardır doğal veya yapay şevler geoteknik mühendislerinin özel ilgi alanına girmektedir.

Şev stabilitesiyle ilgili sorulabilecek ilk soru doğal bir şevin var oluşundan uzun süre sonra neden aniden göçtüğüdür. Yağış etkisi bu sorunun en etkili cevaplarından birisidir. Doygun olmayan zeminlerde heyelanlar genellikle yoğun yağışlı sezonlarda gerçekleşir. Başka bir deyişle, şev göçmeleri yağış etkisiyle tetiklenir. Birçok doğa olayı, iklim ve jeolojik koşulların şev stabilitesini tetiklediğini göstermiştir. Şev stabilitesini etkileyen faktörlerden bazıları; şevin eğimi, nem içeriği, boşluk suyu basınç değişimi olarak sıralanabilir. (Fisher 1971, Hutchinson ve Bhandari 1971, Scott 1972, Williams ve Guy 1973, Swanston 1974, Campbell 1975, Istok ve Harward 1983).

Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetinin su içeriğiyle olan ilişkisi yapılan birçok çalışma ile ortaya çıkarılmıştır. Yağış infiltrasyonu sonucunda meydana gelen şev göçmeleri de bu ilişki ile açıklanabilir. Yağmur suyunun infiltrasyonu veya ıslak cephenin oluşumu, asılı su tablası oluşmasına veya yeraltı su seviyesinde yükselmeye neden olur ve sonuç olarak boşluk suyu basıncında bir artış veya zemin matrik emmesinde bir azalma meydana gelir. Bu da zeminin kayma mukavemetini kaybetmesine ve hatta şevin göçmesine neden olur. (Ng ve Shi 1998).

Araştırma kapsamında doygun olmayan ofiyolitli kil zeminin yağış infiltrasyonu etkisinde şev stabiliteleri incelenecektir. Çalışma kapsamında, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı üzerinde belirlenen bir çalışma alanından örselenmemiş numuneler alınmış ve yapılan laboratuvar deneyleri ile bu zemine ait doygun ve doygun olmayan zemin özellikleri belirlenmiştir.

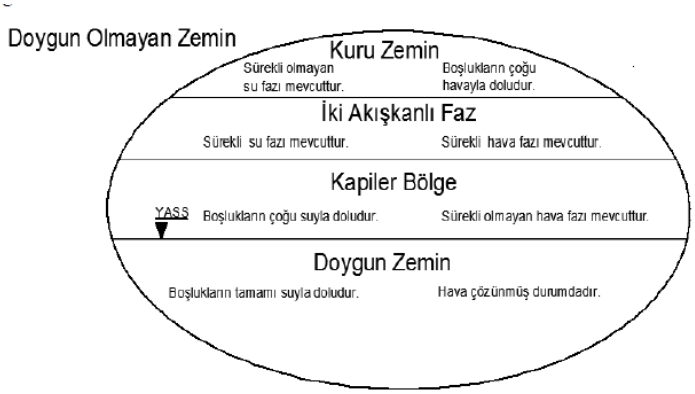
Yağış infiltrasyonunun şev stabilitesine etkileri GEOSTUDIO programı kullanılarak araştırılmıştır. Alınan numunelere ait zemin özellikleri ile çalışma alanı yağış verileri kullanılarak, yağışın şev stabilitesine olan etkisi incelenmiş ve zemin geçirimliliğinin, yağış süresi ve yoğunluğunun ve yeraltı su seviyesinin etkileri de parametrik olarak araştırılmıştır.

Çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışma konusuna giriş yapılmaktadır. İkinci bölümde önceki çalışmalar detaylı olarak anlatılacaktır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan ofiyolitli kil zeminin özelliklerinin elde edilmesi için yapılan laboratuvar deneyleri ile analizlerde kullanılan GEOSTUDIO programı hakkında bilgi verilecek ve programda modellerin nasıl oluşturulduğu anlatılacaktır. Yapılan analizlere bağlı olarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak dördüncü bölümde verilecek ve son bölümde çalışmanın genel sonuçlarından bahsedilerek gelecek araştırmalara önerilerde bulunulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1.Doygun Olmayan Zeminler

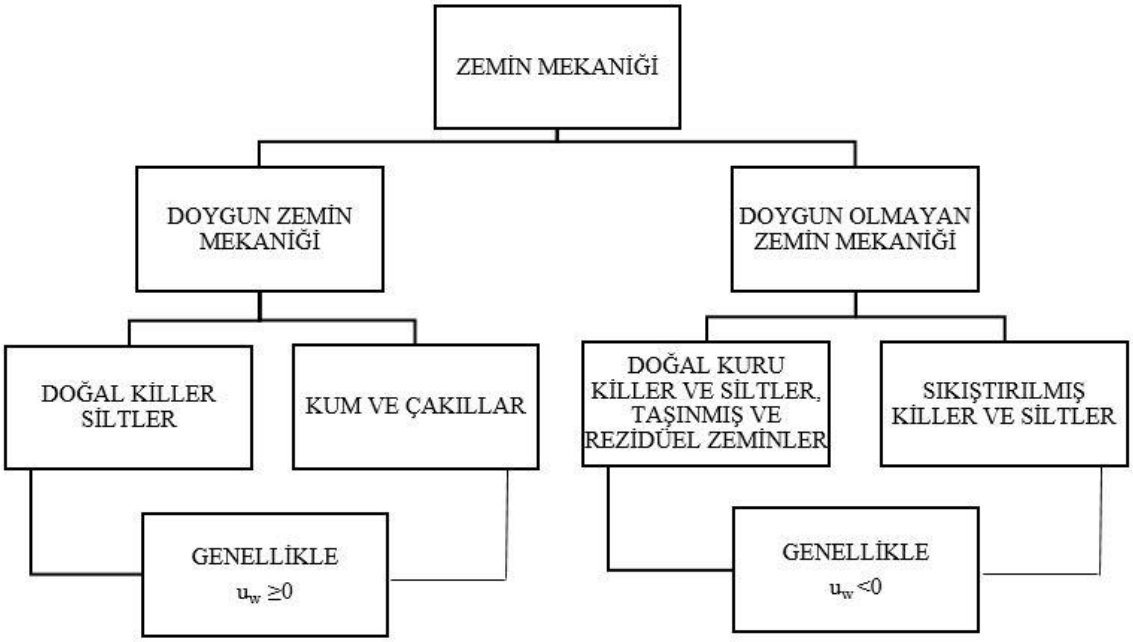
Klasik zemin mekaniğinde temel olarak varsayılan ortamın tamamen doygun olduğudur. Zemin boşluklarının %98'inden fazlasının su ile dolu olması haline doygun durum denilmektedir. Kalan boşluklardaki hava ise süreksiz yani ayrık durumdadır. Fakat zemin içerisindeki boşlukların %95'i veya daha azının su ile dolu olması durumunda; boşluklar arasında bağlantı oluşarak, boşluklar sürekli hale gelir. Bu durumda zemin doygun halde olma özelliğini yitirir (Şekil 2.1.). Bu tür zeminlere 'doygun olmayan' ya da 'yarı doygun' zemin denir (Önalp ve Arel 2013).



Şekil 2.1. Doygun ve doygun olmayan zeminlerin bölgeleri (Fredlund 1996)

Yeraltı su seviyesi altında genellikle boşluk suyu basıncı pozitiftir ve zemin doygun durumdadır. Yeraltı su seviyesinin üstünde ise genellikle boşluk suyu basıncı negatiftir. Yeraltı su seviyesinin hemen üstünde doygunluk derecesinin yüzde 100'e yaklaştığı kılcal damarlı bir bölge bulunur. Bu zonun kalınlığı, zemin tipine bağlı olarak yaklaşık 1 metre ile 10 metre arasında değişebilir. Yeraltı su seviyesinin üzerindeki tüm bölgeye vadoz zon denir (Fredlund 1996).

Doygun ve doygun olmayan zeminlerin arasındaki farklılaşma; zeminlerin doğaları ve mühendislik özelliklerindeki temel farklılıklardan dolayı gerekli hale gelmiştir. Bu nedenle zemin mekaniğinin genel alanı doygun zeminler ve doygun olmayan zeminler olarak ikiye ayrılabilir (Şekil 2.2.) (Fredlund ve Rahardjo 1993).



Şekil 2.2. Zemin mekaniğinin genel alanları (Fredlund and Rahardjo 1993)

Doygun olmayan zeminlerde karşılaşılan problemler doygun zeminler ile benzerdir. Bu problemler;

-Baraj inşaatı ve işletilmesi

-Çevresel etkiler altında şev stabiliteleri

-Katı atık depolama sahaları ve kirlenme

-Dikey veya dikeye yakın kazıların duraylılığı

-Dayanma yapıları ve yanal toprak basınçları

-Sığ temellerin taşıma gücü

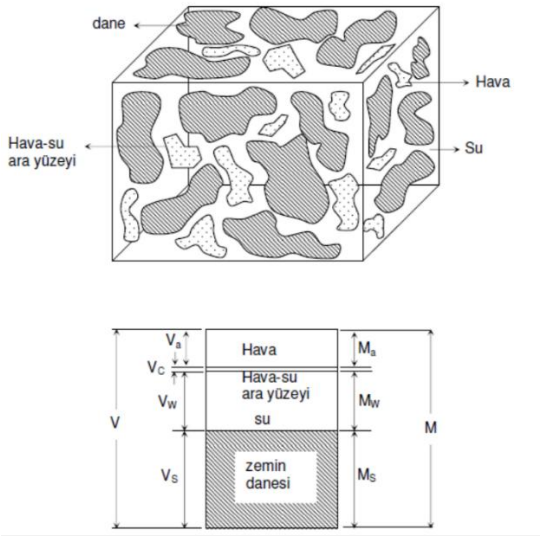
-Şişen killer ve sonucunda meydana gelen zemin hareketleri

-Büzülen zeminler (collapsing soils) (Fredlund ve Rahardjo 1993)

Doygun olmayan zemine yaygın bir şekilde 3 fazlı sistem olarak değinilmektedir. Fakat son zamanlarda hava-su ara yüzeyinin (contractile skin) önemli rolünün kavranması onu, fiziksel mekanizmaya dâhil ederek ilave faz olarak kabul edilmesini sağlamıştır. Hava fazı sürekli olduğunda; hava su ara yüzeyi zeminle etkileşime geçerek zeminin mekanik davranışında etkinlik sağlar (Fredlund ve Rahardjo 1993).

Doygun olmayan zeminlerin gerilme analizlerinde dört fazlı sistem olarak tanımlanması avantaj sağlar (Fredlund ve Morgenstern 1977). Hava-su ara yüzeyinin en ayırt edici özelliği çekme gerilmesi oluşturmasıdır. Gerilme altında hava-su ara yüzeyi zemin ile iç içe geçmiş elastik bir membran gibi davranır (Davies ve Rideal 1963).

Doygun olmayan zeminlerde hava-su ara yüzeyinin kalınlığı birkaç molekül katmanı kadar olduğundan, kütle-hacim ilişkisi kurulurken dikkate alınması gerekmez. Hava su ara yüzeyinin hacmi küçük olduğundan ve ağırlığı su ağırlığına dâhil edildiğinden; kütle hacim ilişkilerinde sistem üç faz olarak düşünülebilir. Ancak gerilme analizlerinde hava-su ara yüzeyi bağımsız bir faz olarak düşünülmelidir (Fredlund ve Rahardjo 1993). Şekil.2.3.'te doygun olmayan zeminlere ait 4 fazlı zemin prizması görülebilir.



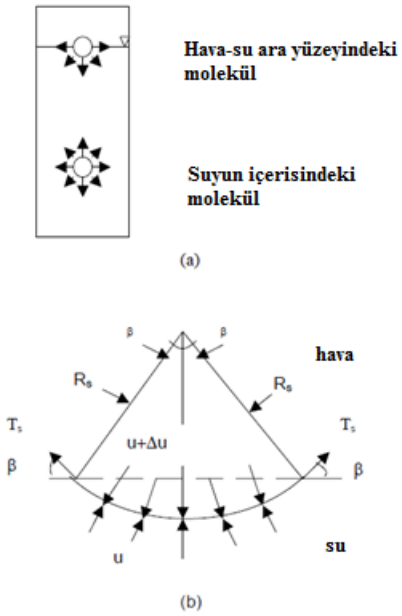
Şekil 2.3. Doygun olmayan zeminin fazları (Fredlund ve Rahardjo 1993)

Geoteknik mühendisleri, küçük bir toprak numunesinin atmosfere maruz kaldığında kuruduğunu ve büzüldüğünü gözlemlemişlerdir. Numune hacmi büzülmeden kaynaklı küçülürken, zemin yüzeyindeki toplam gerilme değişmeden sıfır olarak kalır. Boşluk suyu basıncı giderek negatif hale gelirken ince bir lastik membran gibi davranan, parçacıkları bir araya getiren, hava-su ara yüzeyidir (Fredlund ve Rahardjo 1993).

2.1.1. Yüzey Gerilimi

Hava-su ara yüzeyi (contractile skin), yüzey gerilimi özelliğine sahiptir. Yüzey gerilimi; hava-su ara yüzeyindeki moleküllere etki eden moleküler-arası kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Bu kuvvetler, su içerisindeki moleküller üzerine etki eden

kuvvetlerden farklıdır. Su içerisindeki bir moleküle her noktadan eşit kuvvet etki ederken; hava-su ara yüzeyindeki moleküle ise su içerisine doğru dengeli olmayan kuvvetler etkir (Şekil 2.4.). Hava-su ara yüzeyindeki moleküllerin dengede kalması için; ara yüzey boyunca çekme gerilmeleri meydana gelir (Fredlund ve Rahardjo 1993).



Şekil 2.4. Hava-su ara yüzeyinde meydana gelen yüzey gerilimi a) hava-su ara yüzeyindeki moleküle etkiyen kuvvetler b) su içerisindeki moleküle etkiyen kuvvetler (Fredlund ve Rahardjo 1993)

Çekme gerilmesinin oluşmasını sağlayan hava-su ara yüzeyinin bu özelliği, yüzey gerilimi, Ts olarak adlandırılır. Yüzey gerilimi, hava-su ara yüzeyinin birim uzunluğuna etki eden çekme gerilmesidir (N/m). Büyüklüğü sıcaklık arttıkça azalır. Çizelge 2.1. farklı sıcaklıklarda hava-su ara yüzeyinde meydana gelen yüzey gerilimi değerlerini göstermektedir (Fredlund ve Rahardjo 1993).

Çizelge 2.1. Sıcaklığa bağlı olarak hava-su ara yüzeyinde meydana gelen yüzey gerilimi (Fredlund and Rahardjo 1993)

Sıcaklık t (°C)	0	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100
Yüzey Gerilimi Ts (mN/m)	75.7	74.2	73.5	72.75	72	71.2	69.6	67.9	66.2	64.4	62.6	58.8

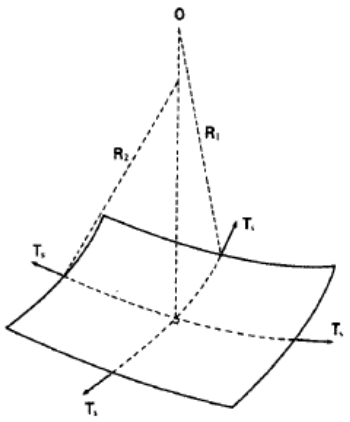
Yüzey gerilimi hava su ara yüzeyinin elastik bir membran gibi davranmasına neden olur. Bu durum, iç basıncı dış basıncından daha fazla olan şişirilmiş bir balonun davranışına benzer. Esnek bir iki boyutlu membran; her iki tarafta farklı basınçlara maruz kalırsa, daha büyük basınca doğru içbükey bir kavis oluşturur ve dengede kalmak için membranda gerilme meydana gelir. Membran dengede olduğundan, kavisli yüzey boyunca mevcut olan basınç farkı; yüzey gerilimi ve yüzeyin eğrilik yarıçapı ile ilişkilendirilebilir (Fredlund ve Rahardjo 1993).

Membran yüzeyine etki eden basınçlar u ve (u+Δu)'dur. Membran Rs eğrilik çapına ve Ts yüzey gerilmesine sahiptir. Yatayda mevcut olan kuvvetler birbirleri ile denge içerisindedir. Düşey doğrultuda kuvvetlerin dengesi Denklem 2.1. şeklinde yazılabilir.

$$2T_s \sin\beta = 2\,\Delta u R_s \sin|\beta \tag{2.1}$$

Denklem 2.1. 'de $2R_s\,sin\beta$ yatay düzlemde membran uzunluğunu ifade eder. Denklem 2.1 düzenlenirse;

$$\Delta u = \frac{T_s}{R_s} \tag{2.2}$$



Şekil 2.5. Üç boyutlu membranda yüzey gerilmeleri (Fredlund and Rahardjo 1993)

Denklem 2.2 3 boyutlu membran için Laplace denklemi kullanılarak genişletilebilir. (Şekil 2.5.)

$$\Delta u = T_s(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) \tag{2.3}$$

Denklemde R1 ve R2 3 boyutlu membranın eğrilik yarıçapını ifade eder. Eğer 3 boyutlu membranın eğriliği tüm doğrultularda eşit ise R_1 ve R_2; Rs'e eşit olur. Bu durumda Denklem 2.4 elde edilir.

$$\Delta u = \frac{2T_s}{R_s} \tag{2.4}$$

Doygun olmayan zeminlerde, hava su ara yüzeyi su basıncından u_w, daha büyük olan hava basıncına, u_a, maruzdur. Hava ve su basınçlarının farkı matrik emme olarak adlandırılır. Hava-su ara yüzeyinde kavisli yüzey meydana getiren basınç farkı Denklem 2.5 şeklinde gösterilir.

$$(u_a - u_w) = \frac{2T_s}{R_s} \tag{2.5}$$

(u_a - u_w)= matrik emme, hava su ara yüzeyine etki eden boşluk hava basıncı ile boşluk suyu basıncının farkı.

2.1.2. Zemin Emme Gerilmesi

Zemin emme gerilmesi ile ilgili teorik çalışmalar 1900'lerden itibaren yapılmaktadır. Zemin emme gerilmesi genel olarak zemindeki bağımsız enerji olarak düşünülebilir. (Edlefsen ve Anderson 1943). Bu bağımsız enerji zemindeki kısmi buhar basıncına göre ölçülebilir (Richards 1965). Zemin emme gerilmesi ile zemin kısmi buhar basıncı arasındaki ilişki termodinamik yasaları kullanılarak Kelvin denklemi olarak bilinen Denklem 2.6 ile ifade edilebilir (Sposito 1981).

$$\psi = -\frac{RT}{v_{W0}\omega_V} ln(\frac{\bar{u}_v}{\bar{u}_{v0}}) \tag{2.6}$$

Denklemde,

Ψ = Zemin emme gerilmesi ya da toplam emme (kpa)

R = Genel gaz sabiti [8.31432 J/(mol K)]

T = Mutlak sıcaklık [273.16 + t° (K)]

v_{w0} = 1/Suyun özgül hacmi [(m^3/kg),($1/\rho_w$)]

ρ_w = Suyun özgül hacmi (t° =20 °C de ρ_w = 998 kg/m^3)

ω_v = Su buharının moleküler kütlesi (18.016 kg/mol)

$\bar{u}_v$ = Kısmi boşluk suyu buhar basıncı (kPa)

$\bar{u}_{v0}$ = Aynı sıcaklıktaki saf su yüzeyi üzerindeki doymuş su buhar basıncı (kPa)

$(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{vo}})$Terimi bağıl nemi ifade eder. Eğer referans sıcaklık olarak t= 20° C'yi seçersek; Denklem 2.6'da sabitler 135022 kPa değerini alır. Bu durumda Denklem 2.7 elde edilir.

$$\psi = -135022\ ln(\frac{\bar{u}_v}{\bar{u}_{v0}}) \quad (2.7)$$

Toplam emme zemin suyunun serbest enerjisiyle ilişkilidir. Ayrıca, matrik emme ve ozmotik emme ise serbest enerjinin bileşenleridir. Toplam emme; matrik emme ve ozmotik emme olarak adlandırılan bileşenlerin toplamı olarak ifade edilebilir. Toplam emme gerilmesi, ψ, bir denklem formunda, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\psi = (u_a - u_w) + \pi \quad (2.8)$$

Denklemde,

$(u_a - u_w)$ = Matrik emme (kPa)

u_a = Boşluk hava basıncı (kPa)

u_w = Boşluk suyu basıncı (kPa)

π = Ozmotik emme (kPa)

Zeminlerin boşluklarındaki suda genellikle çözünmüş halde tuzlar bulunur. Zemin suyundaki çözünmüş tuzların miktarının artmasıyla bağıl nem azalır. Zemin suyundaki çözünmüş tuzlardan dolayı meydana gelen, bağıl nemdeki azalma; ozmotik emme olarak tanımlanır (Fredlund ve Rahardjo 1993).

Ozmotik emmenin rolü genellikle doygun zeminlerden daha çok doygun olmayan zeminlerle ilişkilendirilmiştir. Fakat ozmotik emme doygun veya doygun olmayan zeminlerin boşluklarında bulunan suyun tuz içeriğiyle ilgilidir. Bu sebeple ozmotik emmenin rolü doygun veya doygun olmayan zeminler için eşittir (Fredlund ve Rahardjo 1993). Toplam emmeyi, ozmotik basınç az olduğu zaman tanımlamak daha kolay olmaktadır. Zeminin boşluklarındaki suda çözünmüş tuz miktarı az ise ozmotik basınç dikkate alınmamaktadır (Tekinsoy 2002).

Doygun olmayan zeminlere ait efektif gerilmelerin elde edilebilmesi için zeminin hava ve su basınçlarının bilinmesine gerek duyulur. Bu parametrelerin elde edilmesi için ise en basit yol doğrudan ölçümdür. Zeminde mevcut olan üç farklı emme gerilmesinin ölçümü için farklı metotlar mevcuttur (Önalp ve Arel 2013). Bu metotlar Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Emme gerilmeleri ölçümü için yöntemler (Önalp ve Arel 2013)

ÖLÇÜM SİSTEMİ	EMME	ÖLÇÜLEN DEĞİŞKEN	ARALIK (kPa)	DENGE SÜRESİ	ÖLÇÜM YERİ	KAYNAK
Transistörlü Psikrometre	T	Bağıl Nem	100-70000	Dakika	Lab/Arazi?	Truong&Holden, 1995
Termokupl Psikrometre	T	Bağıl Nem	100-8000	Dakika	Lab/Arazi?	Brown&Collins, 1980
Çiğlenme Noktası Psikrometresi	T	Bağıl Nem	30000-300000	Dakika	Lab	ASTM
Süzgeç (Filtre) Kâğıdı (temas yok)	T	Su İçeriği	400-30000	7-14 Gün	Lab/Arazi	Al-Khafaf & Hanks, 1974
Süzgeç (Filtre) Kâğıdı	M	Su İçeriği	30-30000	7 Gün	Lab/Arazi	Gardner, 1930
Emme Plakası	M	Boşluk Suyu Gerilmesi	0-90	Saat	Lab	Dineen, 2000b
Basınç Plakası/Membranı	M	Boşluk Suyu Gerilme Etkisi	0-10000	Saat	Lab	Hilf, 1951
Tansiyometre	M	Boşluk Suyu Gerilmesi	0-90	Dakika	Lab/Arazi	Soil Moisture Equiıpment
TDR Sonda	M	Su İçeriği	0-1500	Saat	Lab/Arazi	Cook&Fredlund, 1998
Eriyik Tansiyometresi	M/T	Boşluk Suyu Gerilme Etkisi	30-30000	Saat	Lab/Arazi	Bocking&Fredlund, 1979
IC Tansiyometresi (Emme Sondası)	M/T	Boşluk Suyu Gerilmesi	0-300	Dakika	Lab/Arazi?	Ridley&Burland 1993
Alçı Blok	M	Elektriksel Direnç	30-3000	Hafta	Lab/Arazi	Aitchison&Richards, 1965
Isıl İletkenlik	M	İletkenlik	0-300	Hafta	Lab/Arazi	Sattler&Fredlund, 1989
Sızma	O	İletkenlik	30-3000	Saat	Lab	Manheim,1966
Süzme	O	İletkenlik	30-3000	Saat	Lab	Manheim,1966

2.1.3. Gerilme Durum Değişkenleri

Doygun zeminlerdeki gerilme durumu değişkenleri efektif gerilme ile ifade edilir (Denklem 2.9).

$$\sigma' = \sigma - u_w \tag{2.9}$$

Denklemde σ' efektif gerilmeyi, σ toplam gerilmeyi ve u_w boşluk suyu basıncını ifade eder.

Son yıllarda, doygun olmayan zeminler için gerilme durumu değişkenleri bağımsız bir şekilde ifade edilmeye çalışılmıştır. Başka bir deyişle efektif gerilme denklemi iki bağımsız gerilme durumu değişkenine ayrılmış ve böylece gerilme durumunu ifade ederken zemin özelliklerinin açıklanmasına ihtiyaç kalmamıştır. Hava-su ara yüzeyinin ayrı bir faz olarak düşünülmesi, efektif gerilmenin iki bağımsız gerilme durumu ile ifade edilmesini desteklemektedir (Fredlund ve Morgenstern 1977).

Croney ve arkadaşları (1958) doygun olmayan zeminler için 2.10 olarak verilen efektif gerilme denklemini önermiştir.

$$\sigma' = \sigma - \beta' u_w \tag{2.10}$$

Denklem 2.10'da σ' efektif gerilmeyi, σ toplam gerilmeyi, β' zeminin kayma mukavemetine katkı yapan bağlayıcı faktörü, u_w boşluk suyu basıncını ifade eder.

Bishop (1959) efektif gerilme için yaygın şekilde kabul gören Denklem 2.11'i önermiştir.

$$\sigma' = (\sigma - u_a) - \chi(u_a - u_w) \tag{2.11}$$

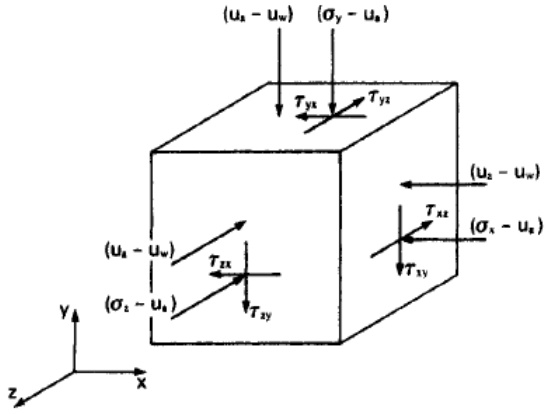
Denklemde;

u_a boşluk hava basıncı ve χ doygunluğa bağlı parametre olarak ifade edilmiştir.

χ parametresinin büyüklüğü 0 ile 1 arasında zeminin doygunluk yüzdesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. χ parametresi doygun zeminlerde 1 iken tamamen kuru zeminlerde 0'a eşit olmaktadır. Bu durumda doygun zeminlerde Denklem 2.11'in Terzaghi'nin önerdiği efektif gerilme denklemine dönüştüğü görülmektedir.

Fredlund ve Morgenstern (1977); çok fazlı sürekli ortam mekaniği temelinde, doygun olmayan zeminler için teorik gerilme analizi yapmışlardır. Çalışmalarında

doygun olmayan zemini dört fazlı sistem olarak dikkate alarak, normal gerilme değişkenlerinin üç tanesinden herhangi ikisinin zeminin gerilme durumunu tanımlamak için yeterli olacağını ifade etmişlerdir. Başka bir ifadeyle; doygun olmayan zeminin gerilme durum değişkenlerini tanımlayan üç farklı gerilme vardır. Bunlar 1) $(\sigma-u_a)$ ve (u_a-u_w) 2) $(\sigma-u_w)$ ve (u_a-u_w) 3) $(\sigma-u_a)$ ve $(\sigma-u_w)$'dir ve üç boyutlu gerilme uzayında bu değişkenler iki bağımsız gerilme tensörü oluşturur (Şekil 2.6. ve Şekil 2.7.). Bu gerilme durum değişkenleri doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetini ve hacim değişim davranışını ifade etmek için formüle edilebilir (Fredlund ve Rahardjo 1993).



Şekil 2.6. Doygun olmayan zemin için gerilme durum değişkenleri

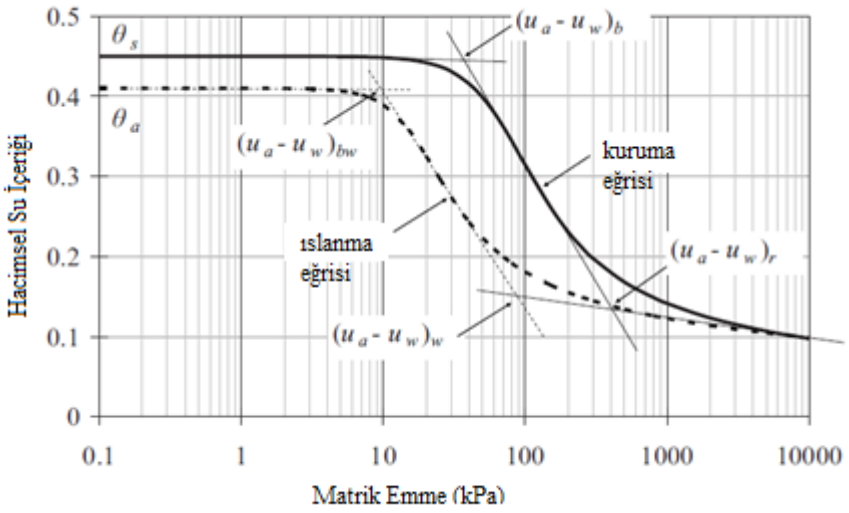
$$\begin{bmatrix} (\sigma_x - u_a) & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - u_a) & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - u_a) \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} (u_a - u_w) & 0 & 0 \\ 0 & (u_a - u_w) & 0 \\ 0 & 0 & (u_a - u_w) \end{bmatrix}$$

(a) (b)

Şekil 2.7. Doygun olmayan zemin için gerilme tensörleri a) efektif gerilme tensörü b) matrik emme gerilme tensörü

2.1.4 Zemin-Su Karakteristik Eğrisi

Doygun olmayan zeminlerdeki su içeriği zeminde mevcut olan matrik emmenin bir fonksiyonudur. Zeminin su içeriği ile emme gerilmesi arasındaki bu ilişki; her hacimsel su muhtevasına karşılık gelen emme gerilmesinin gösterildiği, zemin-su karakteristik eğrisi olarak bilinen eğri ile ifade edilebilir (Leong ve Rahardjo 1997). Laboratuvar çalışmaları doygun olmayan zeminlerin özellikleri ile zemin-su karakteristik eğrisi arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir (Fredlund ve Rahardjo 1993). Şekil 2.8.'de standart bir zemin-su karakteristik eğrisi görülmektedir.



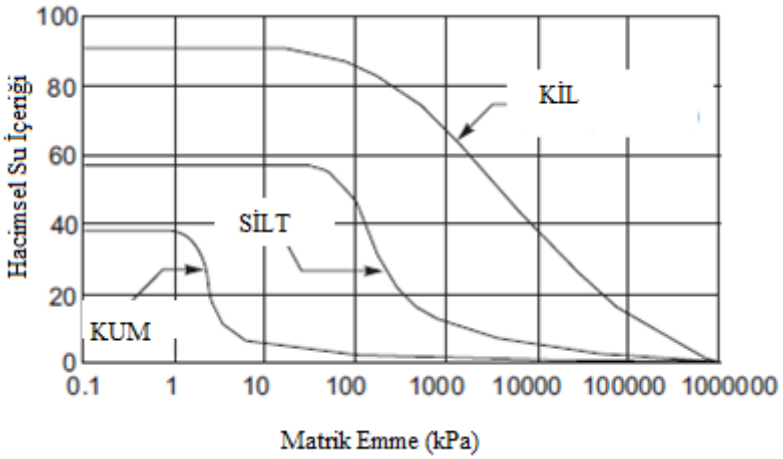
Şekil 2.8. Genel zemin-su karakteristik eğrisi (Fredlund ve Xing 1994)

Bütün zemin türlerinde, zeminin sıfır su içeriğine ulaştığı anda sahip olduğu toplam gerilme yapılan deneysel çalışmalarla (Russam 1958, Croney ve Coleman 1961) ve ayrıca bu çalışmaları destekleyen termodinamik prensipleriyle (Richards 1965) yaklaşık 1 000 000 kPa olarak elde edilmiştir.

Zemin-su karakteristik eğrisinin en önemli parametreleri hava giriş değeri (AEV) ile rezidüel su içeriğidir. Hava giriş değeri zemin boşluklarına havanın girebilmesi için gerekli olan matrik emmeyi ifade eder. Eğri üzerinde hava-giriş değerinin elde edilebilmesi için zeminin %100 doygun olduğu noktadan (Θs) X-yatay eksenine paralel olacak şekilde bir doğru çizilir. Eğrinin 1. kırılma noktasından sonra gelen geçiş bölgesindeki doğru uzatılarak; paralel doğru ile kesiştirilir ve bu kesişim noktası hava giriş değerini $(u_a-u_w)_b$ verir (Şekil 2.8.).

Zemin boşlukları içerisindeki suyun süreksiz hale geldiği hacimsel su içeriği rezidüel hacimsel su içeriğidir. Bu parametrenin eğri üzerinden elde edilebilmesi için eğrinin rezidüel bölgesi içinde kalan kısmı 10^6 kPa emme değerini %0 hacimsel su içeriğinde kesecek şekilde uzatılır. Bu doğru ile eğrinin geçiş kısmında kalan doğru kesiştirilerek rezidüel hacimsel su içeriği elde edilir (Şekil 2.8.).

Zemin-su karakteristik eğrisi zemin türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Şekil 2.9.'da kil, silt ve kum zemin türleri için zemin su karakteristik eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.9. Farklı zemin türleri için zemin-su karakteristik eğrisi (Fredlund ve Xing 1994)

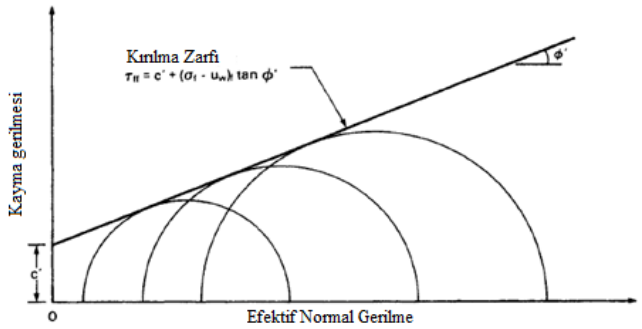
2.2. Doygun Olmayan Zeminlerin Kayma Mukavemeti

Doygun zeminlerin kayma mukavemeti Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılarak Denklem 2.12 ile ifade edilir (Terzaghi, 1936).

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_w)_f \tan\phi' \qquad (2.12)$$

Denklemde; τ_{ff} kayma mukavemeti, c' efektif kohezyon, $(\sigma_f - u_w)_f$ efektif normal gerilme, σ_{ff} toplam gerilme, u_{wf} boşluk suyu basıncı, ϕ' efektif içsel sürtünme açısını ifade eder.

Denklem 2.12 bir doğruyu ifade eder. Bu doğru genellikle kırılma zarfı olarak ifade edilir. Kırılma zarfı yenilmeye sebep olacak çeşitli kayma gerilmesi ve normal gerilme kombinasyonlarını temsil eder (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Mohr-Coulomb kırılma zarfı

Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti Gan ve arkadaşları (1988)'nın tariflediği modifiye kesme kutusu deneyi veya Fredlund ve Rahardjo (1993)'nun önerdiği modifiye üç eksenli basınç deneyleri ile elde edilebilir. Fakat deneysel çalışmaların

zahmetli ve maliyetli oluşu nedeniyle doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetinin doygun zemin parametrelerine bağlı olarak matematiksel denklemler kullanılarak elde edilmesini sağlamak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır.

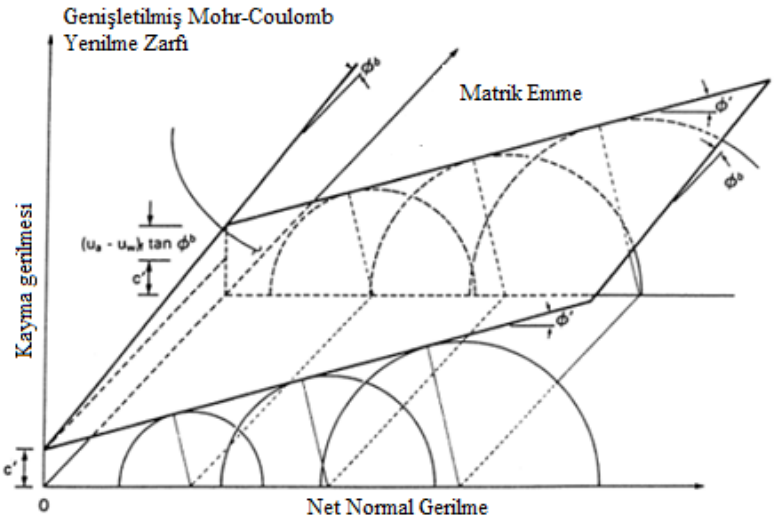
Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti bağımsız gerilme durum değişkenleri ile ifade edilebilir. Gerilme durum değişkenlerinden herhangi iki tanesi kayma mukavemeti denklemi için kullanılabilir. (σ-u_a) ve (u_a-u_w) gerilme değişkenleri kullanılarak Denklem 2.13 elde edilmiştir. (Fredlund ve ark. 1978)

$$\tau = c' + (\sigma - u_a)tan\,\phi' + (u_a - u_w) + tan\,\phi^b \qquad (2.13)$$

Denklemde $(\sigma-u_a)$ net normal gerilmeyi, (u_a-u_w) matrik emmeyi ve son olarak ϕ^b ise matrik emmeye bağlı olarak kayma mukavemeti artış miktarını gösteren açı olarak tanımlanır. Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti için önerilen denklem, doygun zeminlerin kayma mukavemeti denkleminin genişletilmiş halidir.

Zemin doygunlaştıkça boşluk hava basıncı boşluk suyu basıncına yaklaşır ve doygun durumda matrik emme 0 olur. Bu durumda genişletilmiş Mohr-Coulomb kırılma zarfı, doygun zeminlerin kayma mukavemetini veren Denklem 2.9'a dönüşür.

Doygun zeminlerin kırılma zarfı Şekil 2.10.'da görüldüğü üzere kırılma durumunu yansıtan mohr dairelerinin iki boyutlu olarak çizilmesiyle elde edilir. Doygun olmayan zemin durumunda ise ilave edilen matrik emme gerilme durum değişkeni $(u_a - u_w)$ ve kayma mukavemeti parametresi ϕ^b ile Mohr-Coulomb kırılma zarfı üç boyutlu hale gelir (Şekil 1.8.). (Fredlund ve Rahardjo 1993).



Şekil 2.11. Genişletilmiş Mohr-Coulomb kırılma zarfı

Fredlund ve arkadaşları (1978) doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetini matrik emmeye bağlı olarak kayma mukavemeti artış miktarını gösteren açıyı, ϕ^b, sabit kabul ederek kırılma zarfını lineer olarak önermiştir. Fakat yapılan birçok deneysel çalışma kırılma zarfının nonlineer olduğunu göstermiştir (Escario ve Saez 1986, Gan ve Fredlund 1988, Abramento ve Carvalho 1989). Bu nedenle ϕ^b açısının matrik emmeye bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Hava giriş değerinde (AEV) zeminin sahip olduğu matrik emme değerinde ve bu değerden daha küçük matrik emme değerlerinde, ϕ^b açısının ϕ' açısına eşit veya çok yakın olduğu görülmüştür (Fredlund ve Rahardjo 1987; Gan ve ark. 1988; Vanapalli ve ark. 1996; Rassam ve Williams 1999; Lee ve ark. 2005). Bu sebeple hava giriş değerindeki matrik emme değerinden daha düşük matrik emme değerleriyle yapılmış olan deneylerde kayma mukavemetiyle matrik emme arasında lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Fakat hava-giriş değerinden daha büyük matrik emme değerlerinde bu ilişkinin nonlineer olduğu yapılan çalışmalarla elde edilmiştir (Vanapalli ve ark. 1996; Rassam ve Williams 1999; Lee ve ark. 2005). Rezidüel matrik emme değerinden daha büyük matrik emme değerlerinde ise doygun olmayan zeminin kayma mukavemeti artabilir, düşebilir veya sabit kalabilir (Vanapalli ve ark. 1996).

Vanapalli ve ark. (1996) doygun olmayan zeminin kayma mukavemetini bir zemin-su karakteristik eğrisi boyunca farklı doygunluk derecelerinde su alanının değişimini tanımlayarak elde edebilmek için fiziksel bir model geliştirerek Denklem 2.14'ü önermişlerdir. Bu denklem ile istenilen her matrik emme değişimi için kayma mukavemeti belirlenebilir.

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a)tan\,\phi' + (u_a - u_w)\left[(tan\,\phi')\left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right)\right] \quad (2.14)$$

Denklemde; Θ, Θ_r, Θ_s sırasıyla hacimsel su içeriği, rezidüel hacimsel su içeriği ve doygun hacimsel su içeriğini ifade etmektedir.

Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetiyle ilgili literatürde önerilen birçok denklem Çizelge 2.3.'te görülebilir (Guan ve ark. 2010).

Çizelge 2.3. Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti için literatürde önerilen denklemler (Guan ve ark. 2010)

Geliştirilen	**Durum**	**Kayma Mukavemeti Eşitlikleri**
Fredlund (1978)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w) + \tan\phi^b$
Shen ve Yu (1996)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\left(\frac{1}{1+(u_a - u_w)d}\right)\tan\phi'$
Shen ve Yu (1996)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\left(\frac{1}{cot\alpha + \frac{(u_a - u_w)}{\beta_1}}\right)\tan\phi'$
Vanapalli (1996)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + [(u_a - u_w)\Theta^K]\tan\phi'$
Vanapalli (1996)	Tahmin	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi'\left[\left(\frac{\Theta_w - \Theta_r}{\Theta_s - \Theta_r}\right)\right]$
Oberg ve Sallfors (1997)	Tahmin	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)[(\tan\phi')(S)]$
Bau (1998)	Tahmin	$\zeta = \frac{log(u_a - u_w)_r - log(u_a - u_w)}{log(u_a - u_w)_r - log(u_a - u_w)_b}$
Khalili ve Khabbaz (1998)	Tahmin	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi'(u_a - u_w)[(\lambda'(\tan\phi')]\lambda' = \{\frac{(u_a - u_w)}{(u_a - u_w)_b}\}^{-0,55}$
Rassam ve Cook (2002)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + \psi\tan\phi' - \varphi(\psi - \psi_e{}^{\beta})\varphi = \frac{\psi_r \tan\phi' - \tau_{Sr}}{(\psi - \psi_e)^{\beta}}$ $\beta = \frac{\tan\phi'(\psi_r - \psi_e)}{\psi_r \tan\phi' - \tau_{Sr}}$
Tekinsoy (2004)	Tahmin	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + \tan\phi'(\psi_e - P_{at})ln\left[\frac{\psi + P_{at}}{P_{at}}\right]$

Çizelge 2.3. Doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti için literatürde önerilen denklemler(devamı) (Guan ve ark. 2010)

Lee (2005)	Düzeltme	$\tau = c' + [(\sigma - u_a) + (u_a - u_w)]tan\,\phi'$ $eğer\ (u_a - u_w) \leq AEV$
		$\tau = c' + [(\sigma - u_a) + AEV]\tan\phi' + [(u_a - u_w) - AEV]\Theta^K[1 +$ $\lambda[(\sigma - u_a)\,tan\,\phi'$ $eğer\ (u_a - u_w) \geq AEV$
Garven ve Vanapalli (2006)	Tahmin	$\tau = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + [(u_a - u_w)\Theta^K]\tan\phi'$ $K = -0{,}0016I_p{}^2 + 0{,}975I_p + 1$
Vilar (2006)	Düzeltme	$\tau = c' + (\sigma - u_a)tan\,\phi' + \frac{(u_a - u_w)}{[a + b(u_a - u_w)]}$ $\frac{1}{a} = tan\,\phi' b = 1/(c_{ult} - c')$

2.3. Yağış İnfiltrasyonu

Yağmur ya da sulama yoluyla zemin yüzeyinde oluşan suyun, zemine nüfuz etmesi süreci infiltrasyon olarak tanımlanır. Gelen su oranı, toprağın sızma oranını aşarsa, toprağın yüzeyinde göllenme veya yüzey akışı oluşur (Williams ve ark. 1998). İnfiltrasyonu etkileyen birçok parametre mevcuttur. Zeminin yapısı, başlangıç su içeriği, suya doygunluk yüzdesi, yüzey özellikleri (donmuş veya örtülü olması), plastisite, kohezyon, sıkıştırma, gözenek boyutu, zeminde geçirimsiz tabaka varlığı infiltrasyonu etkileyen parametrelerden bazılarıdır.

Önemli parametrelerden bir diğeri de iklim faktörüdür. İklim faktörü 5 farklı parametreye bağlıdır. Bunlar; yağış şiddeti, yağış süresi, yağış dağılımı, sıcaklık ve toprak yüzeyinin donmuş olması durumudur (Skaggs, 1980).

Yüksek yoğunluklu yağış yüzeyde geçirimsiz bir tabaka meydana getirir ve bu durumda infiltrasyon azalır. Fakat yağış yoğunluğu düşük ve yağış süresi uzunsa buna bağlı olarak şişme miktarı artar (Schwab ve ark. 1993).

Belli bir zaman aralığında zemine sızabilen yağış miktarı sıfırdan başlangıçtaki nem içeriğinin ve yağış yoğunluğunun bir fonksiyonu olan sızma kapasitesine kadar değişir. Sızma kapasitesi, zeminin belirli bir anda suyu absorbe edebileceği maksimum

sızma miktarını ifade eder. Sızma kapasitesi zamanla değişir ve infiltrasyon devam ettiği sürece yaklaşık olarak doygun zeminin hidrolik iletkenliğine eşit bir minimum değere azalarak yaklaşır (Espinoza 1999).

Zeminlerin infiltrasyon kapasitesini fiziksel olarak ifade eden ilk denklemi Green ve Ampt (1911) önermişlerdir. Modellerinde ıslak cephedeki emme gerilmesini (ψf) ve zeminin doygun permeabilitesini sabit kabul edip, ıslak cephe derinliği üzerindeki nem değişimini ($\Delta\Theta i$) ıslanmadan önceki ve sonraki hacimsel su içeriğindeki değişim olarak ifade etmişlerdir ve bu değişimin ıslak cephe boyunca üniform olduğu kabulünü yapmışlardır. Zemini yüzeyden ıslak cephe derinliğine (z_w) kadar doygun kabul ederken, ıslak cephenin hemen altında zeminin başlangıç suya doygunluk yüzdesine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Darcy kanunu kullanarak herhangi bir T anındaki infiltrasyon kapasitesini elde etmek için Denklem 2.15'i önermişlerdir.

$$f = K_s\left(\frac{z_w - \psi_f}{z_w}\right) = \frac{dF}{dT} \tag{2.15}$$

Denklem 2.15'i integre ederek kümulatif infiltrasyon miktarını (F) Denklem 2.16 ile ifade etmişlerdir.

$$F = z_w\Delta\theta_i = K_s T + \Delta\theta_i\psi_f ln\left(1 + \frac{F}{\Delta\theta_i\psi_f}\right) \tag{2.16}$$

Lumb (1975); ıslak cephe derinliğini ifade etmek için başlangıç ve nihai suya doygunluk yüzdesine bağlı olarak Denklem 2.17'yi önermiştir.

$$h_w = \frac{k_s t}{n(S_f - S_0)} \tag{2.17}$$

Denklemde;

h_w = ıslak cephe derinliği

k_s = doygun durumda permeabilite katsayısı

n = porozite

S_f = nihai suya doygunluk yüzdesi

S_o = başlangıç suya doygunluk yüzdesi

Bu yöntem 1970-1980 yılları arasında; yağış sezonu sonunda meydana gelen ıslak cephe derinliği ile yeraltı su tablasını superpoze ederek şevlerde yeraltı su seviyesinin

değişimini belirlemek için sıklıkla kullanılmıştır. Fakat denklem zemin koşullarını, şevin eğimini, yağış yoğunluğunu ve en önemlisi zeminin su içeriğine bağlı olan geçirimliliğini dikkate almadığı için geçerliliğini yitirmiştir (Brand 1984).

Pradel ve Raad (1993), Green ve Ampt (1911) eşitliğini kullanarak z_w derinliğine kadar zeminin doygunlaşması için gerekli olan süreyi Denklem 2.18 ile ifade etmişlerdir.

$$T = \frac{\mu}{k_s}\left[z_w - \psi ln\left(\frac{\psi+z_w}{\psi}\right)\right] \quad (2.18)$$

Denklemde μ ıslak cephe derinliği üzerindeki hacimsel su içeriği değişimini ($\Delta\Theta_i$) göstermektedir.

Pradel ve Raad (1993), z_w derinliğine kadar zeminin doygunlaşması için; yağış yoğunluğunun (I), infiltrasyon yoğunluğundan (f) daha büyük veya en azından eşit olması ve yağışın T_{min} süresinden daha uzun sürmesi gerektiğini ifade etmişler ve T=T_{min} ile I_{min}= f alarak Denklem 2.15 ile Denklem 2.18'i birleştirerek Denklem 2.19'u önermişlerdir.

$$I_{min} = \frac{\mu}{T_{min}}\left[z_w - \psi ln\left(\frac{\psi+z_w}{\psi}\right)\right]\left(\frac{z_w+\psi}{z_w}\right) \quad (2.19)$$

2.4 Yağış İnfiltrasyonunun Doygun Olmayan Zemin Şevlerinin Stabilitesine Etkisi

Yağmur suyunun infiltrasyonu veya ıslak cephenin oluşumu; asılı su tablası oluşmasına veya yeraltı su seviyesinde yükselmeye neden olur ve sonuç olarak boşluk suyu basıncında bir artış veya zemin matrik emmesinde bir azalma meydana gelir. Bu da zeminin kayma mukavemetini kaybetmesine ve hatta şevin göçmesine neden olur (Ng ve Shi 1998).

Yağış infiltrasyonunun şev stabilitesine olan etkisiyle ilgili çok sayıda teorik, nümerik ve deneysel çalışma mevcuttur.

Ng ve Shi (1998), yağış olaylarının doygun olmayan şevlerin stabilitesine olan etkisini araştırmak için; GEOSTUDIO programını kullanarak, parametrik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma kapsamında zemin geçirgenliğinin (izotropi-anizotropi, düşük-yüksek permeabilite), zeminin başlangıç koşullarının (yeraltı su seviyesi değişimi), yağış yoğunluğu ve süresinin stabiliteye olan etkilerini araştırmışlardır.

İnfiltrasyon süresince zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı ve matrik emme değişimlerini dikkate alarak şev stabilite analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizlerde, zeminin yağış öncesi yeraltı su seviyesinin ve özellikle düşük yoğunluklu uzun süreli yağışlardan sonra meydana gelen kısa süreli ve görece çok daha yoğun yağışların, şev stabilitesini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca geçirimliliğin stabiliteye olan etkisinin anizotropiye bağlı olarak arttığını belirtmişlerdir.

Gasmo ve arkadaşları (2000) mevcut bir şevin yağış etkisinde stabilitesindeki değişimi GEOSTUDIO ile araştırmışlar ayrıca sahada boşluk suyu basıncındaki değişimi ölçerek model değerleri ile kıyaslamışlardır. Farklı yağış yoğunluklarına maruz şevin tepe, topuk ve eğimli yüzeyine sızan su miktarlarını kıyaslamışlardır. Yapılan çalışma; sızma miktarının en fazla olduğu yerin şevin tepe bölgesi olduğunu, ayrıca sahada sızan yağış miktarını ölçmenin oldukça zor olduğunu göstermiştir. Şevi modellemek için sahadan elde ettikleri yağış öncesi boşluk suyu basıncı verilerini başlangıç durumu olarak modele uygulamışlardır. Daha sonra gerçek yağış verilerini kullanarak, yağış sonrası şevde meydana gelen boşluk suyu basıncındaki değişimi elde etmişler ve buna bağlı olarak stabilite analizleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarla sahada gerçekleştirdikleri boşluk suyu basıncı ölçüm değerlerinin oldukça yakın olduğunu ve modelin yağışın şev stabilitesine etkisini gerçek duruma yakın olarak yansıttığını öne sürmüşlerdir.

Cho ve Lee (2002) infiltrasyon etkisindeki şevlerin stabilitesini araştırmak için farklı bir prosedür önermişlerdir. İnfiltrasyon etkisindeki şevlerin stabilite analizlerinde genellikle kullanılan limit-denge analizlerinin yağış sırasında sadece zeminde meydana gelen boşluk suyu basınçları veya matrik emmedeki değişimi dikkate aldığını, fakat yağışın zeminde meydana getirdiği deformasyon ve gerilmeyi ihmal ettiğini savunmuşlardır. Ayrıca limit-denge yöntemlerinde sadece araştırılan kayma yüzeyine bağlı olarak global güvenliğin elde edildiğini ama şev boyunca meydana gelen gerilme ve deformasyonların incelenmediğini ifade etmişlerdir. Bu sebeple çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak akış-deformasyon ilişkisini araştırmışlar ve daha sonra her sonlu eleman düğüm noktasında elde ettikleri gerilme ve deformasyonları düzlem boyunca sürekli hale getirmişlerdir. Zeminin yağış süresince matrik emmenin azalması sonucu kayma mukavemetindeki değişimi dikkate alarak şev stabilitesini araştırmışlar ve optimizasyon tekniğiyle muhtemel kayma yüzeyini elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada infiltrasyonun şev stabilitesine olan tipik etkisiyle uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Kim ve arkadaşları (2006) Kore'de yaygın bulunan iki farklı ayrışmış zemin türü için yağış sonucunda meydana gelen ıslak cephe derinliğini ve bunun şev stabilitesine olan etkisini teorik ve nümerik olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında ıslak cephe derinliğini Green-Ampt (1911) yöntemi ve de GEOSTUDIO programının SEEP modülünü kullanarak elde etmiş ve bu sonuçları kıyaslamışlardır. Karşılaştırmalarında teorik ve nümerik analizin sadece belli bir ıslak cephe emme gerilmesi değeri için uyumlu sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca ıslak cephe derinliğinin şev stabilitesine olan etkisini GEOSTUDIO programının SLOPE modülünü kullanarak incelemişler ve şev stabilitesinde ıslak cephe derinliğinin oldukça önemli bir rolü olduğunu ifade etmişlerdir.

Gavin ve Xue (2008), çalışmalarında Green-Ampt infiltrasyon modelini modifiye ederek zeminin temel parametrelerine dayanan yeni bir infiltrasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde ıslak cephe derinliği içerisindeki zeminin Green-Ampt (1911) modelinin aksine kısmen doygun olmayan koşullara sahip olduğu ve bu bölgedeki geçirimliliğin zeminin doygun haldeki geçirimliliğinin yarısı olduğu kabulünü yapmışladır. Önerdikleri modeli literatürde yapılmış örnek çalışmaları kullanarak ve Green-Ampt (1911) modeliyle karşılaştırmışlar ve daha gerçekçi sonuçlar elde etmişlerdir.

Cho (2009), iki tabakalı zeminlerde infiltrasyonun şev stabilitesine olan etkisini araştırmıştır. Bu amaçla Moore'un önerdiği infiltrasyon modelini, geçirgenliğin yağış nedeniyle azalmasıyla askıda yeraltı su seviyesinin yukarı doğru yükselmesini dikkate alarak geliştirmiştir. Farklı yağış yoğunluğu ve sürelerinde şevde yüzeysel göçmenin meydana gelme ihtimalini önerdiği modeli kullanarak araştırmıştır.

Oh ve Vanapalli (2010), çalışmalarında homojen ve sıkıştırılmış dolguların şev stabilitesini, infiltrasyonu göz önüne alarak GEOSTUDIO programını kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarında sıkıştırılmış zeminin, doygun olmayan koşullarda yağış ve göllenme etkisinde şev stabilitelerini araştırmışlardır. Ayrıca, sıkıştırılmış zeminin doygun koşullarda uzun dönem (efektif kayma mukavemeti parametrelerini kullanarak) ve kısa dönem (toplam kayma mukavemet parametrelerini kullanarak) şev stabilite analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak sıkıştırılmış zeminlerde stabilite açısından kritik durumun farklı koşullar dikkate alınarak araştırılmasının önemini vurgulamışlardır.

Oh ve Lu (2015), yağış sonrasında göçen iki farklı şevi GEOSTUDIO programı ile analiz etmişlerdir. Modelde gerçek şev geometrisi ve malzeme özellikleri ile şevlerin göçmesine neden olan yağış verilerini kullanmışlardır. Yağış infiltrasyonunu SEEP modülünü kullanarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmişler ve analizlerin sonucunda elde ettikleri boşluk suyu basınçlarını kullanarak limit denge yöntemiyle SLOPE modulünde şev stabilitesi analizlerini yapmışlardır. Yapılan analizlerde göçmeye sebep olan gerçek yağışların sonunda güvenlik sayısı 1'e düşmüş ve gerçek durumu yansıtmıştır.

Gökoğlu (2015), tez çalışmasında doygun olmayan zeminlerde yeraltı su seviyesinin şev stabilitesine etkisini araştırmıştır. Çalışmasında GEOSTUDIO programını kullanarak farklı yeraltı su seviyesi derinlikleri adapte edilmiş bir şevde limit-denge yöntemiyle stabilite analizleri yapmıştır. Analizlerin sonucunda şevlerin tamamen doygun koşullara ulaşmadan da göçebildiğini bu sebeple şev stabilitesi analizlerinde doygun olmayan koşulların da dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve METOT

Tez çalışması kapsamında yağış infiltrasyonu etkisinde şev stabilitesi incelenecek doygun olmayan ofiyolitli kil zemin Siirt İli Baykan İlçesi Veysel Karani Beldesi'nde yapımı süren Veysel Karani Gölet aksı civarındadır.

Şev stabilitesi analizlerinde kullanılacak ofiyolitli kil zeminin özellikleri, inceleme alanından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Çalışma için gerekli zemin parametrelerinin en önemlileri; zeminin geçirimliliği, kayma direnci ve zemin su karakteristik eğrisidir.

Çalışma kapsamında öncelikle; doygun olmayan zeminin yağış infiltrasyonu etkisinde stabilite analizleri parametrik olarak incelenmiştir. Analizlerde yağış yoğunluğunun, yağış süresinin ayrıca zeminin geçirimliliğinin infiltrasyona ve buna bağlı olarak şev stabilitesine olan etkileri incelenmiştir. Analizlerde değişiminin etkisi incelenen parametre dışındaki diğer tüm parametreler, ofiyolitli kil zemin numunelerinden elde edilen zemin özelliklerine bağlı kalınarak kullanılmış ve yağış yoğunlukları da çalışma alanının gerçek yağış verileri kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmada yağışın meydana getirdiği önemli etkilerden biri olan yeraltı su seviyesindeki değişimin şev stabilitesine etkisi de; doygun olmayan, efektif ve toplam kayma direnci parametreleri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Bu üç farklı yaklaşım sonucunda elde edilen güvenlik sayıları da karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde örnek bir şev modeli olarak iki adet şevin yağış infiltrasyonu etkisinde stabilite analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada gerçek yağış verileri ve bölgeden alınan ofiyolitli kil zemin numunelerine ait doygun olmayan geçirimlilik ve kayma direnci parametreleri kullanılmıştır. Aynı model ile yağış etkisi dikkate alınmadan toplam ve efektif kayma direnci parametreleri kullanılarak şev stabilite analizleri de yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır.

Şev stabilitesine yağış etkisinin incelenmesi için inceleme alanının son dört yıla ait saatlik yağış verileri Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmış ve düzenlenerek analizlerde kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında şev stabilite analizleri GEOSTUDIO programı kullanılarak yapılmıştır. Yağış etkisindeki şev stabiliteleri için infiltrasyon analizi GEOSTUDIO

programının SEEP modülünden yararlanılarak yapılmıştır. Şev stabilite analizlerinde ise programın SLOPE modülü kullanılarak, limit-denge yöntemiyle güvenlik sayıları belirlenmiştir.

3.1. Saha Çalışması

Çalışma alanı Siirt İli Baykan İlçesi Veysel Karani Beldesi'nde yapılması planlanan Veysel Karani Gölet aksı civarındadır. Çalışma alanının bu bölge seçilmesinin nedeni; özellikle yağışlar sonrasında bölgedeki şevlerde meydana gelen stabilite problemleridir. Bölgedeki şevlerin duraylılığının sağlanmasında yapılan tez çalışmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Saha çalışması kapsamında bölgenin jeolojisinin incelenmesi ve gerekli deneyler için numuneler alınabilmesi amacıyla, çalışma alanında 6 farklı lokasyonda araştırma çukurları açılmıştır. Şekil 3.1.'de araştırma çukurlarının lokasyonları görülebilmektedir.



Şekil 3.1. Araştırma çukuru lokasyonları

Arazi çalışmaları sırasında açılan her araştırma çukurunun 2. ve 4. metrelerinde çelik tüpler kullanılarak, ekskavatör yardımıyla örselenmemiş numuneler alınmıştır. Çelik tüpler 16.5 cm çapa 25 cm yüksekliğe ve 0.5 cm et kalınlığına sahiptir. Numune alım işleminden önce çelik tüplerin iç yüzeyleri yağlanarak sürtünme direncine bağlı olarak oluşacak örselenmeler azaltılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.2. Örselenmemiş numune alınması

Numune alınacak çelik tüpler düzlenen zemine yerleştirildikten sonra üzerine çelik bir başlık bırakılmıştır (Şekil 3.2.). Ekskavatör kepçesinin dişiyle başlık üzerine kuvvet uygulanarak çelik tüpün dik bir şekilde zemine gömülmesi sağlanmıştır. Zemin, ekskavatör kepçesi yardımıyla; tüpün gömülü olduğu derinliğin altından kazılarak; zemine gömülü çelik tüp, içerisindeki numune zarar görmeden çıkarılmıştır.

3.2. İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı Bitlis-Zagros kenetlenme kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu kenetlenme kuşağı Avrasya ve Arabistan levhalarının birbirlerine yakınlaşmaları ile Tetis denizinin kapanması sonucunda oluşmuştur. Avrasya ve Arabistan levhalarının çarpışmaları sonucunda Arabistan levhasından kopan makro ve mikro boyuttaki ofiyolitik birimler bindirme kuşağında meydana gelen karmaşık yapının içerisinde farklı büyüklük ve miktarlarda konumlanmıştır.

Ofiyolitli kil içerisinde kil, kum ve çakıl boyutlarında serpantin içermektedir ve oluşumundan kaynaklı fisürlü bir yapıya sahiptir. Ayrıca bu zemin suya karşı büyük bir hassasiyete sahiptir. Özellikle kilin içerisinde mevcut olan serpantin suyla temas ettiğinde dayanımını kaybetmektedir.

Bu bölümde inceleme alanının yapısal jeolojisi detaylı olarak anlatılacak ve içerdiği karmaşıklar ve formasyonlar ile bunlara bağlı alt üyelerden bahsedilecektir.

3.2.1. Yapısal Jeoloji

Yerküre birçok tektonik hareketlere maruz kalmaktadır ve en fazla tektonik hareketlere uğrayan kıtasal alanlardan biri de Türkiye'dir. Hareketsiz duran Avrasya

Plakası Afrika – Arap Plakası'nın kuzeye doğru Anadolu Plakası'na hareketiyle sıkışma tektoniğine maruz kalarak sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) fayları ile batıya hareket etmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Barka ve Reilinger 1997; Çetin ve ark. 2003; Dewey 1976; Hempton 1982; Ketin 1948; McKenzie 1972; Şengör 1979; Şengör ve Canıtez 1982; Şengör ve ark. 1985).

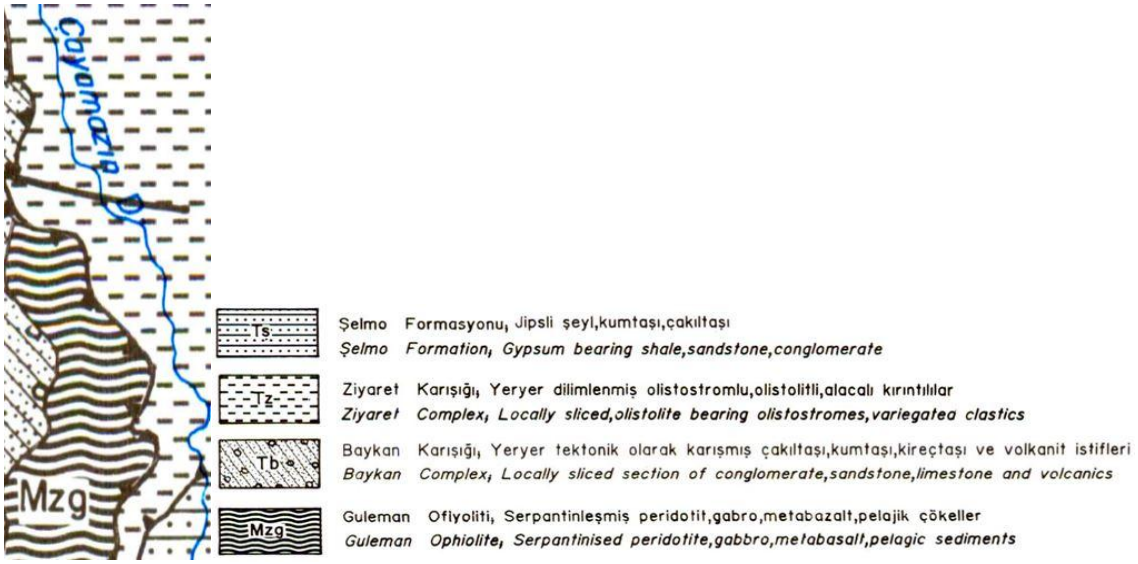
Okyanus ortası sırtlarda uzaklaşan levha sınırları ile Afrika Plakası, kuzeye doğru hareket etmeye başlamıştır. Arap Plakası kuzeye doğru Kızıldeniz'in açılması ile daha fazla hızlanarak hareket etmiştir. Avrasya ve Afrika-Arabistan levhalarının birbirlerine kuzey-güney doğrultularında yakınlaşmalarıyla, Alt-Orta Mestrihtiyen zamanında Tetis Denizi kapanmış devamında ise Tortoniyen zamanlarında Avrasya ve Arabistan levhaları, Güneydoğu Anadolu Bindirmesi ya da Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı (BZKK) sınırları dahilinde çarpışmıştır (Şengör 1980).

Bu çarpışma sonucu kenet boyunca dağ kuşakları yükselmiş ve sığ denizel ortam molas havzalarına dönüşmüştür. Bitlis kenet zonu kıta-kıta ve kıta-okyanusal litosfer yakınsamasının karmaşık bir yapısıdır. Arap platformunun kıvrımlı bindirmeli kuşağının kuzeyinde yer alır. Türkiye'nin güneydoğusundan İran'daki Zagros dağlarına kadar uzanım sunar.

3.2.2.Genel Jeoloji

Genel olarak, Siirt ve çevresi, Prekambriyenden günümüze kadar her yaştan kayaçlardan oluşmaktadır. Çalışma alanında Şelmo Formasyonu, Ziyaret Karmaşığı, Guleman Ofiyolitleri ve Baykan karmaşığı gözlenmektedir.

Çalışma alanı, Maden Tetkik Arama (MTA)'ya ait MUŞ-İ33 Paftası Jeoloji Haritası (EK1) üzerinde işaretlenerek, yüzeylenen birimler Şekil 3.3.'te verilmiş ve bu birimler gençten yaşlıya doğru sırasıyla açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Çalışma alanındaki mevcut birimler

3.2.2.1. Şelmo Formasyonu (Tş)

Çalışma alanının güneyinde yer alan Şelmo Formasyonu kırmızı ve boz renkli, orta-kalın tabakalı, iri taneli çakıltaşı; sarımsı gri ve gri çakıllı kumtaşı ile sarı renkli çakıllı şeylden oluşur. Birimin kırıntıları çoğu Guleman Ofiyolitleri'nden ve Bitlis Metamorfikleri'nden türemiştir. Alt bölümde ise Midyat Kireçtaşları'nın kötü boylanmalı, kısmen az yuvarlaklaşmış çakılları hakimdir. Kumtaşları; gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı ve derecelenmeli, az yuvarlaklaşmış ve kötü tabakalanmaktadır. Şeyller alacalı gri-sarımsı renkli olup, köşeli kireçtaşı çakılları ve seyrek jips ara bantları içerir (MTA 1992).

3.2.2.2. Ziyaret Karışığı (Tz)

Bitlis Metamorfik Kuşağı ile Otokton Kuşak arasında yer alan ikinci büyük tektonostratigrafik birim Ziyaret Karışığı olarak adlandırılmıştır. Birim çok sayıda tektonik dilimden oluşan bir sedimanter karışık özelliğindedir. Ziyaret Karışığı, Baykan Karışığı'nın çökeldiği havza ile Arap Otoktonu birimlerinin çökeldiği platform arasındaki bir havzada gelişmiş ve Miyosen sonrasında kuzeyindeki Baykan Karışığı tarafından tektonik olarak üzerlenmiştir (MTA 1992).

Birimin egemen kaya türü kumtaşı arakatkılı şeyldir. Kumlu-killi kireçtaşları ile çeşitli kökenli olistolitler ve olistostromlar diğer kaya türlerini oluşturur. Birimde, çökelme ile yaşıt çekim kaymaları ve çökelme sonrası deformasyonlar nedeni ile

düzenli istifler izlenmez. Gerek olistostromların çakılları gerek olistolitlerin çoğu Bitlis Metamorfitleri ve Baykan Karışığından türemiştir (MTA, 1992).

Ziyaret Karışığı, Otokton Kuşağın Şelmo ve Lice Formasyonları üzerine yataya yakın bir bindirme düzlemi ile yerleşmiştir (MTA 1992).

3.2.2.3. Guleman Ofiyoliti (Mzg)

Bitlis Metamorfik Biriminde Mutki Grubu üzerinde tektonik dokanakla yer alan, ileri derecede serpantinleşmiş ultramafik kayalar ile bunlarla ilişkili bazik volkanik ve pelajik kayalar Guleman Ofiyoliti adı ile tanımlanmıştır. Birim, harita alanında tektonik dilimlerin arasında birkaç metreden yüzlerce metreye kadar kalınlık gösterir. Birincil yeri Tütü Formasyonu'nun üstü olmasına karşın, Üst Tersiyer sürüklenimleri ile birim genelde orijinal konumunu kaybetmiştir. Birim, çoğun birbiri ile tektonik ilişkili peridotit, gabro, piroksenit ve hornblenditten oluşan magmatiklerin hakim olduğu bir üst dilim ile bazalt, diyabaz, radyolarit, radyolaryalı çamurtaşı ve mikrit içeren bir alt dilimden oluşur (MTA 1992).

3.2.2.4. Baykan Karışığı (Tb)

Harita alanının orta kesiminde yaygın yüzeylemeler sunan birim yer yer düzenli istifli, yer yer çökelme ile eş yaşlı karmaşık niteliklidir. Çökelme sonrası itki fayları çoğu birimin içindeki kaya türlerinin ilksel ilişkilerini kaybetmesine yol açmıştır. Kaya türü olarak birimin içinde olistostromal kumtaşı ve çakıltaşı, kırmızı-kiremit renkli çamurtaşı, alacalı şeyl, yastıklı lavlar ve volkanoklastitler, düzensiz stratigrafik konumlu pembe-gri kireçtaşı ve flişoyidal kayalar gözlenir (MTA 1992).

Çok değişken boyutta ofiyolit, Bitlis Metamorfitlerine ait kayalar ve birimin kendine ait kayalar karışığın içinde olistolitler olarak izlenir (MTA 1992).

3.3. İncelenen Zeminin Özellikleri

Doygun olmayan ofiyolitli kilin yağış infiltrasyonu etkisinde şev stabilite analizleri ve klasik yöntemlerle şev stabilite analizleri için zemine ait doygun ve doygun olmayan parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle incelenen ofiyolitli kilin indeks ve fiziksel özellikleri ile kayma direnci parametreleri rutin laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir.

Zemine ait doygun olmayan parametreler ise filtre kağıdı deneyi yapılarak zemin-su karakteristik eğrisinin belirlenmesi ile elde edilmiştir.

3.3.1. Zeminin İndeks/Fiziksel Özellikleri

Çalışma alanından alınan numuneler üzerinde sınıflandırma için yıkamalı elek analizleri, hidrometre deneyleri, likit limit ve plastik limit deneyleri ile özgül ağırlık deneyleri TS1900-1'e uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları EK2'de belirtilmiştir.

İncelenen zemine ait geçirimliliğin belirlenmesi için çalışma alanında daha önce Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Veysel Karani Göleti Projesi kapsamında yapılan, basınçlı su testi arazi deneyinin sonuçları kullanılmıştır (EK3). Çalışma alanında yapılan basınçlı su testi sonuçlarına göre alandaki birimlerin geçirimliliği <1 lugeon, 1-5 lugeon arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki zeminin permeabilitesi Çizelge 3.1.'e göre belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Lugeon aralığına bağlı olarak geçirimlilik sınıflandırılması (Collaborative Management of Integrated Watersheds)

Lugeon Aralığı	Geçirimlilik Sınıflandırması	Permeabilite (cm/sn)
<1	Geçirimsiz	$<1x10^{-5}$
1-5	Az Geçirimli	$1x10^{-5}$-$6x10^{-5}$
5-15	Hafif Geçirimli	$6x10^{-5}$-$2x10^{-4}$
15-50	Orta Geçirimli	$2x10^{-4}$-$6x10^{-4}$
50-100	Çok Geçirimli	$6x10^{-4}$-$1x10^{-3}$
>100	Geçirimli	$>1x10^{-3}$

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ofiyolitli kilin indeks ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2.'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Zemine ait indeks/fiziksel özellikler

Zemin İndeks/Fiziksel Özellikleri	**Değişim Aralığı**
Doğal Su İçeriği (%)	21,37-25,83
Likit Limit (%)	22,62-62,15
Plastik Limit (%)	15.74-26.51
Plastisite İndisi (%)	6.88-35.64
#4 Elekte Kalan (%)	0,16-48.74
#200 Elekten Geçen (%)	31.25-90.05
Özgül Ağırlığı	2.721-2.748
Dane Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)	24.98-25.23
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)	18.35-20.11
Grup Sembolü	CL, CL-ML, CH, GC
Permeabilite Katsayısı (m/sn)	$1x10^{-7}$-$6x10^{-7}$

Çalışma alanının oluşumundan kaynaklanan karmaşık yapısı yapılan sınıflandırma deneyleriyle açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Farklı zemin sınıflarının tabakalanma şeklinde değil birbiri içerisine karışmış şekilde olduğu, aynı numune tüpünün içerisinde dahi farklı zemin sınıflarının bir arada olduğu görülmüştür.

Zeminin geçirimliliği, fisürlü yapılara karşı hassasiyeti olmayan klasik yöntemlerden biriyle ölçüldüğü için; fisürlü yapının meydana getirdiği etkinin gözden kaçırıldığı düşünülmektedir. Bu sebeple çalışmada hem ölçülen geçirimlilik değerleri ($5x10^{-7}$ m/sn) kullanılmış, hem de zemin geçirimliliği bir miktar arttırılarak (10^{-6} m/sn) analizler yapılmıştır.

3.3.2. Zemine Ait Kayma Direnci Parametreleri

Şev stabilite analizleri için gerekli olan toplam kayma mukavemeti parametreleri konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyi (UU) ile efektif kayma mukavemeti parametreleri ise konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi (CU) ile belirlenmiştir. Deney sonuçları EK4'te mevcuttur. Yapılan üç eksenli basınç deneylerine göre (UU-CU) ofiyolitli kilin kayma direnci parametreleri Çizelge 3.3.'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Zemine ait kayma direnci parametreleri

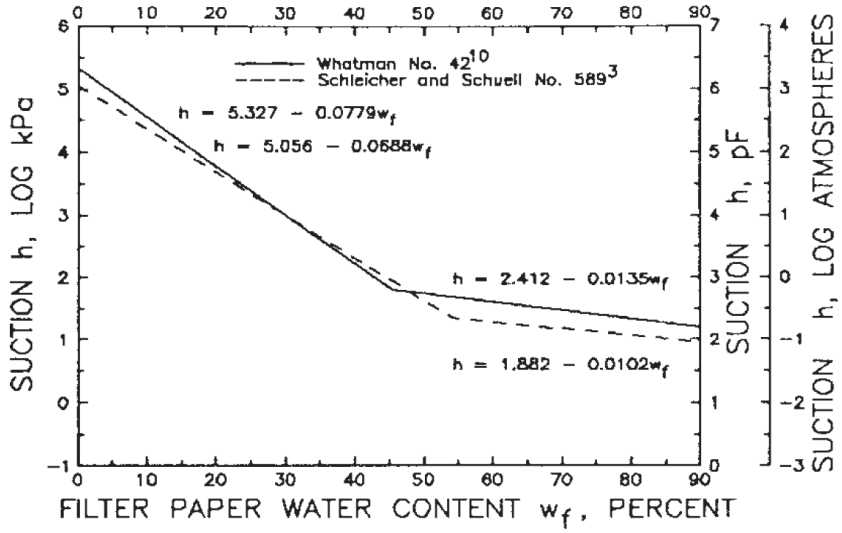
Toplam kohezyon,c (kPa)	Toplam içsel sürtünme açısı, ϕ (°)	Efektif kohezyon, c' (kPa)	Efektif içsel sürtünme açısı, ϕ' (°)
66,87	12,4	15	14

3.3.3. Filtre Kağıdı Yöntemi ile Zemin-Su Karakteristik Eğrisinin Belirlenmesi

Zemin matrik emmesi doygun olmayan zeminlerin nem içeriğini tanımlayan en önemli parametredir. Bu yüzden matrik emmenin ölçümü doygun olmayan zeminlerin mühendislik parametrelerinin belirlenmesinde oldukça büyük rol oynar (Bulut ve ark. 2001).

Filtre kağıdı yöntemi bir zemin emme gerilmesi ölçüm tekniğidir. Bu yöntem diğer matrik emme ölçüm yöntemleriyle kıyaslandığında uygulaması kolay ve daha ekonomiktir. Filtre kağıdı yönteminde zemin ile filtre kağıdı arasında nem transferi gerçekleşir ve dengeye ulaşıldığı anda filtre kağıdının su içeriğine bağlı olarak zeminin matrik emmesi dolaylı olarak ölçülür.

Filtre kağıdı yönteminin uygulanışı ASTM 5298 standardında detaylı olarak tarif edilmiştir. Yöntem kalibrasyon ve matrik emmenin ölçümü olarak iki aşamadan oluşur. ASTM 5298 standardında; Whatman No:42 ve Schleicher&Shuell No:589 filtre kağıdı türleri için kalibrasyon eğrileri önerilmiştir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Filtre kağıdı kalibrasyon eğrisi (ASTM 5298)

Filtre kağıdı yönteminde nem transferinin tamamen gerçekleşmesi, yani filtre kağıdı ile zemin arasında nem dengelenmesinin meydana gelmesi için; araştırmacılar farklı süreler önermişlerdir (Çizelge 3.5.). ASTM 5298'de ise dengelenme için en az yedi gün beklenmesi önerilmiştir.

Çizelge 3.5. Filtre kağıdı yöntemi dengelenme süreleri (Leong 2002)

Kaynak	**Süre**	**Yöntem**
Fawcett and Collis-George (1967)	6-7 gün	temaslı
McQuenn and Miller (1968)	7 gün	temaslı
Al-Khafaf and Hanks (1974)	2 gün	temaslı ve kısmen temaslı
Hamblin (1981)	Dakika-36 gün	temaslı
Chandler ve Gutierez (1986)	5 gün	temaslı
Duran (1986)	7 gün	temassız
Greacen ve ark. (1987)	7 gün	Temaslı
Sibley ve Williams (1990)	3 gün	temaslı
	10 gün	temassız
Lee ve Wray (1992)	14 gün	temaslı ve temassız
Houston ve ark. (1994)	7 gün	temaslı ve temassız
Harrison ve Blight (1998)	7-10 gün	ıslanma ve temassız
	21 gün	kuruma ve temassız
	10 gün	ıslanma ve temaslı
	25-30 gün	kuruma ve temaslı

Bu bölümde filtre kağıdı yöntemi için gerekli ekipman anlatılmış ve kalibrasyon ile matrik emme ölçümü tarif edilerek elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

3.3.3.1. Gerekli Ekipman

Filtre kağıdı kalibrasyonu ve matrik emme ölçümü için gerekli malzemeler:

Filtre kağıdı: ASTM 5298 standardında Whatman No:42 veya Schleicher&Shuell No:589 olmak üzere iki tip filtre kağıdının kullanılması önerilmektedir. Yapılan çalışmalar Whatman No:42 filtre kağıdının geniş bir emme gerilmesi aralığında sağlıklı sonuçlar verdiğini ve ayrıca tekrarlı deneylerde oldukça uyumlu sonuçlar elde edilebildiğini göstermiştir. Bu sebeple çalışmada 55 mm çapında Whatman No:42 filtre kağıdı kullanılmıştır.

Tuzlu su çözeltisi: Kalibrasyon prosedürü için molaliteleri 0 – 2.7 molalite aralığında tuzlu su çözeltileri kullanılmalıdır. Tuzlu su çözeltileri damıtık su ile hazırlanmalıdır.

Kapaklı kap: Kalibrasyon ve matrik emme ölçümü sırasında 120 – 240 ml hacim aralıklarında olabilen kapaklı cam veya metal kap kullanılmalıdır.

Kapaklı metal kap: Kalibrasyon ve matrik emme deneyleri sonunda filtre kağıdının su içeriğinin bulunabilmesi için kullanılacak olan 70 ml hacme sahip kapaklı, çelik veya alüminyum kap kullanılmalıdır.

Hassas terazi: Filtre kağıdındaki nem değişiminin oldukça hassas bir şekilde ölçülmesi gereklidir. Bu nedenle 0.0001 gr hassasiyette terazi kullanılmalıdır.

Etüv: Filtre kağıdının su içeriğinin belirlenebilmesi için su muhtevası deneyi yapılmaktadır. Etüv termostatlı olmalı ve 110±5 °C üniform sıcaklık sağlayabilmelidir.

Sabit sıcaklıklı oda: Deney, sıcaklığın sabit tutulabildiği bir ortamda yapılmalıdır. Deney süresince, deneyin yapıldığı ortamın sıcaklığının ±1 °C ‘den fazla değişmemesi gereklidir.

Metal blok: Etüvden çıkarılan metal kapların soğutulabilmesi için kullanılır. Ağırlığı 500 gr’dan fazla olmalıdır.

Desikatör: Filtre kağıtları kullanılmadan önce içerisinde silika jeli olan desikatörde bekletilmelidir.

Termometre: Sıcaklığı ±1 °C hassasiyetle ölçebilen bir termometre kullanılmalıdır.

Diğer malzemeler: Deney sırasında latex eldiven, izole bant, makas, penset malzemeleri gerekmektedir.

3.3.3.2. Filtre Kağıdı Kalibrasyonu

Tuzlu su çözeltileri kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemi; toplam emme gerilmesi (veya ozmotik emme gerilmesi) ile farklı molalitedeki tuzlu su çözeltilerinin neden olduğu bağıl nem arasındaki termodinamik ilişkiye dayanır.

Filtre kağıdı kalibrasyon prosedürü için 0 -2.7 molalite aralığında tuzlu su çözeltileri hazırlanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan farklı NaCl konsantrasyonuna sahip

çözeltilerin molaliteleri ve her molalite için NaCl miktarları ve ozmotik emme değerleri Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. NaCl konsantrasyonları için ozmotik emme değerleri

NaCl konsantrasyonu (molalite)	**1000 ml saf sudaki NaCl miktarı (gr)**	**Ozmotik Emme (kPa)**
0.000	0	0
0.003	0.1753	15
0.007	0.4091	34
0.010	0.5844	48
0.050	2.9221	234
0.100	5.8443	462
0.300	17.5328	1368
0.500	29.2214	2281
0.700	40.9099	3210
0.900	52.5985	4158
1.100	64.2871	5127
1.300	75.9756	6119
1.500	87.6642	7134
1.700	99.3528	8170
1.900	111.0413	9240
2.100	122.7299	10335
2.300	134.4184	11459
2.500	146.1070	12613
2.700	157.7956	13797

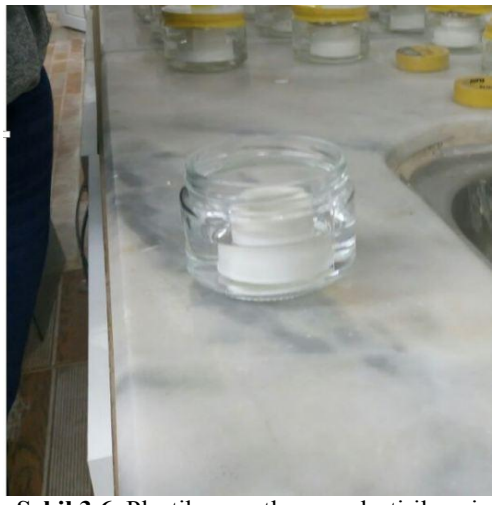
Hazırlanan NaCl çözeltileri 250 ml hacme sahip cam kavanozların içerisine 150 ml miktarında konulmuştur (Şekil 3.5). Her cam kavanoz içerdiği NaCl molalitesi bilgisi ile etiketlenmiştir.



Şekil 3.5. Kavanozlara NaCl çözeltilerinin doldurulması

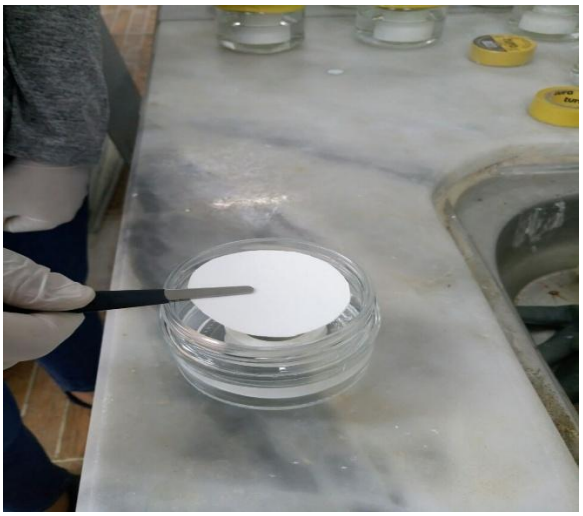
Çözelti ile doldurulan kavanozların içerisine, filtre kağıdını kavanozun içerisinde tuzlu su çözeltisine temas etmeden tutabilecek plastik aparatlar yerleştirilmiştir

(Şekil 3.6.). Bu aparatların boşluklu olması önemlidir. Boşluklar sayesinde filtre kağıdının tüm yüzeyi çözeltinin sağladığı neme maruz kalır.



Şekil 3.6. Plastik aparatların yerleştirilmesi

Kavanozların içerisine yerleştirilen aparatların üzerine iki adet filtre kağıdı bırakılır (Şekil 3.7.). Filtre kağıdının iki adet olması, bir tanesinin zarar görmesi veya suyla direk temas etmesi durumunda deneyin diğer filtre kağıdı kullanılarak sürdürülebilmesini sağlar.



Şekil 3.7. Plastik aparatların üzerine filtre kağıtlarının bırakılması

Filtre kağıtları yerleştirildikten sonra kavanozun kapağı, içesindeki filtre kağıtlarının düşmemesi sağlanarak sıkıca kapatılır ve izole bant ile kapak-kavanoz arasındaki boşluk sarılır (Şekil 3.8.). Bu sayede içeride oluşan nem dengesinin bozulmaması sağlanır.



Şekil 3.8. İzole bant ile kapağı sarılmış kavanozlar

Hazırlanan kavanozlar filtre kağıdı ile tuzlu su çözeltisi arasında nem dengesinin oluşması için yedi gün sabit sıcaklıklı odada bekletilmiştir.

Nem dengesi sağlandıktan sonra tüm kavanozların içerisindeki filtre kağıtlarının su muhtevaları ölçülmüştür. Bu işlem; filtre kağıdının havayla teması sonucu nem miktarında değişim meydana gelmemesi için iki kişiyle ve oldukça hızlı bir şekilde yapılmalıdır.

Filtre kağıdı su muhtevası sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilerek bulunmuştur.

1) Su muhtevası için kullanılacak metal kap boş ve kapağı kapalı bir şekilde tartılıp, ağırlığı Çizelge 3.6. üzerine not edilmiştir (Tc).
2) Tuzlu su çözeltisiyle dolu kavanozun kapağı dikkatli bir şekilde açılıp içerisindeki ıslak filtre kağıtları ayrı ayrı, ağırlıkları ölçülmüş su muhtevası kaplarına alınıp; metal kapların kapakları hemen kapatılarak tartılmış ve Çizelge 3.6. üzerine not edilmiştir (M1).
3) İçerisinde ıslak filtre kağıtları bulunan metal kaplar kapakları hafif açık bir şekilde üzerlerine bırakılarak etüve yerleştirilmiş ve 24 saat boyunca 110±5 °C sıcaklıkta kurumaya bırakılmıştır.
4) 24 saat geçtikten sonra etüvün içerisindeki metal kapların kapakları kapatılmış ve 5 dakika daha etüv içerisinde bekletilmişlerdir.
5) Etüvden çıkarılan kaplar metal blok üzerinde 20 saniye bekletilerek soğuması sağlanmış ve soğuyan kaplar hızlı bir şekilde tartılarak Çizelge 3.6.'da ağırlıkları yazılmıştır (M2).

6) Metal kapların içerisindeki filtre kağıtları çıkartılıp, kaplar tekrar tartılmış ve ağırlıkları Çizelge 3.6.'da yazılmıştır (Th).
7) Bu işlem farklı molaliteli tuzlu su çözeltisi bulunan tüm kavanozların içerisindeki filtre kağıtları için tekrarlanmıştır.

Filtre kağıdı deneyinden elde edilen veriler Denklem 3.1.'de kullanılarak filtre kağıtlarına ait su muhtevaları hesaplanmıştır.

$$w = \frac{M_w}{M_f} = \frac{M_1 - M_2 - Tc + Th}{M_2 - Th} \tag{3.1}$$

Kalibrasyon prosedürüne ait su muhtevası verileri ile ozmotik emme gerilmeleri Çizelge 3.7.'de verilmektedir.

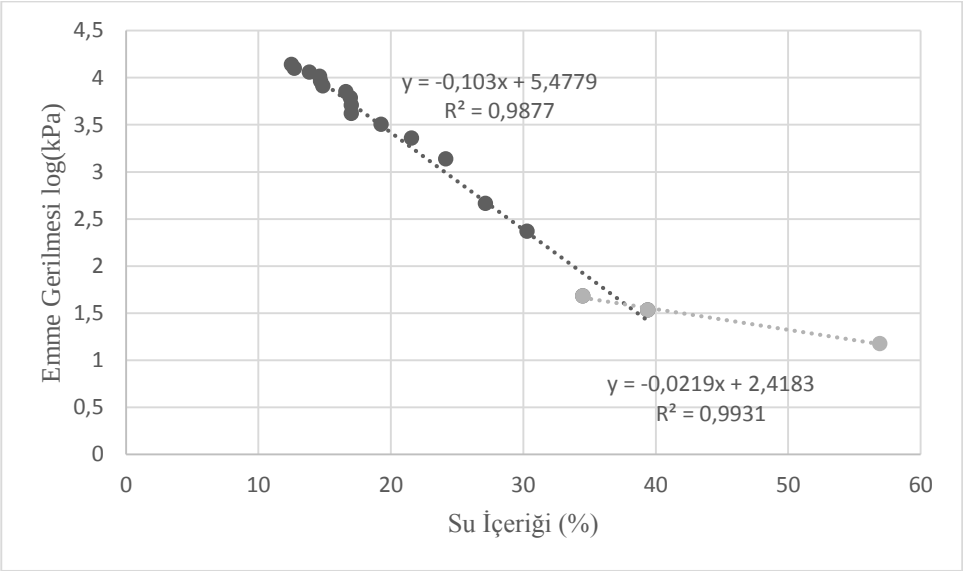
Çizelge 3.7. Filtre kağıtlarının su muhtevalarını hesaplama çizelgesi

NaCl konsantrasyonu (molalite)	Filtre Kağıdı Konum	Soğuk Numune Kabı Ağırlığı (gr)	Soğuk Numune Kabı+ Islak Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Sıcak numune Kabı+ Kuru Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Sıcak Numune Kabı Ağırlığı (gr)	Kuru Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Su Ağırlığı (gr)	Su içeriği (%)	Ortalama Su İçeriği (%)	Emme Gerilmesi (kPa)
		Tc	**M1**	**M2**	**Th**	**Mf= M_2-Th**	**Mw= M1-M2-Tc+Th**	**Mw/Mf**		
0.000	ALT	9.5377	9.9652	9.7846	9.533	0.2516	0.1759	0.6991	0.7542	0
	ÜST	9.3473	9.8083	9.5977	9.3429	0.2548	0.2062	0.8093		
0.003	ALT	9.4987	9.8862	9.738	9.4943	0.2437	0.1438	0.5901	0.5691	15
	ÜST	6.5852	6.9733	6.8333	6.5826	0.2507	0.1374	0.5481		
0.007	ALT	9.3018	9.6479	9.5381	9.2925	0.2456	0.1005	0.4092	0.3938	34
	ÜST	9.4187	9.7531	9.6586	9.416	0.2426	0.0918	0.3784		
0.010	ALT	6.6325	6.9725	6.8807	6.6308	0.2499	0.0901	0.3605	0.3447	48
	ÜST	6.5262	6.8608	6.7761	6.5243	0.2518	0.0828	0.3288		
0.050	ALT	6.5512	6.8753	6.7958	6.5479	0.2479	0.0762	0.3074	0.3027	234
	ÜST	9.4559	9.776	9.6958	9.4492	0.2466	0.0735	0.2981		
0.100	ALT	9.3256	9.6307	9.5672	9.3179	0.2493	0.0558	0.2238	0.2712	462
	ÜST	6.5342	6.8661	6.7835	6.5318	0.2517	0.0802	0.3186		
0.300	ALT	9.5425	9.8565	9.7851	9.536	0.2491	0.0649	0.2605	0.2413	1368
	ÜST	9.4772	9.7832	9.7228	9.4724	0.2504	0.0556	0.2220		
0.500	ALT	9.4155	9.7286	9.661	9.4077	0.2533	0.0595	0.2349	0.2154	2281
	ÜST	6.6275	6.9357	6.8826	6.6249	0.2577	0.0505	0.1960		
0.700	ALT	9.2952	9.5966	9.5373	9.2903	0.2470	0.0544	0.2202	0.1924	3210
	ÜST	6.6283	6.9226	6.878	6.6253	0.2527	0.0416	0.1646		

Çizelge 3.7. Filtre kağıtlarının su muhtevalarını hesaplama çizelgesi (devamı)

0.900	ALT	9.3668	9.6478	9.6087	9.3636	0.2451	0.0359	0.1465	0.1701	4158
	ÜST	6.605	6.9125	6.8602	6.6026	0.2576	0.0499	0.1937		
1.100	ALT	9.5293	9.8138	9.7698	9.5274	0.2424	0.0421	0.1737	0.1699	5127
	ÜST	9.5360	9.8217	9.7756	9.5306	0.2450	0.0407	0.1661		
1.300	ALT	6.6404	6.937	6.8903	6.6376	0.2527	0.0439	0.1737	0.1692	6119
	ÜST	9.4473	9.7353	9.6901	9.4427	0.2473	0.0407	0.1646		
1.500	ALT	6.5659	6.8462	6.8104	6.5646	0.2458	0.0345	0.1404	0.1659	7134
	ÜST	6.5950	6.9043	6.8526	6.593	0.2596	0.0497	0.1914		
1.700	ALT	6.5728	6.8632	6.8235	6.5706	0.2529	0.0375	0.1483	0.1484	8170
	ÜST	16.0833	16.3701	16.3218	16.0721	0.2497	0.0371	0.1486		
1.900	ALT	9.4055	9.6805	9.6399	9.4028	0.2371	0.0379	0.1598	0.1468	9240
	ÜST	6.7163	6.9893	6.9557	6.7149	0.2408	0.0322	0.1337		
2.100	ALT	9.3958	9.6758	9.6332	9.3905	0.2427	0.0373	0.1537	0.1461	10335
	ÜST	9.4231	9.6910	9.6526	9.4173	0.2353	0.0326	0.1385		
2.300	ALT	6.6437	6.9233	6.8859	6.6418	0.2441	0.0355	0.1454	0.1384	11459
	ÜST	6.5184	6.7939	6.7609	6.5174	0.2435	0.0320	0.1314		
2.500	ALT	9.5240	9.7944	9.7619	9.5207	0.2412	0.0292	0.1211	0.1270	12613
	ÜST	9.5569	6.8278	6.7913	6.5522	0.2391	0.0318	0.1330		
2.700	ALT	9.4561	9.7353	9.6933	9.4466	0.2467	0.0325	0.1317	0.1247	13797
	ÜST	9.4871	9.7663	9.7318	9.482	0.2498	0.0294	0.1177		

Hesaplamalar sonucu elde edilen filtre kağıdı su muhtevaları ile ozmotik emme değerleri kalibrasyon eğrisi oluşturulmak için kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Filtre kağıdı kalibrasyon eğrisi

3.3.3.3. Matrik Emme Ölçümü

Matrik emme ölçümü için çelik tüp içerisinde bulunan örselenmemiş zemin 6.5 çapında ve 2.5 cm yüksekliğindeki ringlere aktarılmıştır. Matrik emme ölçümünde zemin ve filtre kağıdının birbirine tam olarak temas etmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple ringe aktarılan numunelerin yüzeyleri maket bıçağı yardımıyla düzeltilerek deney sırasında temasın tam olarak sağlanabilmesi için pürüzsüz hale getirilmiştir.

Deneyin farklı su muhtevalarında gerçekleştirilebilmesi için doğal su içeriğindeki numuneler ikişer ikişer gruplandırılarak her gruba farklı miktarda su eklenmiştir. Daha sonra her gruptaki numuneler yüzeyleri tam temas edecek şekilde üst üste getirilerek plastik bir malzeme ile etrafları sarılmış ve üç gün süreyle su muhtevalarının dengelenmesi sağlanmıştır.

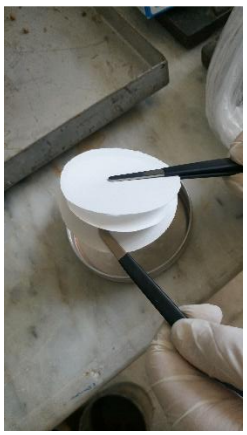
Deneyde kullanılacak filtre kağıtları; içerisinde silika jeli bulunan desikatöre yerleştirilerek havayla temas etmelerinden kaynaklı ihtiva ettikleri nemi kaybetmeleri için bir gün boyunca bekletilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Filtre kağıtlarının desikatör içinde bekletilmesi

Deney öncesi hazırlık aşamaları tamamlandıktan sonra filtre kağıdı ile matrik emme ölçümü sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılmıştır.

1) Matrik emme ölçümü için kullanılacak filtre kağıdının zeminle direk teması, üzerine zemin tanelerinin yapışmasına ve filtre kağıdının zarar görmesine sebep olacağından bu filtre kağıdı daha büyük iki adet filtre kağıdının arasına yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan filtre kağıdı 55 mm çapında olduğundan koruyucu filtre kağıdı 60 mm çapında seçilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kullanılan filtre kağıtlarının konumlandırılması

2) İkişerli olarak gruplandırılmış zemin numuneleri alınarak aynı su muhtevasına sahip her gruptaki numunelerin arasına, sandviç şeklinde bir araya getirilmiş filtre kağıtları yerleştirilmiştir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Zemin tabakaları arasına filtre kağıdının yerleştirilmesi

3) Zemin numuneleri birleştirilerek etrafları izole bantla nem kaybını engellemek amacı ile sıkıca sarılmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Zemin numuneleri birleştirilerek etraflarının izole bantla sarılması

4) Arasına filtre kağıdı koyularak bantlanan numuneler 250 ml hacmindeki kavanozların içerisine yerleştirilmiş ve toplam emmenin ölçümü için temassız bir şekilde filtre kağıtlarının konulmasını sağlayacak aparatlar üzerlerine bırakılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Zemin numunesinin kavanoz içine yerleştirilmesi

5) Aparatın üzerine kalibrasyon prosedüründeki gibi iki adet filtre kağıdı toplam emme ölçümü için yerleştirilmiştir.
6) İşlem tamamlandıktan sonra kavanozun ağzı sıkıca kapatılarak etrafı izole bantla çevrilmiş ve böylece kavanozun içerisindeki nem dengesinin değişmemesi sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Kavanoz kapağının bantlanması

7) Hazırlanan kavanozlar yedi gün süreyle sıcaklığı 20±1 °C ‘de sabit tutulan ortamda nem dengelenmesi için bekletilmiştir.

Nem dengesi sağlandıktan sonra tüm filtre kağıtlarının su muhtevaları kalibrasyon prosedüründe bahsedildiği şekilde ölçülmüştür. Filtre kağıdı su muhtevaları için matrik emme değerleri ASTM 5298 ‘de verilen kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Filtre kağıdı su muhtevaları ile matrik emmeleri Çizelge 3.8.'de görülmektedir.

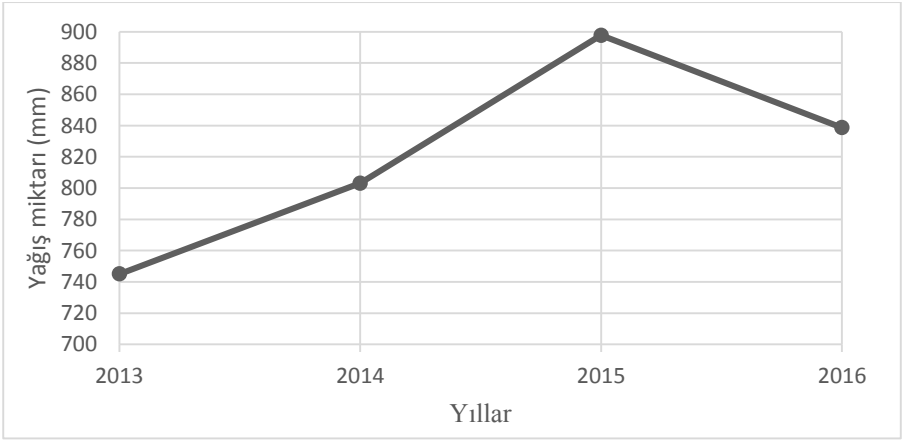
Çizelge 3.8. Filtre kağıdı deneyi matrik emme ölçüm sonuçları

Numune No	Soğuk Numune Kabı Ağırlığı (gr)	Soğuk Numune Kabı+ Islak Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Sıcak numune Kabı+ Kuru Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Sıcak Numune Kabı Ağırlığı (gr)	Kuru Filtre Kağıdı Ağırlığı (gr)	Su Ağırlığı (gr)	Filtre Kağıdı Su İçeriği (%)	Matrik Emme(kPa)	Zemin Su Muhtevası
	Tc	M1	M2	Th	Mf= M_2-Th	Mw= M1-M2-Tc+Th	Mw/Mf		
1	9.3967	9.7276	9.6441	9.3949	0.2492	0.0817	0.3278	593.52	0.21
2	9.2997	9.6669	9.5499	9.2978	0.2521	0.1151	0.4565	59.00	0.34
3	9.4233	9.7741	9.6806	9.4208	0.2598	0.091	0.3503	400.68	0.23
4	9.3015	9.6518	9.5434	9.2981	0.2453	0.105	0.4280	89.45	0.33

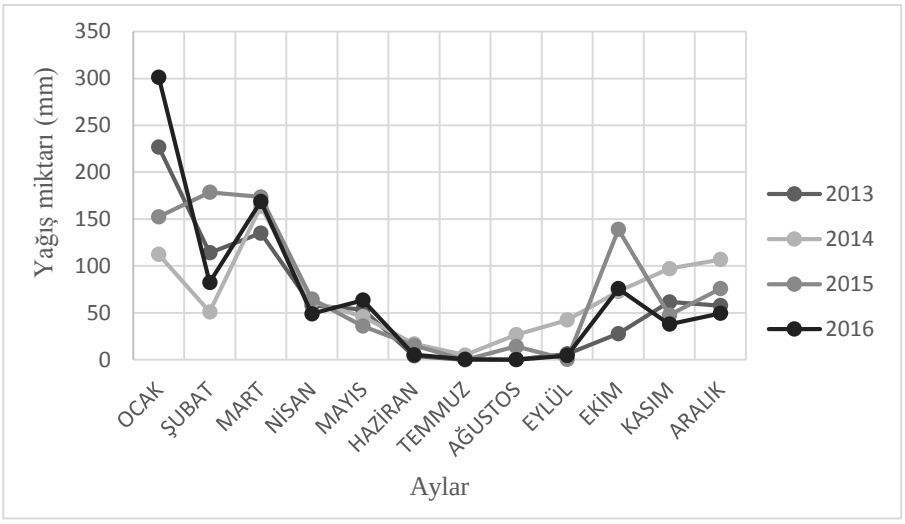
3.4. Yağış Verileri

Çalışmada yağış yoğunlukları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Baykan İlçesi için alınan son dört yıla ait saatlik yağış verileri düzenlenerek yapılmıştır. Saatlik yağış verilerinden günlük toplam yağışlar elde edilerek EK5'te verilmiştir.

Yağış verileri incelendiğinde bölgede son dört yıl içerisinde yıllık ortalama 821 mm yağış meydana geldiği ve yıllık yağışın yaklaşık %60'ının Ocak, Şubat ve Mart aylarında gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle bahsedilen üç aylık yağışlı periyot da dikkate alınmıştır. Şekil 3.16'da yıllık toplam yağış miktarları, Şekil 3.17'de ise yıllara bağlı olarak aylık toplam yağış miktarları görülebilmektedir.



Şekil 3.16. Yıllık toplam yağış miktarları



Şekil 3.17. Yıllara göre aylık toplam yağış miktarları

Saatlik yağış verileri kullanılarak, yıllık toplam yağışlar ile her yıl için, günlük maksimum, aylık maksimum ve üç aylık maksimum yağış miktarları ve bu yağışların ortalamaları belirlenmiştir. Çizelge 3.9.'da bahsedilen toplam yağış miktarları görülmektedir.

Çizelge 3.9. Toplam yağış miktarları

Yıl	Yıllık toplam yağış miktarı (mm)	Maksimum günlük toplam yağış miktarı (mm)	Maksimum aylık toplam yağış miktarı (mm)	Maksimum üç aylık toplam yağış miktarı (mm)
2013	745.1	68.7	226.8	475.9
2014	803.1	45.7	163.7	327.1
2015	897.7	61.3	178.5	504.6
2016	838.7	55.7	301.3	552.5
ORTALAMA	821	58	218	465

3.5. Limit Denge Yöntemi ile Şev Stabilite Analizleri

Çalışma kapsamında, doygun olmayan zeminin yağış infiltrasyonu etkisinde ve yağışsız olarak şev stabilite analizleri ile klasik zemin mekaniği prensiplerine göre uzun ve kısa dönem şev stabilite analizleri GEOSTUDIO programı kullanılarak yapılmıştır. Yağış infiltrasyonu, programın SEEP modulü kullanılarak modellenmiştir. Şev stabilitesi analizleri için ise programın SLOPE modülü kullanılarak limit-denge yöntemi ile şevlerin güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Bu bölümde, GEOSTUDIO programıyla ilgili bilgi verilecek, SEEP ve SLOPE modüllerinden bahsedilecek aynı zamanda yapılan analizler; doygun olmayan zeminlerin şev stabilite analizleri ve klasik zemin mekaniği prensipleriyle şev stabilite analizi başlıkları altında anlatılacaktır.

3.5.1 GEOSTUDIO Programı

GEOSTUDIO programı geoteknik problemlerine çözüm sağlayabilmek amacıyla geliştirilmiş bir paket programdır. Programın içerisinde SLOPE/W, SIGMA/W, SEEP/W, QUAKE/W, TEMP/W, CTRAN/W, AIR/W, VADOSE/W olmak üzere sekiz farklı modül bulunmaktadır. Her modül farklı problemlerin çözümü için tasarlanmıştır.

GEOSTUDIO programı kullanılarak; barajlarda meydana gelen sızma ve şev stabilite problemleri, temellerde oturma ve taşıma gücü, iklim değişikliğine bağlı olarak zeminde meydana gelen donma-çözülme olayları, zeminlerin şişmesi, şev stabilite problemleri, dayanma yapıları, derin kazılar ve iksa sistemleri, zemin iyileştirme yöntemleri gibi birçok farklı problem modellenebilir ve tasarım yapılabilir.

GEOSTUDIO programı; Saskatchewan Üniversitesinde Profesör D.G Fredlund tarafından ilk kodları yazılarak; SLOPE/W adında bir şev stabilite programı olarak geliştirilmiştir. İlk ticari sürüm sadece anabilgisayarlara (mainframe computers) kurulmuş ve kullanıcılar yazılım büroları aracılığıyla programa ulaşabilmişlerdir (SLOPE 2012).

1980'li yıllarda ilk kişisel bilgisayarların üretilmesiyle, yeni bilgisayarlarda kullanılabilmesi için program kodları tekrar yazılmıştır. Fakat daha düşük maaliyetli olan kişisel bilgisayarların depolama alanının yetersizliği; programın yeniden tasarlanmasını gerektirmiş ve yeni kodlarla birlikte program 1983'te PC-SLOPE olarak adlandırılarak piyasaya sürülmüştür. 80'li yılların sonlarına doğru grafik arayüzlerinin ortaya çıkmasından sonra programa da CAD grafik arayüzü eklenmiş ve Windows işletim sistemine uyumlu hale getirilip tekrar SLOPE/W adı verilerek piyasaya sürülmüştür. Sonraki yıllarda farklı geoteknik problemlerinin çözümü için diğer modüller geliştirilmiş ve program GEOSTUDIO adını alarak günümüzdeki haline getirilmiştir (SLOPE 2012).

GEOSTUDIO mühendisler tarafından; geoteknik problemlerinin çözümü için tercih edilen ve eğitimde de oldukça kabul gören bir programdır.

3.5.1.1. SEEP/W Modülü

Zeminde meydana gelen su akımı geoteknik mühendisliğinin temel konularından biridir. Yeraltı suyu akımıyla ilişkili boşluk suyu basınçları geoteknik mühendisliğinin özel ilgi alanlarındandır. Boşluk suyu basıncı (negatif veya pozitif) zemin içerisindeki gerilme durumunun ayrılmaz bir bileşenidir ve buna bağlı olarak zeminin kayma mukavemeti ve hacim değişimini doğrudan etkiler. Son yıllarda yapılan çalışmalar doygun olmayan zeminlerdeki nem değişiminin zeminin mühendislik özelliklerine olan etkisini ortaya koymuştur.

Tarihsel olarak, zemin içerisinde meydana gelen su akımı kararlı ve kararsız akım olarak sınıflandırılmış ve sadece doygun zeminlere odaklanılmıştır. Bir barajın altından sızan su kararlı akım iken, barajın gövdesinde piyezometre çizgisinin üzerinde meydana gelen sızma kararsız akımdır. Karasız akımların çözümlenmesi daha zor ve karmaşıktır.

SEEP modülü doygun ve doygun olmayan zeminlerde meydana gelen su akımlarını nümerik olarak modellemeyi sağlar. Nümerik modelleme fiziksel bir problemin matematiksel olarak çözümlenmesidir. Nümerik modellemenin fiziksel modellemeye göre avantajları; kısa sürede karmaşık problemlerin çözümünü sağlaması, analizler sırasında farklı birçok durumun modellenebilmesi, analizler sonunda istenilen her lokasyondaki sonuçların elde edilebilmesi, daha fazla sınır koşullarının dikkate alınabilmesi olarak sıralanabilir.

SEEP modülünde birçok farklı analiz seçeneği mevcuttur. Çalışma kapsamında steady-state ve transient seepage analizleri yapıldığından bu bölümde bahsedilen analiz türlerine değinilecektir.

Steady-state sözcük öbeği kararlı durumu ifade eder. "Kararlı durum" modelin sahip olduğu koşulların sürekli ve değişmez olduğunu tanımlar. Örneğin; bir sızma analizinde, "durum" su basıncı ve su akış hızını ifade eder. Eğer bu değişkenler kararlı koşullara ulaşırlarsa; model sonsuza kadar aynı durumda kalır. Sızdırmazlık perdesi

altındaki su akımı, yukarı yöndeki akım koşulları değişmediği takdirde kararlı durum koşuluna oldukça iyi bir örnektir. (SEEP 2012)

Steady-state analiz oluşturulan başlangıç koşullarına uygulanan sınır koşullarının etkisinin meydana getirdiği değişimi verir. Sınır koşulları zamandan bağımsız yani tüm modelleme boyunca sabit kalırsa, analiz sonucunda model kararlı koşullara ulaşır ve zeminin uzun dönemde alacağı durum elde edilebilir. Steady-state analiz zamandan bağımsızdır ve analiz sonucunda oluşan durumun ne kadar süre sonra meydana geldiği ile ilgili bilgi edinilemez.

Steady state analizde hidrolik yük ve sabit akım olmak üzere iki farklı sınır koşulu vardır. Sabit akım; birim zamandaki akım miktarı veya toplam akım miktarı olarak analizde kullanılabilir.

Transient seepage analiz sürekli değişen durum olarak tanımlanabilir. Rezervuarı hızlıca dolan bir barajda sızmanın ne kadar süre sonra çekirdeğe ulaşabileceği bu analize örnek bir problem olarak verilebilir. Transient seepage analizde belirlenen süre sonunda meydana gelen değişimin elde edilebilmesi için analizin başladığı anda zeminin sahip olduğu boşluk suyu basınçlarının başlangıç koşulu olarak zemine tanıtılması gerekmektedir. Başlangıç koşullarının doğru bir şekilde tanımlanması, sağlıklı sonuçlar elde edilmesi için önemlidir. GEOSTUDIO programının farklı bir modülünde yapılan analizlerin sonuçlarının; transient seepage analizde başlangıç koşulu olarak tanımlanması mümkündür. Örnek olarak; yeraltı su seviyesi ve buna bağlı boşluk suyu basıncı dağılımları steady-state analizde oluşturulup, analiz sonuçları transient seepage analizde başlangıç koşulu olarak kullanılabilmektedir.

3.5.1.2. SLOPE/W Modülü

SLOPE/W modülü kompleks problemlerin klasik limit–denge yöntemleriyle çözülmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu yazılımla çok değişken stratigrafiye sahip zeminler modellenebilir, oldukça düzensiz boşluk suyu basınçları dikkate alınabilir, lineer ya da nonlinear kayma mukavemeti kabulü yapılabilir, farklı geometriye sahip kayma yüzeyleri için analizler yapılabilir ve çok sayıda kayma yüzeyi için güvenlik sayısı kısa süre içerisinde elde edilebilir. Ayrıca modellemede yoğun dış yükler ya da güçlendirme elemanları dikkate alınabilir.

SLOPE modülü şev stabilitesinde güvenlik sayısının limit-denge analiz yöntemleriyle elde edilebilmesini sağlamaktadır. Programda Morgenstern-Price, Spencer, Bishop, Janbu, Sarma, Lowre-Karaifath limit-denge yöntemleri kullanılabilmektedir. Çalışmada limit-denge yöntemi olarak Bishop methodu tercih edilmiştir.

Bishop yöntemi 1950'li yıllarda Profesör Bishop tarafından Imperial Koleji-Londra'da geliştirilmiştir. Bu yöntemde moment denge denklemi kullanılmış ve dilimler arasında oluşan içşel normal kuvvetler dikkate alınırken; içsel kesme kuvvetleri ihmal edilmiştir. Bishop yönteminde; dilim tabanlarında meydana gelen normal kuvvetler; düşey yöndeki içsel kuvvetlerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu durum; tabandaki normal kuvvetlerin; güvenlik sayısının bir fonksiyonu olmasına sebep olmaktadır ve çözümde iterasyon kullanılmasını gerektirmektedir (SLOPE 2012).

Slope modülünde kayma yüzeyleri; dairesel, blok, kompozit, ya da özel tanımlı olarak oluşturulabilmektedir. Analiz için seçilen kayma yüzeyi türüne bağlı olarak program birçok farklı derinlik ve uzunlukta kayma yüzeyleri oluşturur; her yüzey için limit-denge yöntemi ile güvenlik sayısını belirleyerek en düşük güvenlik sayısına sahip kayma yüzeyini kritik durum olarak belirler.

3.5.2 Doygun Olmayan Zeminlerin Şev Stabilite Analizi

Çalışma kapsamında doygun olmayan zeminlerin şev stabilitesi yağış etkisinde ve yağışsız olarak incelenmiştir. Bu bölümde analizlerin programda nasıl modellendiği anlatılacaktır.

3.5.2.1 Doygun Olmayan Zeminlerin Yağış İnfiltrasyonu Etkisinde Şev Stabilite Analizi

Yağış infiltrasyonunun şev stabilitesine olan etkisinin belirlenmesi için yağışın zeminin yeraltı suyu seviyesinde ve/veya boşluk suyu basıncı dağılımlarında meydana getirdiği değişimin belirlenmesi gereklidir.

Doygun olmayan zeminlerde infiltrasyon ikinci bölümde anlatıldığı gibi zeminin geçirimliliğine, doygun ve rezidüel hacimsel su içeriğine, su içeriği değişimiyle meydana gelen matrik emme değişimine, yağışın yoğunluğuna ve süresine bağlı

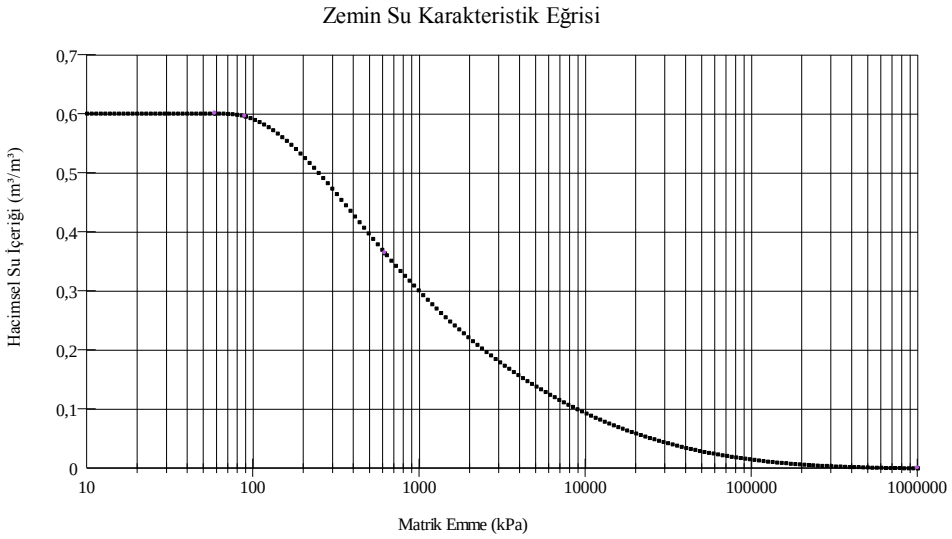
oldukça karmaşık bir problemdir. Çalışmada yağış infiltrasyonu SEEP modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Zeminin yağış öncesi başlangıç koşulları steady-state analizi ile oluşturulmuş ve yağış infiltrasyonu transient seepage analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yağış sonrası zemindeki yeraltı su seviyesi ve boşluk suyu basınçlarındaki değişim dikkate alınarak SLOPE modülünde şev stabilite analizleri yapılmıştır.

Başlangıç Koşullarının Oluşturulması

Yağış öncesi zeminin sahip olduğu yeraltı su seviyesinin ve buna bağlı olarak zemindeki negatif ve pozitif boşluk suyu basıncı dağılımlarının modelde oluşturulabilmesi için SEEP modülü kullanılarak steady-state analiz yapılmıştır.

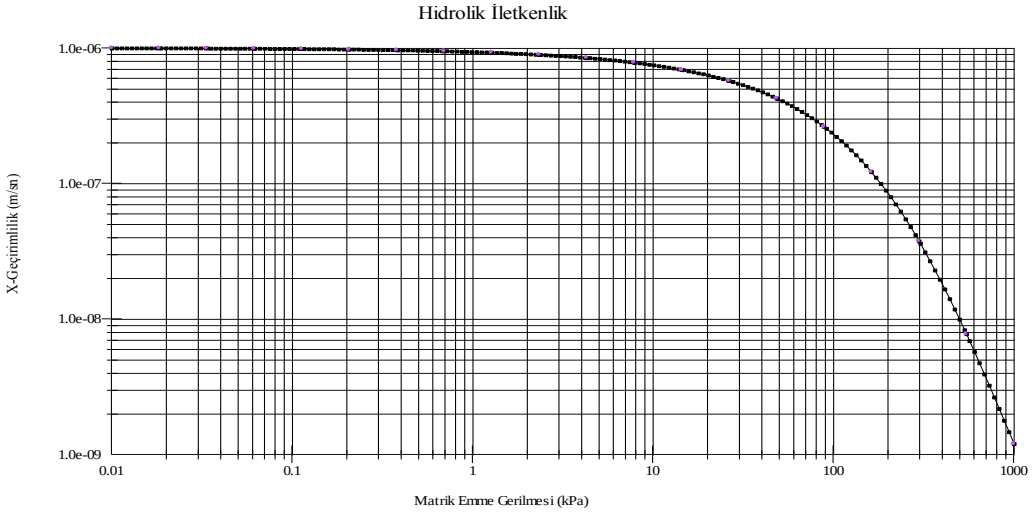
SEEP modülünde ‘only saturated’ (doygun) ve ‘saturated-unsaturated’ (doygun-doygun olmayan) malzeme modelleri mevcuttur. Doygun olmayan zemin durumunu ‘saturated-unsaturated’ malzeme modeli yansıtmaktadır. Bu sebeple SEEP modülünde yapılan analizlerde, bahsedilen malzeme modeli kullanılmıştır.

Zeminin doygun olmayan koşullarda tanımlanabilmesi, zemine ait zemin-su karakteristik eğrisinin programa tanıtılmasını gerektirmektedir. Bu sebeple filtre kağıdı deneyi sonucunda elde edilen matrik emme ve buna karşılık gelen zemin su içerikleri; malzeme modelinde zemin-su karakteristik eğrisinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Şekil 3.18’de modellenen zemine ait zemin-su karakteristik eğrisi görülmektedir.



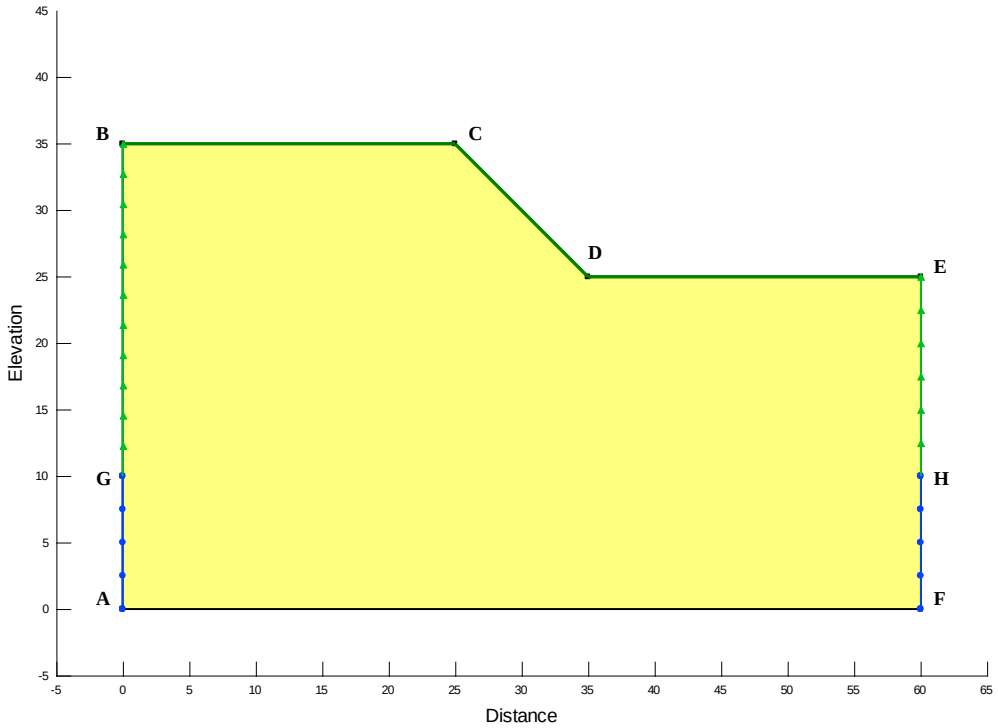
Şekil 3.18. Zemin-su karakteristik eğrisi

'Saturated-unsaturated' malzeme modelinde programa tanıtılması gereken en önemli parametrelerden birisi de geçirimliliktir. Doygun olmayan zeminlerde geçirimlilik zemin matrik emmesine bağlı olarak değişir. Zemin-su karakteristik eğrisi doygun olmayan zeminin hidrolik iletkenlik eğrisini elde etmekte kullanılabilir (Fredlund and Rahardjo 1993). Zemin-su karakteristik eğrisinden hidrolik iletkenliğin elde edilebilmesi için programda tanımlı Van Genuchten (1980) fonksiyonu kullanılmıştır. Zemin izotropik kabul edilerek x ve y doğrultularındaki geçirimliliği eşit olarak tanımlanmıştır. Zemine ait hidrolik iletkenlik eğrisi Şekil 3.19'da görülebilmektedir.



Şekil 3.19. Hidrolik iletkenlik eğrisi

Modelde yeraltı su seviyesi, model geometrisinde AB ile FE kenarlarında yeraltı su seviyesi boyunca; hidrolik yük sınır koşulu ile tanımlanmıştır (Şekil 3.20). Hidrolik yük yeraltı su seviyesinin referans çizgisine (y=0 doğrusu) göre yüksekliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Örnek olarak; yeraltı su seviyesini şevin üst yüzeyinden 25 metre derinlikte oluşturmak için sınır koşulu AG ve HF kenarlarında Head= 10 m sınır koşulu oluşturularak tanımlanmıştır.



Şekil 3.20. Yeraltı su seviyesinin tanımlanması

Steady-state analizi yapılarak modelin başlangıç durumunda sahip olduğu yeraltı su seviyesi ile boşluk suyu basınçları oluşturulmuştur.

Yağış İnfiltrasyonunun Nümerik Analizi

Modelde yağış yoğunluğu ve süresine bağlı yağış analizi transient seepage analiz kullanılarak yapılmıştır. Transient seepage analiz için başlangıç koşulları steady-state analiz sonuçları kullanılarak oluşturulmuştur.

Yağış yoğunluğu programda 'unit flux' sınır koşulu kullanılarak şev yüzeyine etkitilmiştir. Transient seepage analiz zamana bağlı çözüm yapabildiğinden yağış süreleri analiz içerisinde tanımlanmıştır. Tanımlanan toplam yağış süresi boyunca boşluk suyu basıncı dağılımındaki değişimler belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir.

Şev Stabilite Analizi

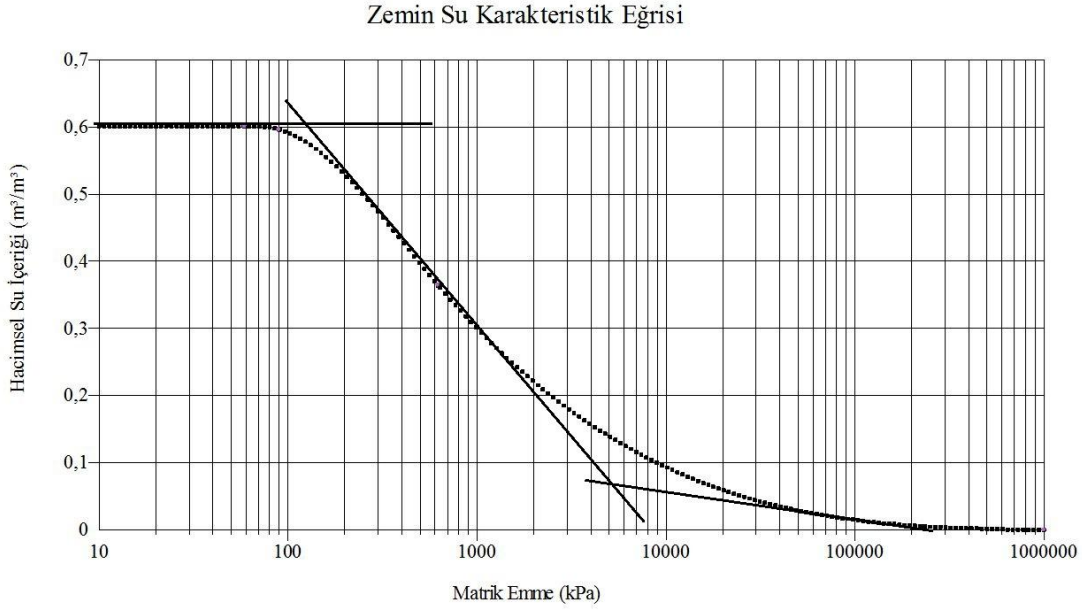
Doygun olmayan zeminin şev stabilite analizlerinde malzeme modeli olarak 'Spatial Mohr Coulomb' malzeme modeli tercih edilmiştir. Bu modelin kullanılmasının sebebi matrik emmeye bağlı olarak zeminin kayma mukavemetinde meydana gelen değişimin dikkate alınabilmesini sağlamaktır. Seçilen zemin modelinde gerekli kayma direnci parametreleri; efektif kohezyon, c', efektif içsel sürtünme açısı ϕ' ve doygun

olmayan zeminlerin matrik emmeye bağlı olarak kayma mukavemeti artış miktarını gösteren açı, ϕ^b'dir.

Çalışmada ϕ^b açısı Vanapalli ve ark. (1996)'nın önerdiği Denklem 3.2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$tan\,\phi^{\,b} = \left[(tan\,\phi\,')\left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right)\right] \quad (3.2)$$

Denklemde; *Θ, Θw, Θr* sırasıyla, hacimsel su içeriği, doygun hacimsel su içeriği ve rezidüel hacimsel su içeriğini ifade etmektedir. Hacimsel su içeriği (*Θ*) olarak zeminin doğal durumdaki hacimsel su içeriği kullanılmış ve yağışa bağlı ϕ^b değişimi ihmal edilmiştir. Rezidüel ve doygun hacimsel su içerikleri ise zemin-su karakteristik eğrisi kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Zemin-su karakteristik eğrisi kullanılarak hacimsel su içeriklerinin elde edilmesi

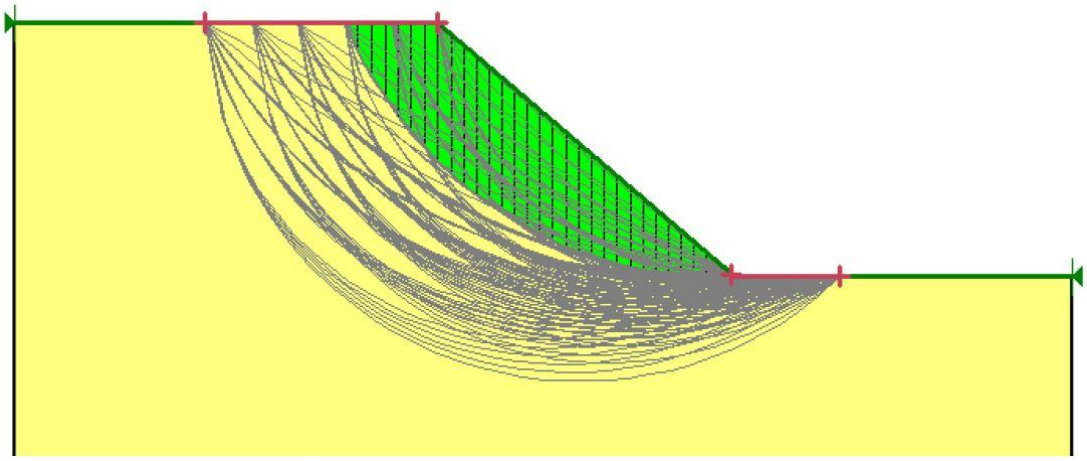
Çizelge 3.10'da doygun olmayan ofiyolitli kil için malzeme özellikleri görülebilmektedir.

Çizelge 3.10. Doygun olmayan zemine ait hacimsel su içerikleri ve kayma direnci parametreleri

Rezidüel hacimsel su içeriği, Θr	**Doygun hacimsel su içeriği, Θs**	**Doğal hacimsel su içeriği, Θ**	**Matrik emmeye bağlı olarak kayma mukavemeti artış miktarını gösteren açı, ϕ^b**	**Efektif kohezyon,c'**	**Efektif içesel sürtünme açısı, ϕ'**
(%)	**(%)**	**(%)**	**(°)**	**(kPa)**	**(°)**
0.07	0.6	0,39	8,82	15	14

Stabilite analizinde kullanılacak boşluk suyu basıncı dağılımı transient seepage analizlerinin sonuçları kullanılarak oluşturulmuştur.

Şev stabilite analizlerinde kayma yüzeylerini belirlemek için 'entry-exit' seçeneği tercih edilmiş; kayma yüzeylerinin başlama ve bitiş noktalarının oluşturulması için şevin üst yüzeyinin tamamı ile alt yüzeyinin tamamı seçilmiştir. Program seçilen aralıkta farklı birçok kayma yüzeyi oluşturarak her yüzey için güvenlik sayısını hesaplamaktadır. 'Entry-exit' kayma yüzeyi örneği Şekil 3.22'de görülmektedir.



Şekil 3.22. Entry-Exit komutu ile kayma yüzeylerinin belirlenmesi

3.5.2.2. Doygun Olmayan Zeminlerin Yağışsız Şev Stabilite Analizi

Doygun olmayan zeminlerin yağış etkisi dikkate alınmadan yapılan şev stabilite analizlerinde; yeraltı su seviyesine bağlı olarak boşluk suyu basıncı dağılımları SLOPE modülünde steady-state analiz ile elde edilmiştir. Malzeme modeli 'saturated-unsaturated' olarak seçilmiştir. Malzeme özellikleri yağışlı durum ile aynıdır. Yeraltı su seviyesi daha önce bahsedildiği şekilde tanımlanmıştır.

Farklı yeraltı su seviyelerine ait başlangıç koşulları ayrı ayrı kullanılarak şev stabilite analizleri yapılmıştır. Malzeme modeli Spatial-Mohr Coulomb'dur. Malzeme özellikleri yağışlı durum ile aynıdır. Stabilite analizi Bishop limit denge yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kayma yüzeyi 'entry-exit' seçeneği ile belirlenmiştir.

3.5.3. Klasik Zemin Mekaniği Prensipleriyle Şev Stabilite Analizi

Klasik zemin mekaniği prensipleriyle yapılan şev stabilite analizlerinde yeraltı suyu SLOPE modülünde piyezometre çizgisi ile tanımlanmıştır.

Klasik zemin mekaniği prensipleriyle yağışsız şev stabilite analizleri toplam ve efektif kayma mukavemeti parametreleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Zeminin doygun durumdaki şev stabilitesi analizlerinde Mohr Coulomb malzeme modeli tercih edilmiş ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen efektif kayma direnci parametreleri kullanılmıştır. Toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan analizlerde ise Mohr Coulomb malzeme modelinde konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılmıştır.

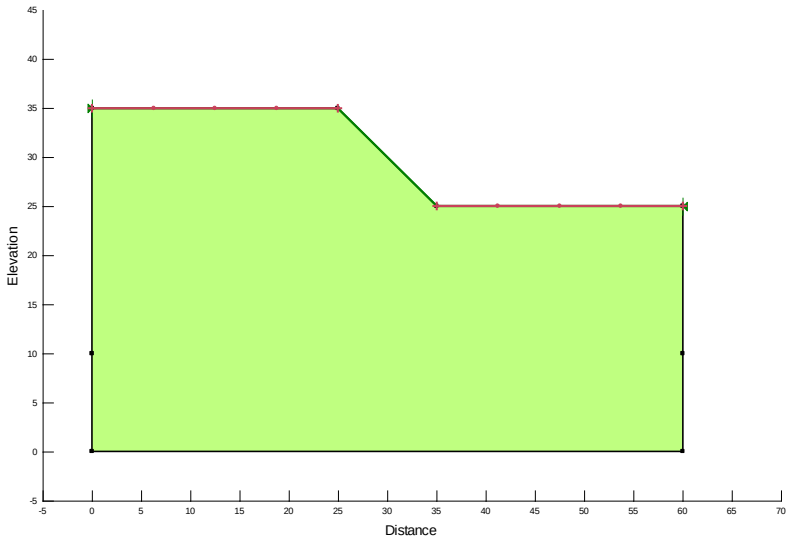
Doygun olmayan zeminlerin şev stabilite analizlerine benzer şekilde limit-denge yöntemi olarak Bishop methodu tercih edilmiş ve kayma yüzeyleri ‘entry-exit’ seçeneği ile oluşturulmuştur.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Doygun Olmayan Zeminlerin Yağış İnfiltrasyonu Etkisindeki Şev Stabilitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

Bu bölümde doygun olmayan ofiyolitli kil zeminde yağış yoğunluğu ile süresinin ve yağış altında zemin geçirimliliğinin şev stabilitesine olan etkisi parametrik olarak incelenmiştir.

Çalışmada yapılan tüm analizlerde aynı şev geometrisi kullanılmıştır. Şevin eğim açısı 45° ve yüksekliği 10 metre olarak belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan şev geometrisi Şekil 4.1.'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Analizlerde kullanılan şev geometrisi

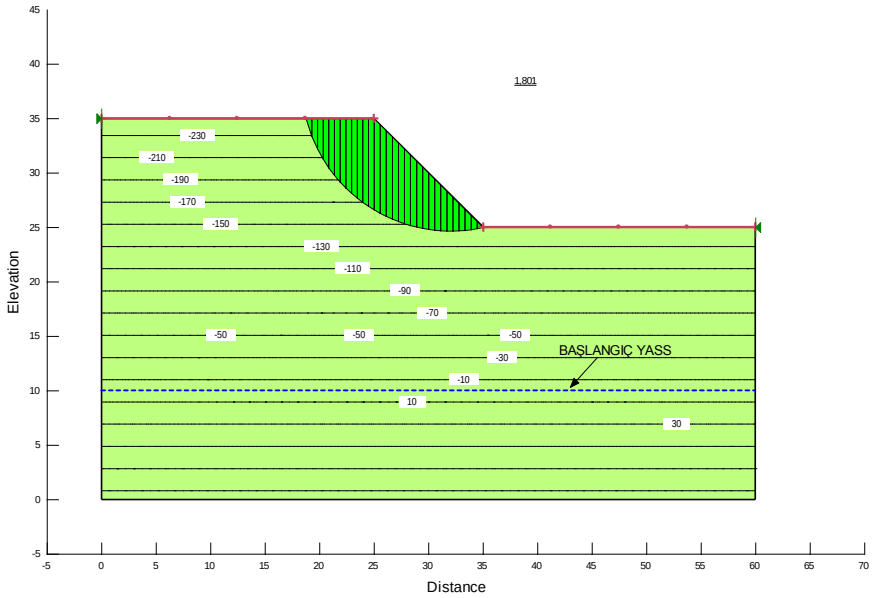
Analizlerde değişiminin etkisi incelenen parametre dışındaki diğer tüm parametreler, numunelerden elde edilen zemin özelliklerine bağlı kalınarak kullanılmış ve yağış yoğunlukları da çalışma alanının gerçek yağış verileri kullanılarak incelenmiştir. Yağış infiltrasyonu ve şev stabilitesi analizlerinde kullanılan zemin özellikleri ve yağış miktarları Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan parametreler

Analiz Adı	Yeraltı Su Seviyesi (m)	Zemin Geçirimliliği,k_s (m/sn)	Yağış Miktarı	Yağış Süresi (gün)	Φb (°)	Efektif Kohezyon,c' (kPa)	Efektif İçsel Sürtünme Açısı, ϕ' (°)
Yağış Yoğunluğunun Etkisi	25 metre	10^{-6}	Değişken	90	8,82	15	14
Yağış Süresinin Etkisi	25 metre	10^{-6}	Günlük yağış Aylık yağış 3 aylık yağış	Değişken	8,82	15	14
Zemin Geçirimliliğinin Etkisi	25 metre	Değişken	3 aylık yağış	90	8,82	15	14

4.1.1. Yağış Yoğunluğunun Şev Stabilitesine Etkisi

Yağışa maruz doygun olmayan zeminde yağış yoğunluğunun şev stabilitesine olan etkisi araştırılmıştır. Analizde öncelikle başlangıç koşullarının oluşturulması için yeraltı su seviyesi ve buna bağlı olarak boşluk suyu basıncı dağılımı steady-state analizde oluşturulup; bu dağılım şev stabilite analizinde kullanılarak doygun olmayan zeminin yağış öncesi (t=0) sahip olduğu güvenlik sayısı 1.801 olarak bulunmuştur. Şekil 4.2'de şevin yağış öncesi şev stabilite analizi sonucu görülmektedir.



Şekil 4.2. Yağış öncesi şev stabilite analizi sonucu

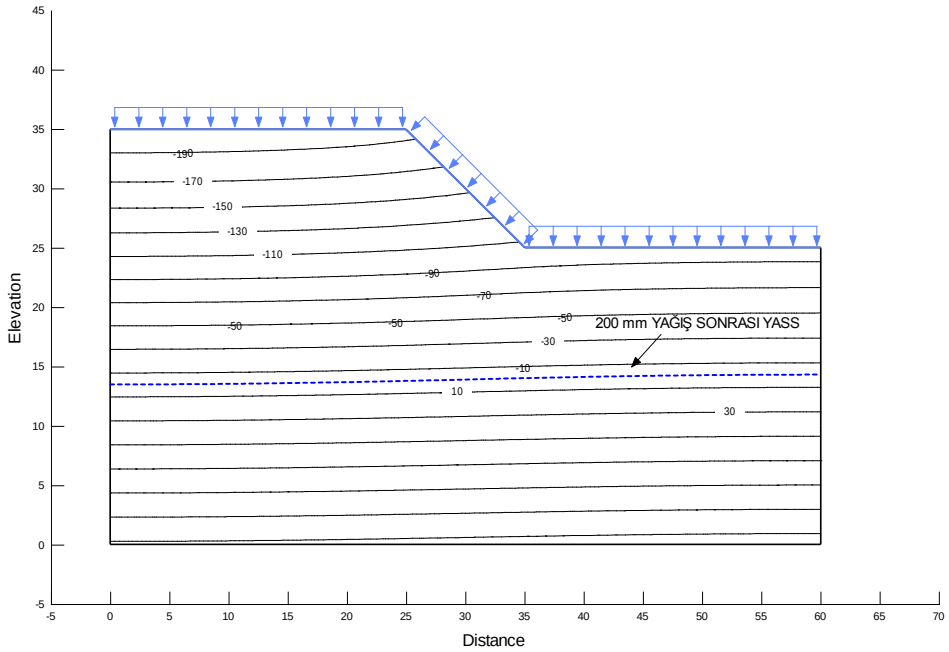
Yağış yoğunluğu analizleri bölgede yağışın en yoğun miktarda meydana geldiği aylar için yapılmıştır. Üç ay süreli analizlerde her yıla ait Ocak-Şubat-Mart aylarının toplam yağış miktarları; yüzey akışı dikkate alınarak %30 oranında azaltılıp kullanılmış ve bu yağış miktarlarından daha düşük ve daha yüksek yağış miktarları için de analizler yapılmıştır.

İnfiltrasyon analizlerinde üç aylık toplam yağış miktarı yağış yoğunluğuna dönüştürülerek kullanılmıştır. Çizelge 4.2'de farklı yağış yoğunlukları için yapılan analizlerde kullanılan yağış yoğunlukları ve yağış süreleri görülmektedir.

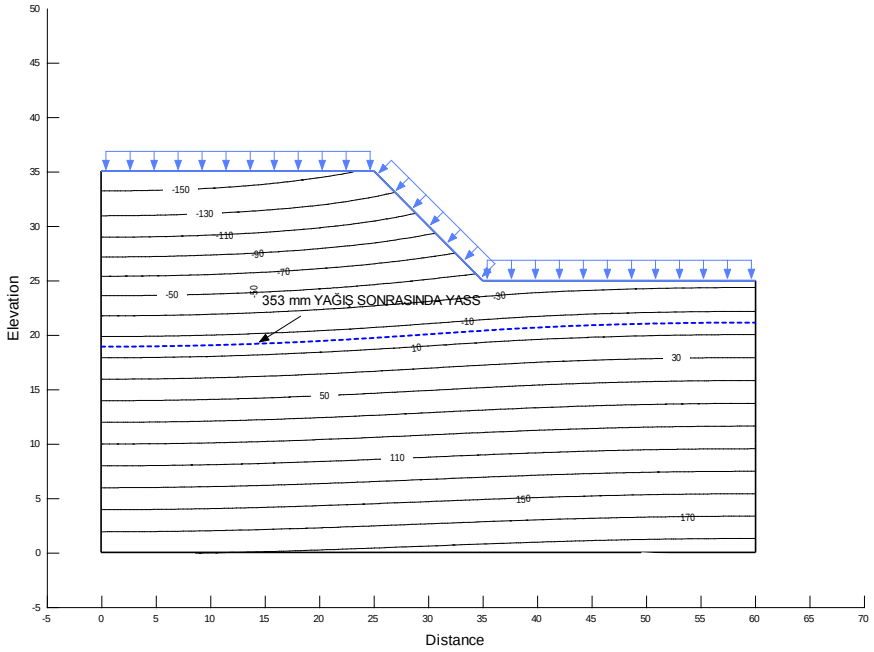
Çizelge 4.2. Farklı yağış yoğunlukları için yapılan analizlerde kullanılan yağış yoğunlukları ve yağış süreleri

Yıllar	Toplam Yağış Miktarı (%30 azaltılmış) (mm)	Toplam Süre (ay)	Yağış Yoğunluğu (m/sn)
-	200	3	$2.57x10^{-8}$
2013	333	3	$4.28x10^{-8}$
2014	229	3	$2.95x10^{-8}$
2015	353	3	$4.54x10^{-8}$
2016	387	3	$4.97x10^{-8}$
-	400	3	$5.14x10^{-8}$

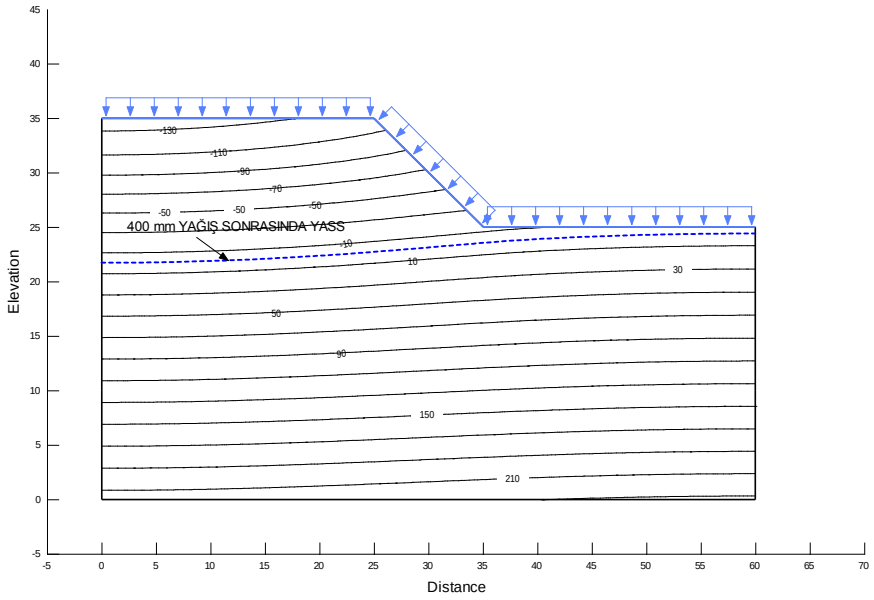
Farklı yağış yoğunlukları için yapılan transient seepage analiz sonuçlarından bazıları sırasıyla; Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te görülmektedir.



Şekil 4.3. 200 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

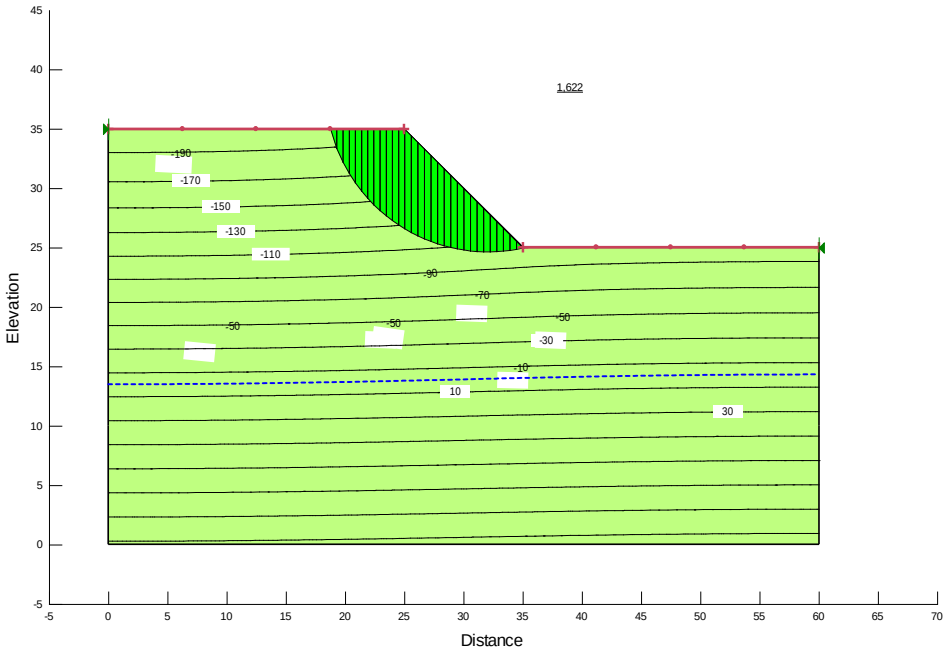


Şekil 4.4. 353 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

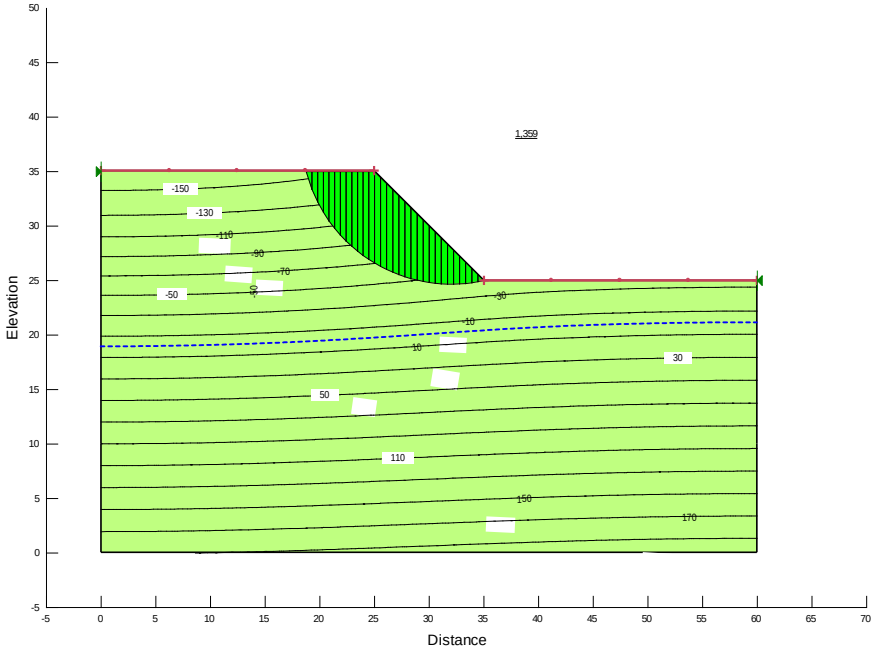


Şekil 4.5. 400 mm yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

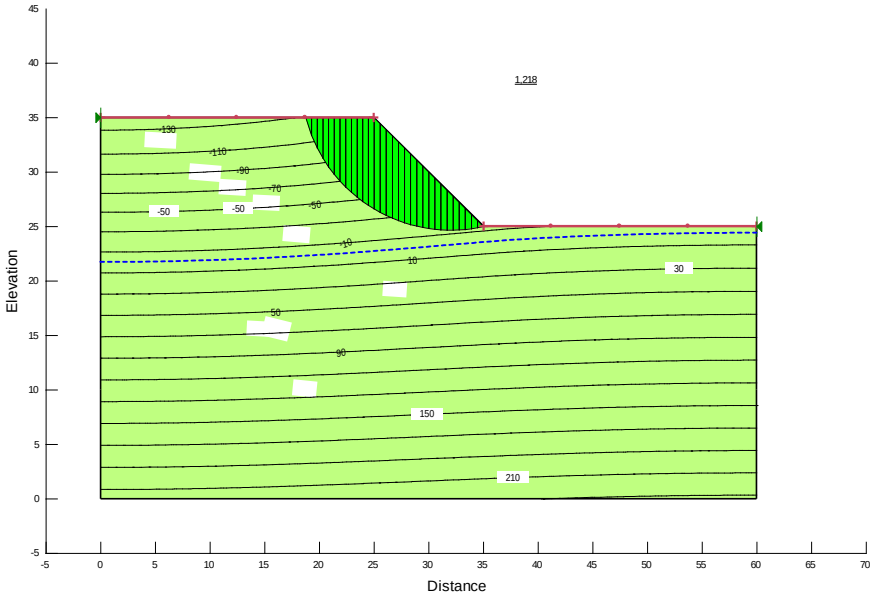
Yağış sonrasındaki yeraltı su seviyesi ve boşluk suyu basınçları dikkate alınıp; doygun olmayan kayma direnci parametreleri kullanılarak şev stabilite analizleri yapılmıştır. Şev stabilite analizlerinden bazılarının sonuçları sırasıyla Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.6. 200 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı



Şekil 4.7. 353 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı

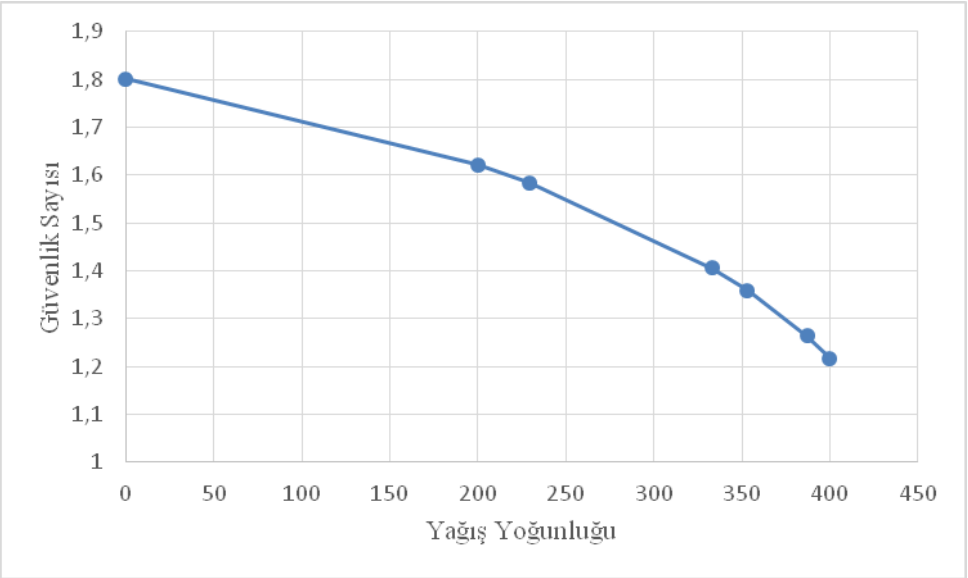


Şekil 4.8. 400 mm yağış sonrası şevin güvenlik sayısı

Yağış sonrasında şev güvenlik sayısının yağış yoğunluğuna bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Çizelge 4.3' te farklı yoğunluktaki yağışlar sonrası elde edilen güvenlik sayıları ve Şekil 4.9.'da yağış yoğunluğuna bağlı olarak güvenlik sayısında meydana gelen değişim görülmektedir.

Çizelge 4.3. Farklı yoğunluktaki yağışlar için elde edilen güvenlik sayıları

Yıllar	Toplam Yağış Miktarı (%30 azaltılmış) (mm)	Yağış Öncesi Güvenlik Sayıları	Yağış Sonrası Güvenlik Sayıları
-	200	1.801	1.622
2013	333	1.801	1.406
2014	229	1.801	1.585
2015	353	1.801	1.359
2016	387	1.801	1.265
-	400	1.801	1.218



Şekil 4.9. Yağış yoğunluğu ile güvenlik sayısı arasındaki ilişki

Başlangıç durumunda şevin güvenlik sayısı 1.801 iken 200 mm yağış sonrasında bu değer 1.622'ye düşmüş; 400 mm yağış sonrasında ise güvenlik sayısı 1.218 olmuştur. Yapılan analizlerde yağış yoğunluğu ile güvenlik sayısı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil.4.9.). Bu durum zemine su girdi oranının büyüklüğü ile ilgilidir. Yağış yoğunluğu arttıkça zemine giren su miktarı artar ve buna bağlı olarak geçirimlilik nonlineer olarak artarken; matrik emme de benzer şekilde azalır. Matrik emmede meydana gelen azalmaya bağlı olarak zeminin kayma mukavemeti de düşer ve bu durum yağış yoğunluğu ile güvenlik sayıları arasındaki nonlineer ilişkiyi meydana getirir.

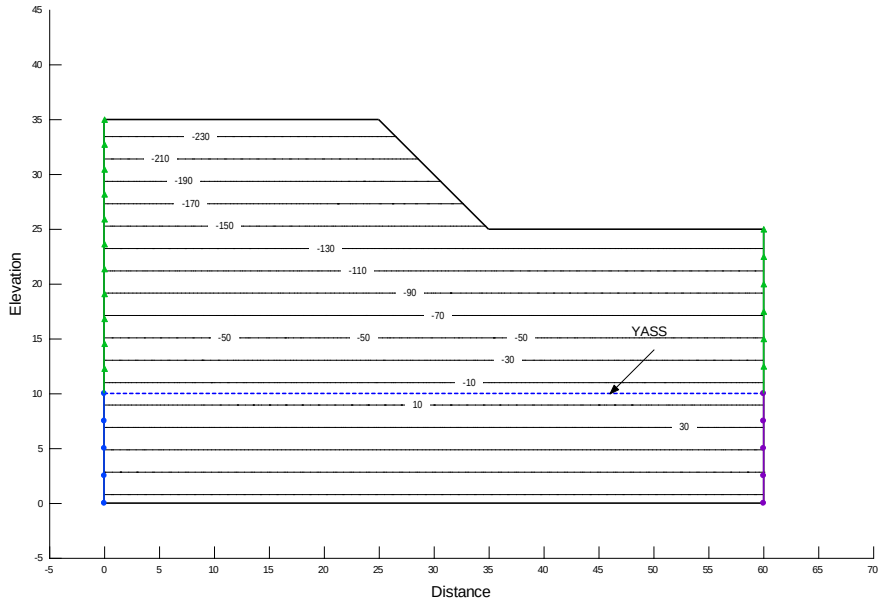
4.1.2. Yağış Süresinin Şev Stabilitesine Etkisi

Yağış süresinin şev stabilitesine olan etkisinin araştırılması için son dört yıla ait yağış verilerinden günlük, aylık ve üç aylık maksimum yağış miktarları %30 oranında azaltılarak analizlerde kullanılmıştır (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Yağış süresi etkisinin incelendiği analizlerde kullanılan yağış verileri

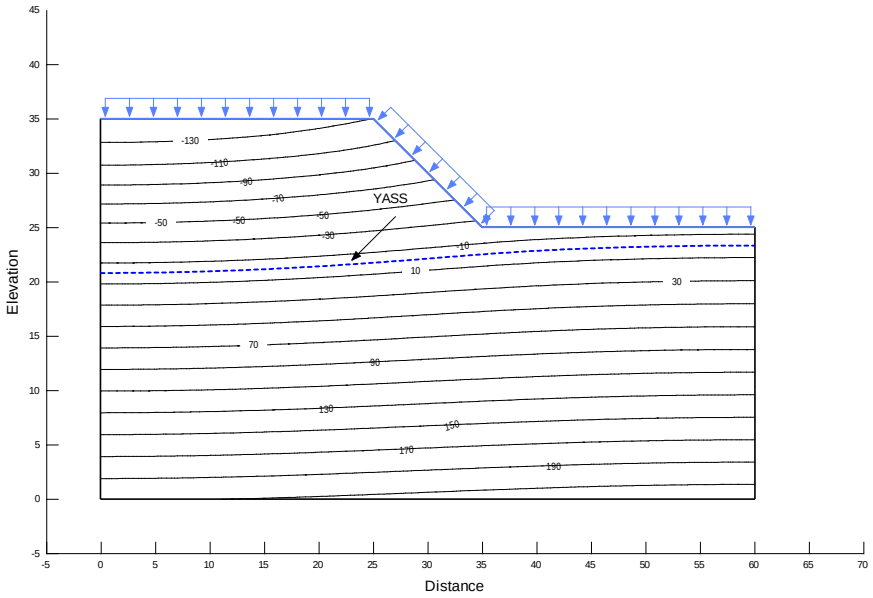
Yağış Türü	Toplam Yağış Miktarı (%30 azaltılmış) (mm)	Yağış Yoğunluğu (mm/gün)	Analiz-Yağış Süresi (gün)
3 aylık toplam maksimum yağış	387	4.3	90
Aylık toplam maksimum yağış	211	7.03	30
Günlük toplam maksimum yağış	48	48	3

Son dört yıl içerisinde üç aylık maksimum yağış 2016 yılında gerçekleşmiştir. Ocak-Şubat-Mart aylarında yağan toplam yağış miktarı 552.5 mm olarak elde edilmiştir. Fakat yüzeysel akış ve buharlaşma etkisi dikkate alınarak bu veri %30 oranında azaltılmış ve toplam yağış miktarı 387 mm olarak alınmıştır. Toplam yağış, günlük yağış yoğunluğuna dönüştürülerek analizde kullanılmış ve yağış süresi 90 gün olarak uygulanmıştır. Yağış öncesi zeminin sahip olduğu yeraltı su seviyesi ve matrik emme dağılımı Şekil 4.10.'da görülmektedir.



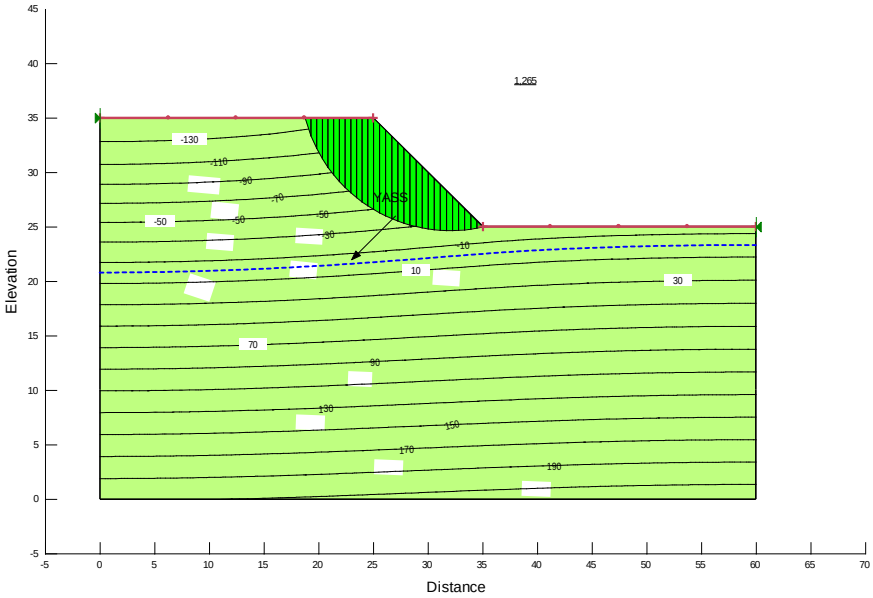
Şekil 4.10. Şevin başlangıç koşullarında boşluk suyu basıncı dağılımı

Başlangıç koşulları oluşturulduktan sonra üç aylık maksimum yağış yoğunluğu uygulanarak; 90 gün süre için transient seepage analizi yapılmış ve yeraltı su seviyesi ile matrik emmedeki değişim elde edilmiştir. (Şekil 4.11.)



Şekil 4.11. Şevin üç aylık yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

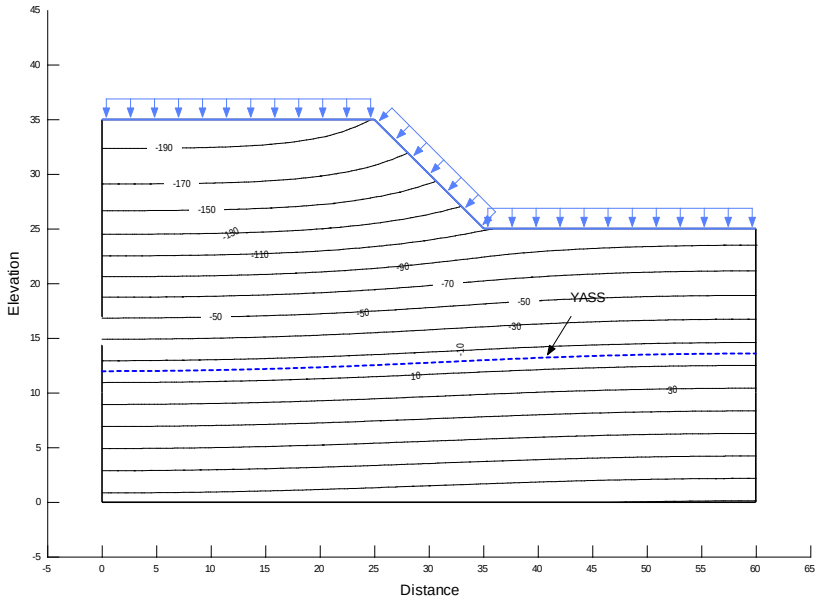
Yağış sonrasında meydana gelen boşluk suyu basıncı dağılımları şev stabilite analizinde kullanılarak güvenlik sayısı 1.265 olarak bulunmuştur.(Şekil 4.12.)



Şekil 4.12. Şevin üç aylık yağış sonrası güvenlik sayısı

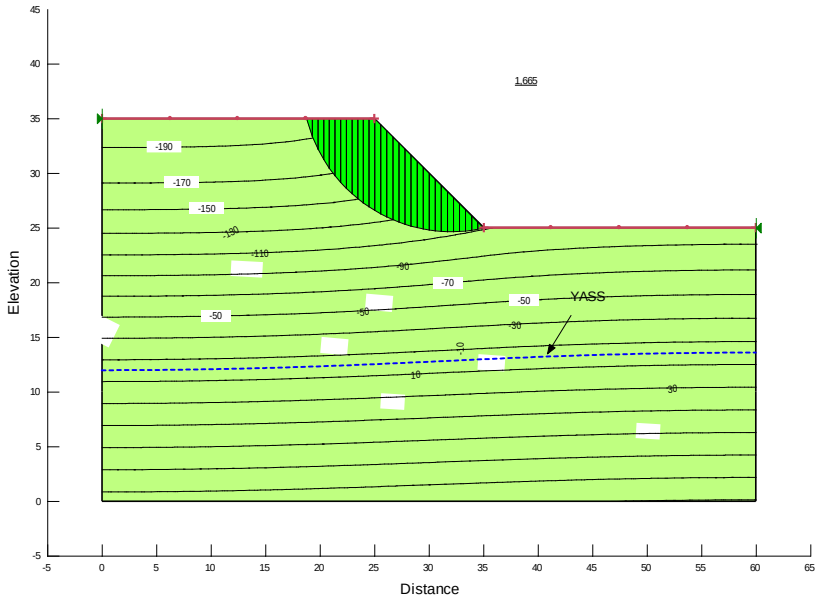
Son dört yıl içerisinde aylık maksimum yağış 2016 yılı Ocak ayında gerçekleşmiştir. Bu yağışın miktarı 301.3 mm'dir. Benzer şekilde aylık yağış %30 azaltılmış ve 211 mm olarak alınmıştır. Bu toplam yağış miktarı, yağış yoğunluğuna dönüştürülerek analizde tanımlanmış ve 30 gün süre için yağış analizi yapılmıştır.

Başlangıç koşulları oluşturulduktan sonra belirtilen yağış yoğunluğu ve süre kullanılarak yağış infiltrasyonu analizi yapılmıştır (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Şevin aylık yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

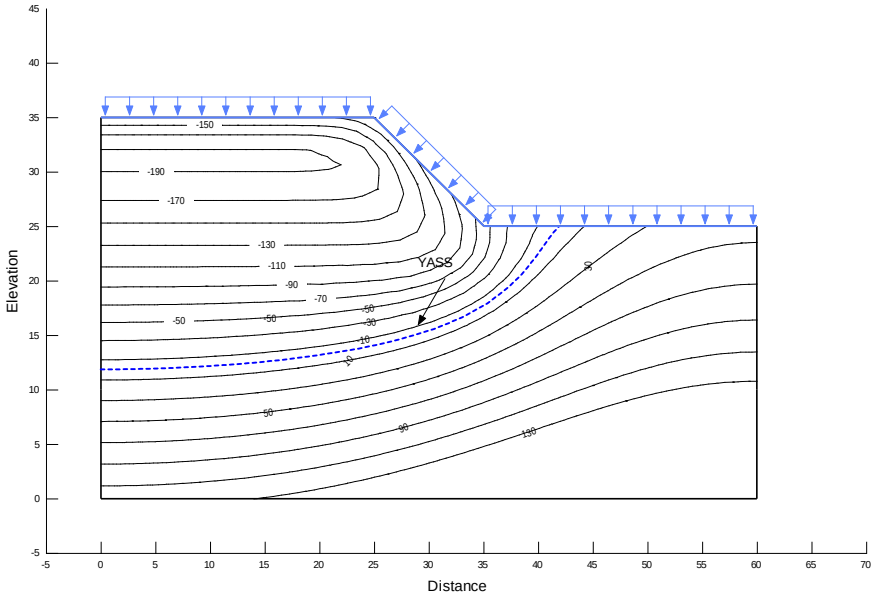
Yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı kullanılarak şev stabilite analizi yapılmış ve güvenlik sayısı 1.665 olarak bulunmuştur (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Şevin aylık yağış sonrası güvenlik sayısı

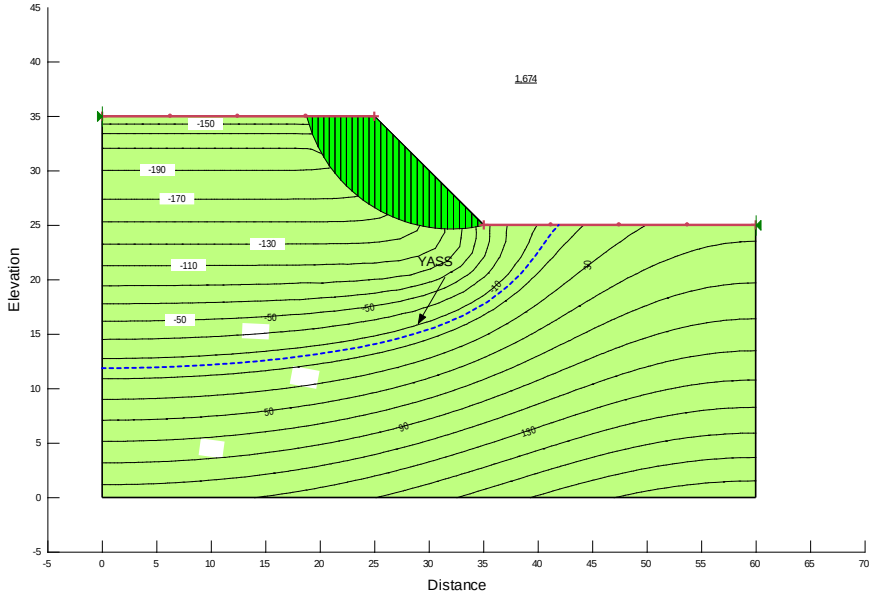
Son dört yıla ait günlük maksimum yağış 2015 yılı Ocak ayında gerçekleşmiştir. Gün içerisinde yağan maksimum toplam yağış 68.7 mm'dir. Yağış miktarı %30 azaltılarak; analizde yağış yoğunluğu 48 mm/gün alınarak yağış süresi üç gün seçilmiştir.

Yağış sonrasında boşluk suyu basınçları Şekil 4.15'te görüldüğü gibi değişmektedir.



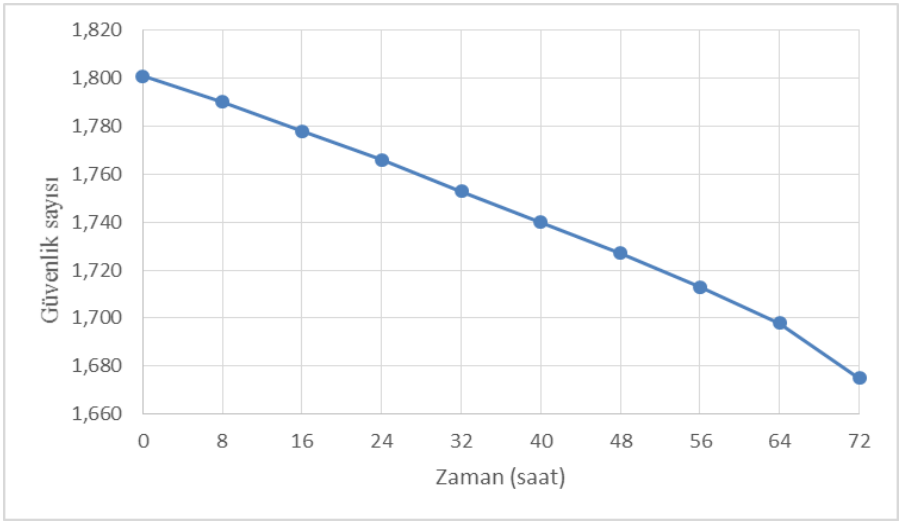
Şekil 4.15. Şevin üç günlük yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımı

Yağış sonrası boşluk suyu basınçları kullanılarak yapılan şev stabilitesi analizinde güvenlik sayısının 1.674'e düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil. 4.16.).

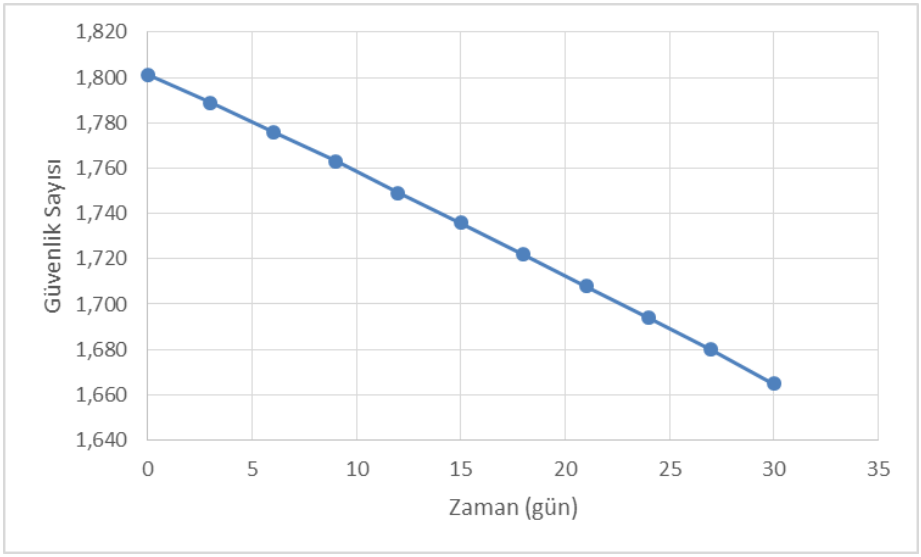


Şekil 4.16. Şevin üç günlük yağış sonrası güvenlik sayısı

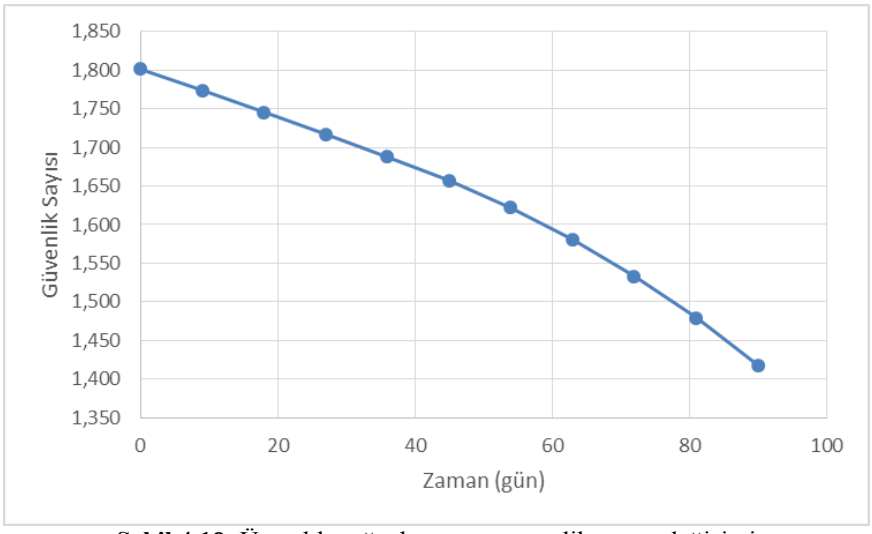
Yağış süresine bağlı olarak elde edilen güvenlik sayıları sırasıyla Şekil 4.17., Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da görülmektedir.



Şekil 4.17. Üç günlük yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi



Şekil 4.18. Bir aylık yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi



Şekil 4.19. Üç aylık yağış boyunca güvenlik sayısı değişimi

Analiz sonuçlarına göre şevlerin başlangıç koşullarında güvenlik sayıları 1.801 iken; üç günlük yoğun yağış sonunda 1.674'e, aylık yağış sonunda 1.665'e ve üç aylık yağış sonrasında 1.265'e düşmüştür (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. Yağış süresine bağlı olarak elde edilen güvenlik sayıları

Yağış Türü	Toplam Yağış Miktarı (mm) (%30 azaltılmış)	Yağış Yoğunluğu (mm/gün)	Analiz-Yağış Süresi (gün)	Yağış Öncesi Şevin Güvenlik Sayısı	Yağış Sonrası Şevin Güvenlik Sayısı
3 aylık maksimum yağış	387	4.3	90	1.801	1.265
Aylık maksimum yağış	211	7.03	30	1.801	1.665
Günlük maksimum yağış	48	48	3	1.801	1.674

Kısa süreli görece yoğun yağışta şev topuğuna yakın bölgede yeraltı su seviyesi yükselmiş ve bunun sonucunda muhtemel kayma yüzeylerini de içine alan bölgede matrik emme dikkate değer oranda azalmıştır. Bu sebeple yoğun fakat kısa süreli olan üç günlük yağış sonucunda güvenlik sayısında meydana gelen değişim, bir ay süreli yağışın meydana getirdiği değişim ile çok yakındır. Bu durum kısa süreli fakat yoğun yağışların etkisini göstermektedir.

4.1.3. Zemin Geçirimliliğinin Şev Stabilitesine Etkisi

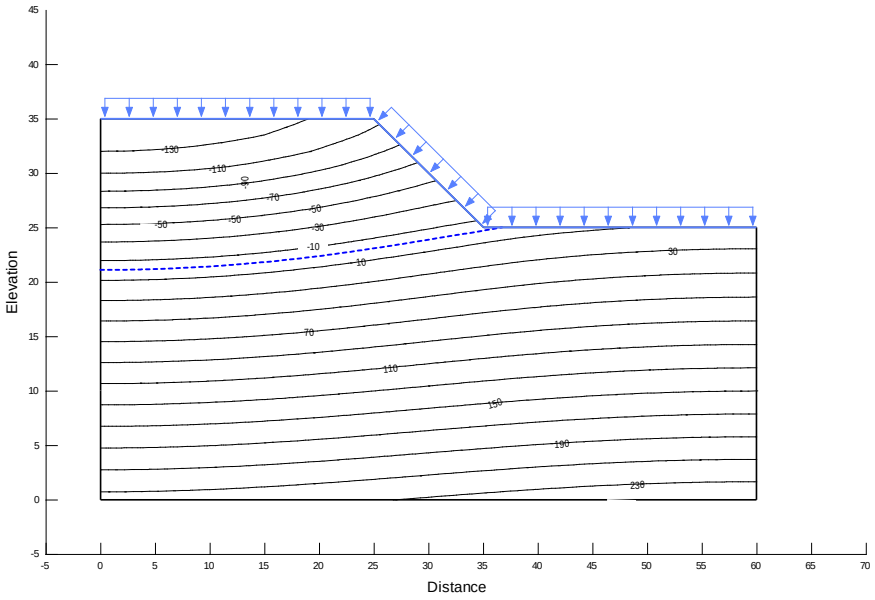
Zemin geçirimliliğinin yağış infiltrasyonuna ve buna bağlı olarak şev stabilitesine olan etkileri araştırılmıştır. Analizlerde farklı permeabilite katsayıları kullanılarak son dört yıla ait maksimum üç aylık yağış verisi %30 azaltılarak kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan permeabilite katsayıları ve yağış yoğunluğu ile süresi Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Zemin geçirimliliğinin etkisinin incelendiği analizlerde kullanılan yağış yoğunlukları

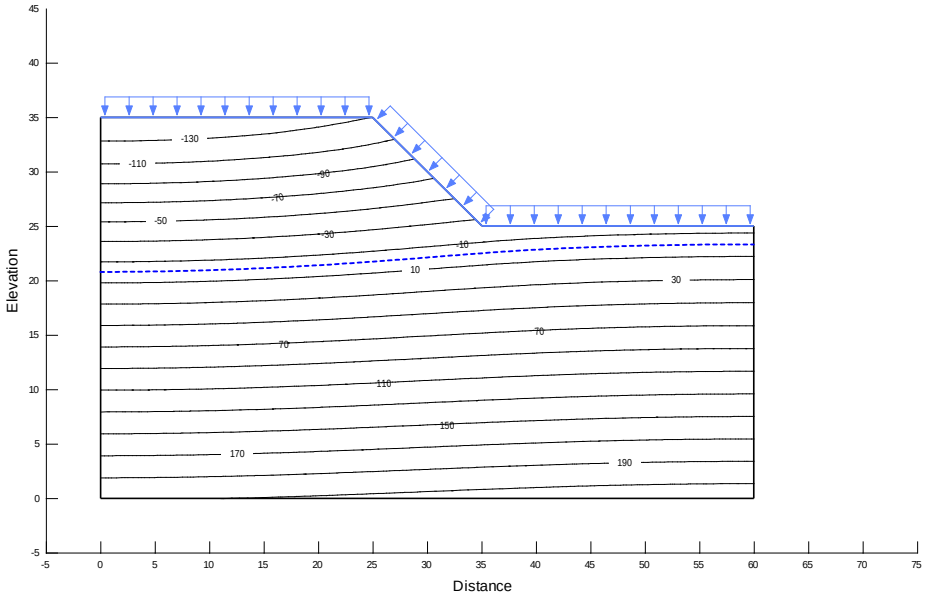
Zemin Geçirimliliği (m/sn)	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Yağış Yoğunluğu (m/sn)	Analiz-Yağış Süresi (gün)
$5x10^{-7}$	387	$4.97x10^{-8}$	90
10^{-6}	387	$4.97x10^{-8}$	90
$5x10^{-5}$	387	$4.97x10^{-8}$	90

Yeraltı su seviyesi tanımlanarak başlangıç koşulları steady state analizde oluşturulmuş ve buna bağlı olarak doygun olmayan zemin kayma direnci parametreleri ile şev stabilite analizleri yapılmıştır. Yağış öncesi şevin güvenlik sayısı 1.801 olarak elde edilmiştir.

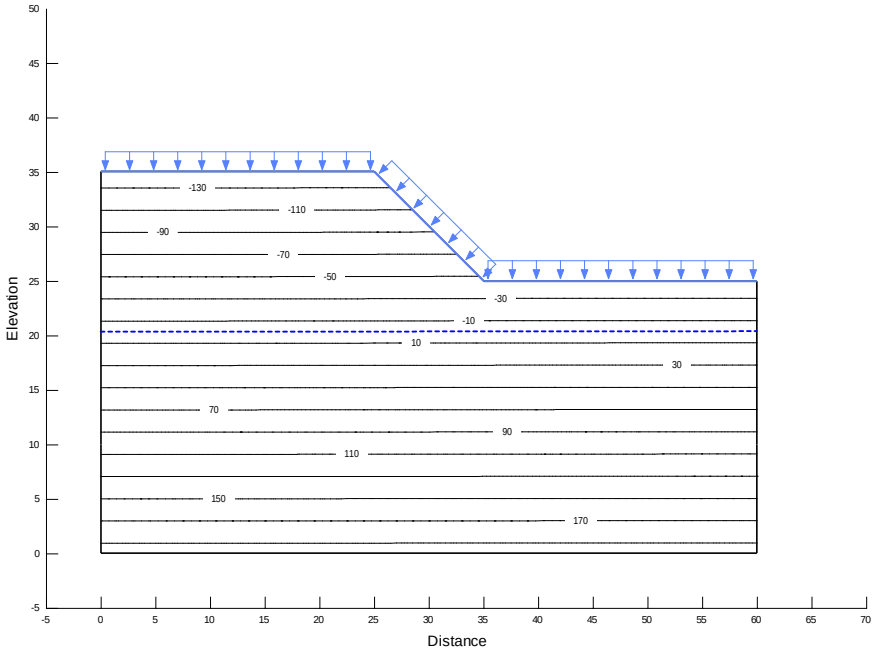
Yağış sonrasında geçirimliliğe bağlı olarak yeraltı su seviyesinde ve boşluk suyu basınçlarında meydana gelen değişimler sırasıyla Şekil 4.20., Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de görülmektedir.



Şekil 4.20. $5x10^{-7}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları

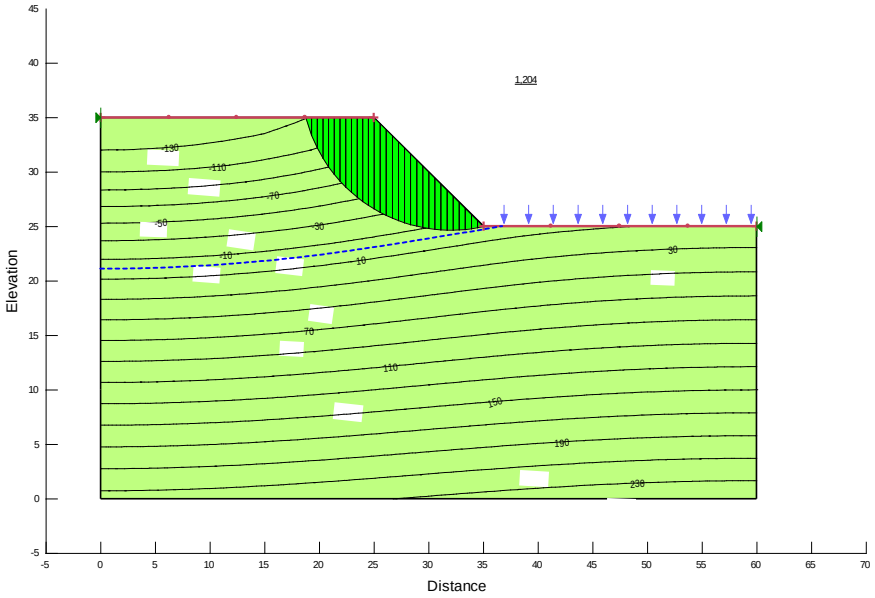


Şekil 4.21. 10^{-6} m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları

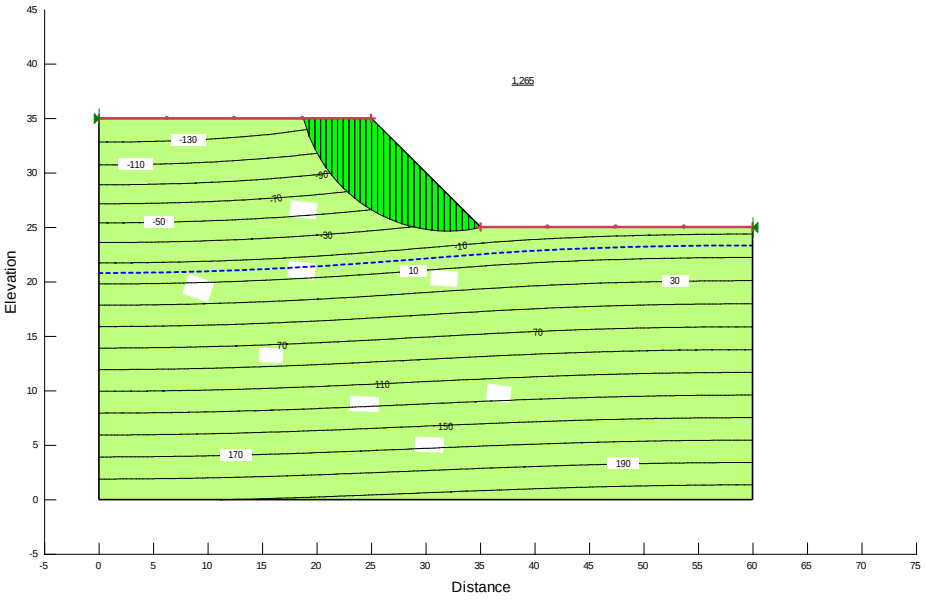


Şekil 4.22. $5x10^{-5}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları

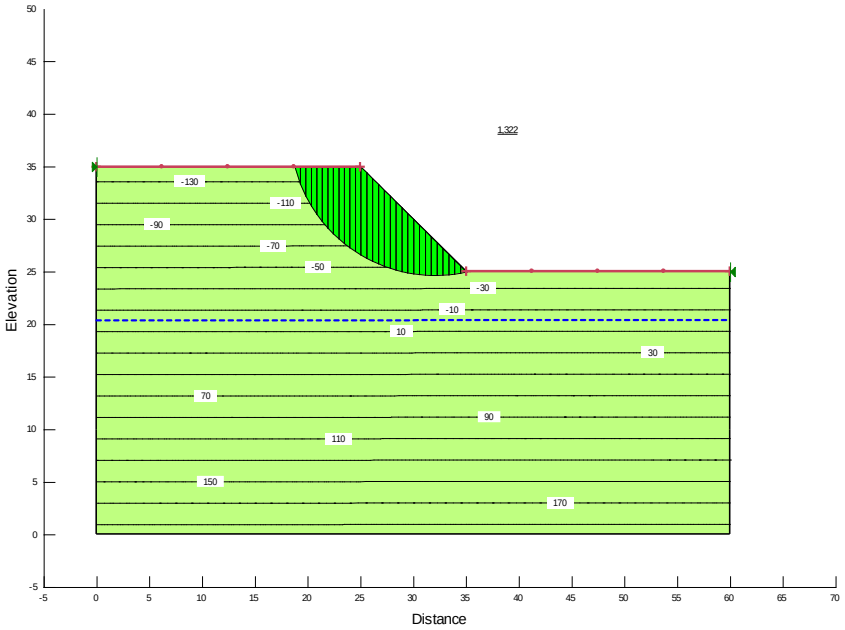
Yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları kullanılarak doygun olmayan zemin kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizleri sonucu elde edilen güvenlik sayıları sırasıyla Şekil 4.23., Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'te görülmektedir.



Şekil 4.23. 5x10^{-7} m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı



Şekil 4.24. 10^{-6} m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı

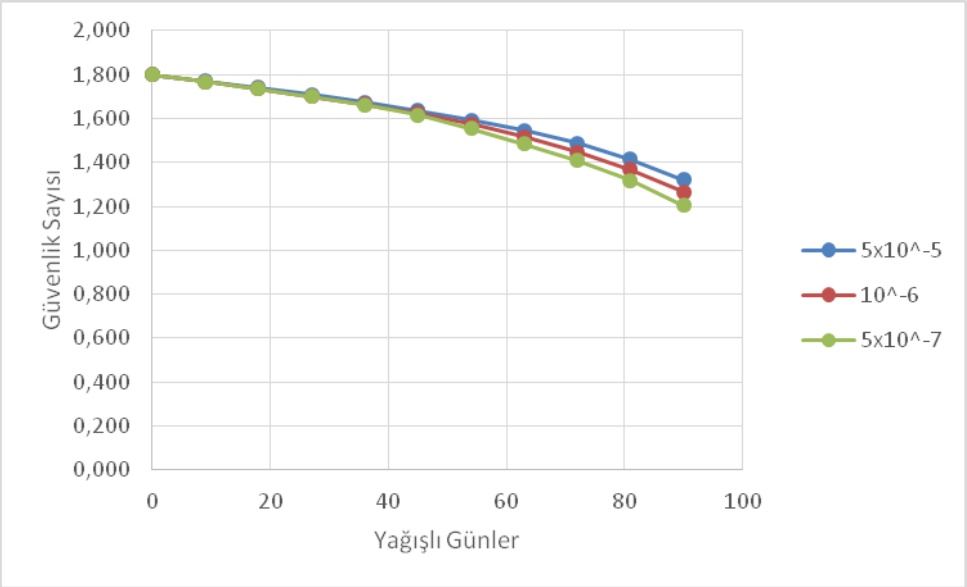


Şekil 4.25. $5x10^{-5}$ m/sn geçirimlilik için yağış sonrası güvenlik sayısı

Farklı geçirimlilikler için yağış öncesi ve sonrası güvenlik sayıları Çizelge 4.7.'de verilmekte ve geçirimlilik ile güvenlik sayısındaki ilişki zamana bağlı olarak Şekil 4.26'da görülmektedir.

Çizelge 4.7. Zemin geçirimliliğine bağlı yağış öncesi ve sonrası güvenlik sayıları

Zemin Geçirimliliği (m/sn)	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Yağış Öncesi Güvenlik Sayısı	Yağış Sonrası Güvenlik Sayısı
$5x10^{-7}$	387	1.801	1.322
10^{-6}	387	1.801	1.265
$5x10^{-5}$	387	1.801	1.204



Şekil 4.26. Zemin geçirimliliğine bağlı güvenlik sayılarının zamana bağlı değişimi

Zeminin permeabilitesi azaldıkça güvenlik sayısında da azalma meydana gelmiştir. Bu durum infiltrasyon ile drenaj arasındaki ilişki ile açıklanabilir. Geçirgenliği çok yüksek zeminlerde (örn. ks> 10^{-4} m/sn) infiltrasyonla eş zamanlı hızlı bir drenaj gerçekleşmekte ve bundan dolayı boşluk suyu basıncı yükselmemektedir. Bu durum güvenlik sayısının infiltrasyondan fazla etkilenmemesine sebep olmaktadır. Öte yandan geçirgenliği çok düşük (örn: ks<10^{-7} m/sn) olan zeminlerde infiltrasyon az miktarda gerçekleştiği için boşluk suyu basıncındaki değişim fazla olmamaktadır. Ara geçirgenliğe sahip zeminlerde (10^{-4} m/sn -10^{-7} m/sn) infiltrasyon drenaj dengesi önem kazanmaktadır. Bu aralıkta geçirgenlik düştükçe özellikle topuk bölgesinde boşluk suyu basıncı artmakta (yeraltı su seviyesi topuğa doğru kabarmaktadır) ve buna bağlı olarak güvenlik sayısı düşmektedir.

4.2. Yeraltı Su Seviyesi Değişiminin Şev Stabilitesine Etkisi

Yağışın meydana getirdiği en önemli etkilerden birisi de yeraltı su seviyesindeki değişimdir. Yağış sonrasında yeraltı su seviyesinde yükselme meydana gelebilir ve buna bağlı olarak zeminin negatif boşluk suyu basıncında (matrik emme) azalma meydana gelir ve zeminin yağış öncesinde sahip olduğu kayma mukavemeti azalır.

Çalışma kapsamında farklı yeraltı su seviyeleri için klasik zemin mekaniği ilkeleriyle ve doygun olmayan koşullarda şev stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan

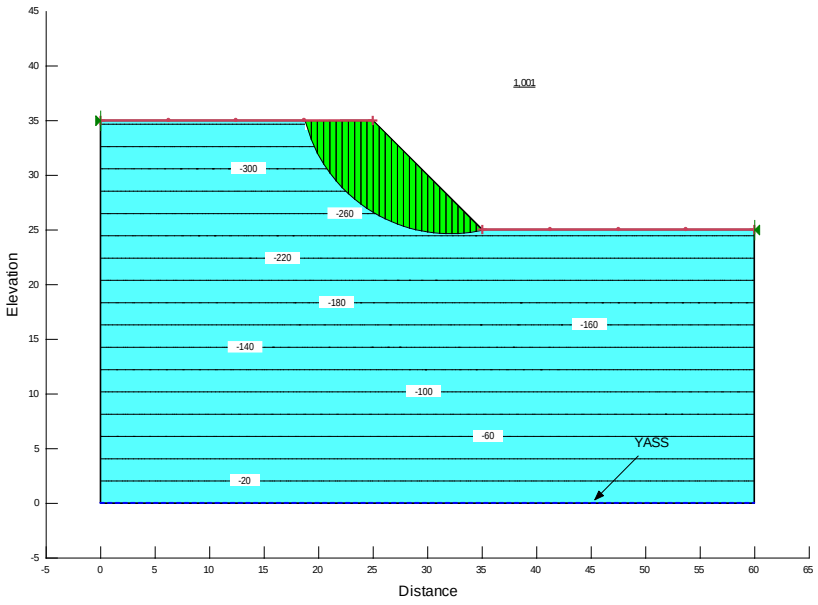
analizlerde yeraltı su seviyesi model geometrisinin en alt kotundan başlatılarak 2.5 metre arayla şevin en üst yüzeyine kadar farklı derinliklerde etkitilmiştir.

Analizlerde yeraltı su seviyesine bağlı olarak başlangıç koşulları steady-state analizde oluşturulmuştur. Daha sonra başlangıç koşulları kullanılarak uzun dönem (efektif kayma direnci parametreleri ile), kısa dönem (toplam kayma mukavemeti parametreleri ile) ve doygun olmayan koşullarda şev stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.8' de analizlerde kullanılan; incelenen zemine ait efektif, toplam ve doygun olmayan kayma direnci parametreleri görülmektedir.

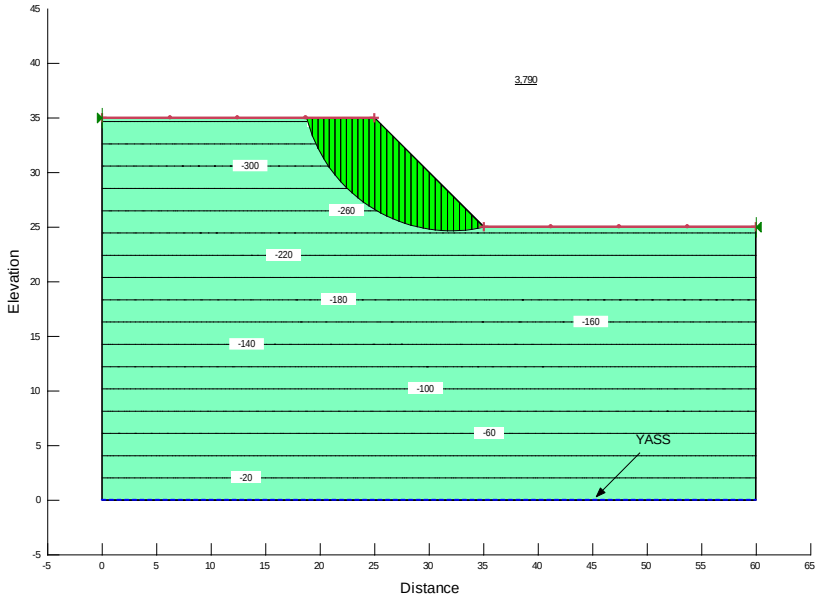
Çizelge 4.8. Zemine ait toplam ve efektif kayma direnci parametreleri

	Toplam Kohezyon,c (kPa)	**Toplam İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)**	**Efektif Kohezyon, c' (kPa)**	**Efektif İçsel Sürtünme Açısı, ϕ' (°)**	**ϕ_b (°)**
Kısa Dönem Kayma Direnci Parametreleri	66.87	12.4	-	-	-
Uzun Dönem Kayma Direnci Parametreleri	-	-	15	14	-
Doygun Olmayan Koşullardaki Zemine Ait Kayma Direnci Parametreleri	-	-	15	14	8,82

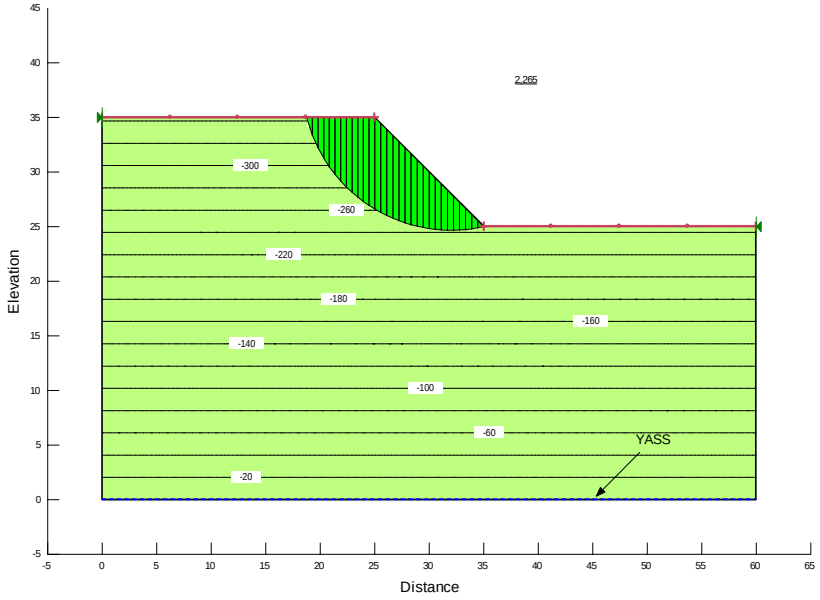
Yeraltı su seviyesi şevin tepe noktasından 35 metre derinlikte yani model geometrisinin en alt sınırında olduğu durumda yapılan şev stabilite analizlerinin sonuçları Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'te görülmektedir.



Şekil 4.27. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



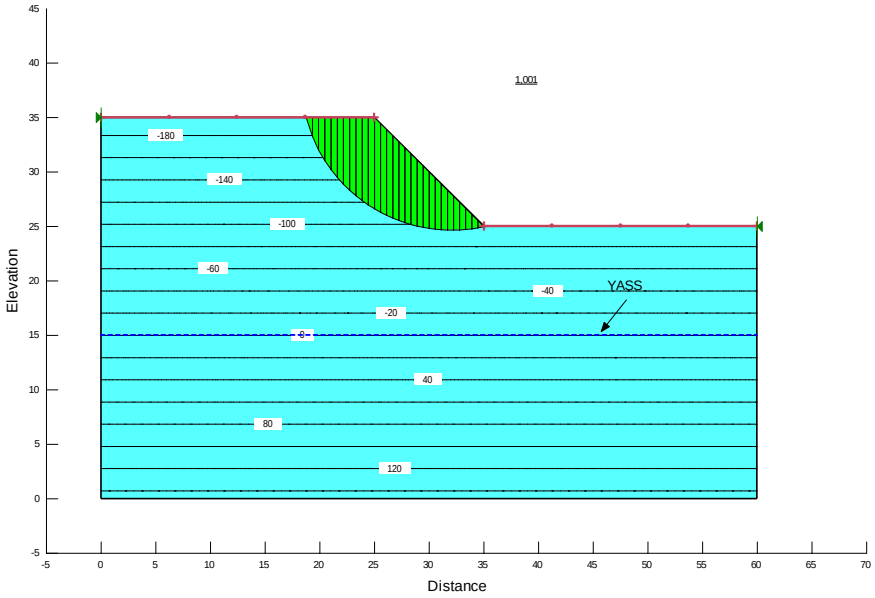
Şekil 4.28. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



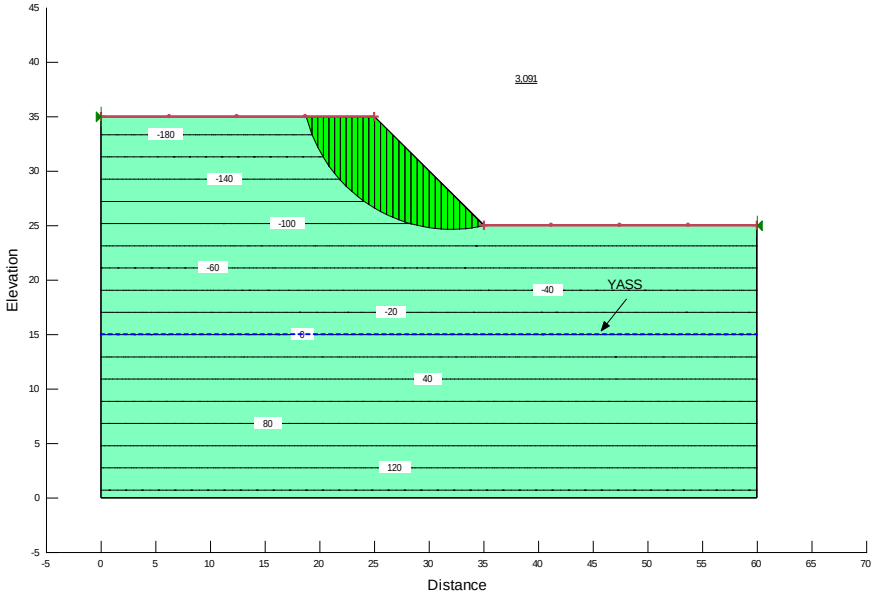
Şekil 4.29. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu

Analiz sonuçlarına göre şevin uzun dönem güvenlik sayısı 1.001 iken kısa dönem güvenlik sayısı 3.790 olarak bulunmuştur. Doygun olmayan koşullarda ise şevin güvenlik sayısı 2.265 olarak elde edilmiştir.

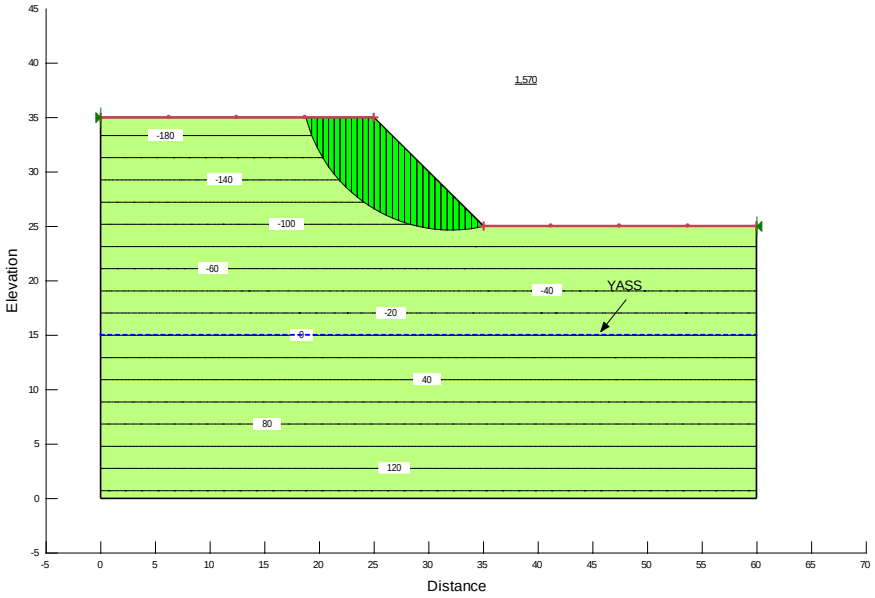
Yeraltı su seviyesinin şevin tepe noktasından 20 metre derinlikte olduğu durumda şev stabilite analiz sonuçları Şekil 4.30, Şekil 4.31, ve Şekil 4.32'de görülmektedir.



Şekil 4.30. Yeraltı su seviyesinin 20 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



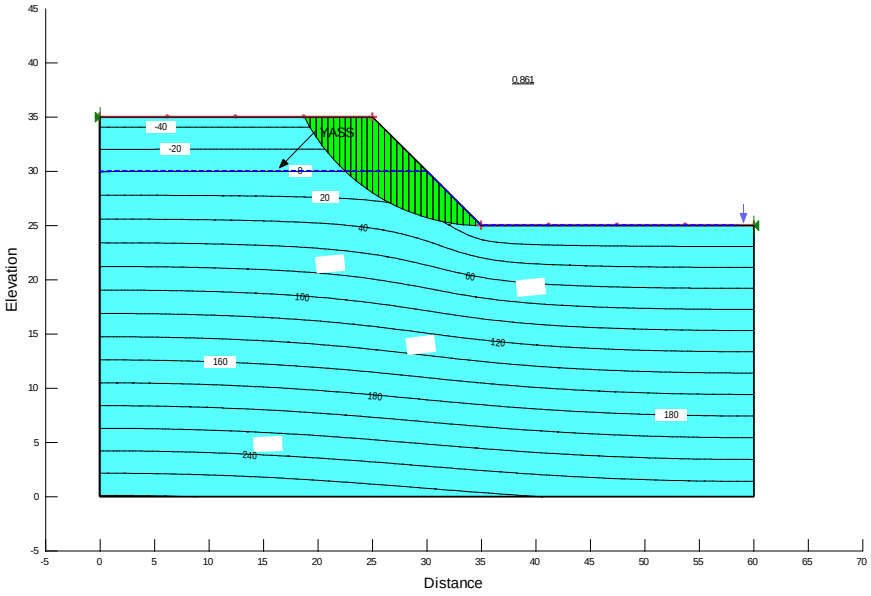
Şekil 4.31. Yeraltı su seviyesinin 20 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



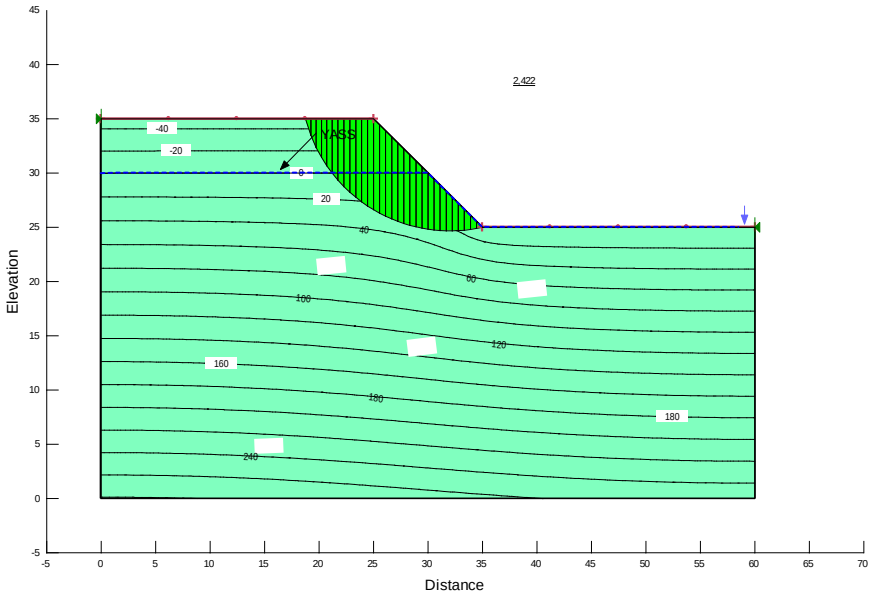
Şekil 4.32. Yeraltı su seviyesinin 35 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu

Yeraltı su seviyesi 20 metreye yükseldiğinde şeve ait kısa dönem güvenlik sayısı 3.081'e ve doygun olmayan koşullarda güvenlik sayısı 1.570'e düşerken uzun dönem güvenlik sayısı değişmemiştir.

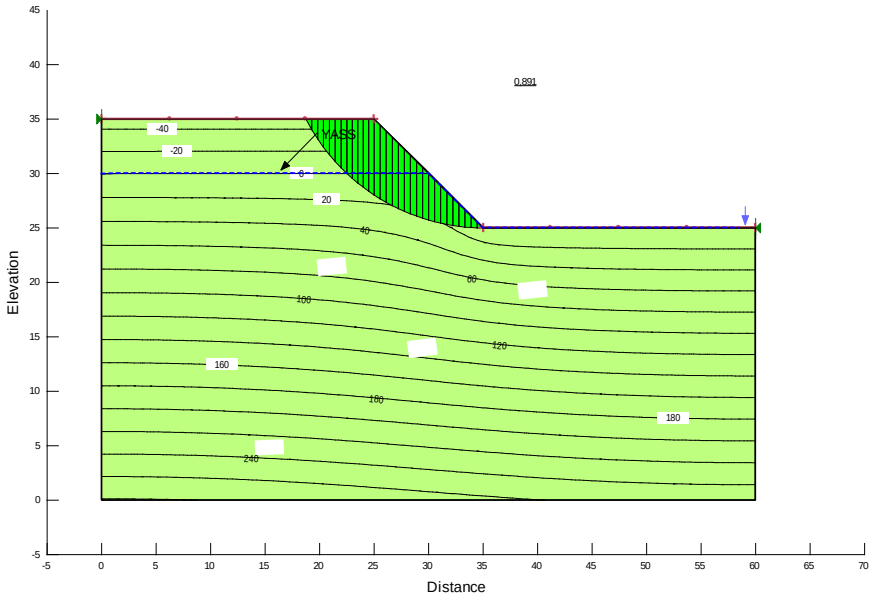
Yeraltı su seviyesinin şevin tepe yüzeyinden 5 metre derinlikte olduğu duruma ait şev stabilite analizlerinin sonuçları Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te görülmektedir.



Şekil 4.33. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda efektif kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



Şekil 4.34. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizlerinin sonucu



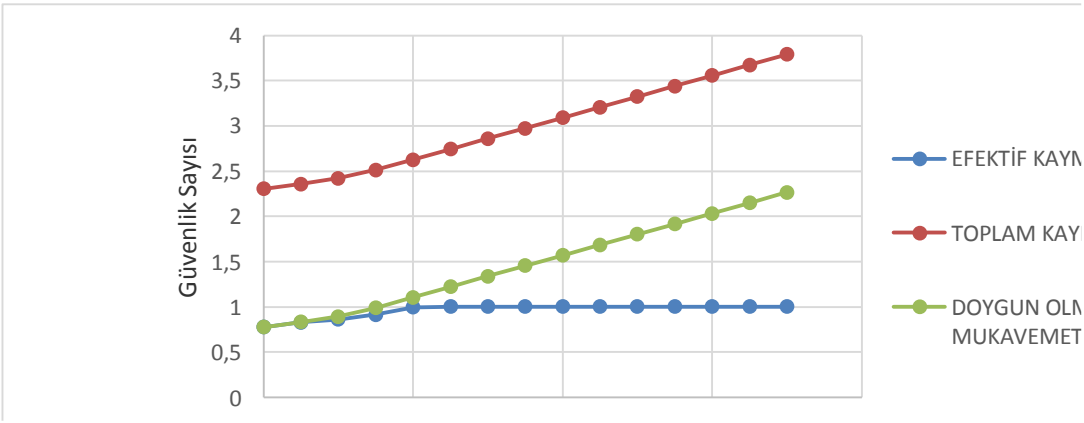
Şekil 4.35. Yeraltı su seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu durumda doygun olmayan kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizinin sonucu

Yeraltı su seviyesi 5 metre derinlikte iken kayma dairesi içerisinde bulunmaktadır. Bu durumda şevin efektif kayma direnci parametreleriyle yapılan güvenlik sayısı 0.861' e düşerken doygun olmayan koşullardaki güvenlik sayısı da bu değere yaklaşmıştır. Toplam kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı ise 2.422' dir.

Tüm yeraltı su seviyelerine bağlı güvenlik sayıları Çizelge 4.9 ve Şekil 4.36'da görülmektedir.

Çizelge 4.9. Farklı yeraltı su seviyeleri için güvenlik sayıları

YASS Seviyesi	Efektif Kayma Direnci Parametreleri ile Güvenlik Sayıları	Toplam Kayma Direnci Parametreleri ile Güvenlik Sayıları	Doygun Olmayan Kayma Direnci Parametreleri ile Güvenlik Sayıları
0	0,776	2,304	0,776
2,5	0,827	2,358	0,832
5	0,861	2,422	0,891
7,5	0,914	2,513	0,988
10	0,996	2,625	1,105
12,5	1,001	2,742	1,223
15	1,001	2,859	1,338
17,5	1,001	2,975	1,454
20	1,001	3,091	1,57
22,5	1,001	3,208	1,685
25	1,001	3,324	1,801
27,5	1,001	3,441	1,917
30	1,001	3,557	2,033
32,5	1,001	3,674	2,149
35	1,001	3,79	2,265



Şekil 4.36. YASS değişimi ile güvenlik sayılarının değişimi

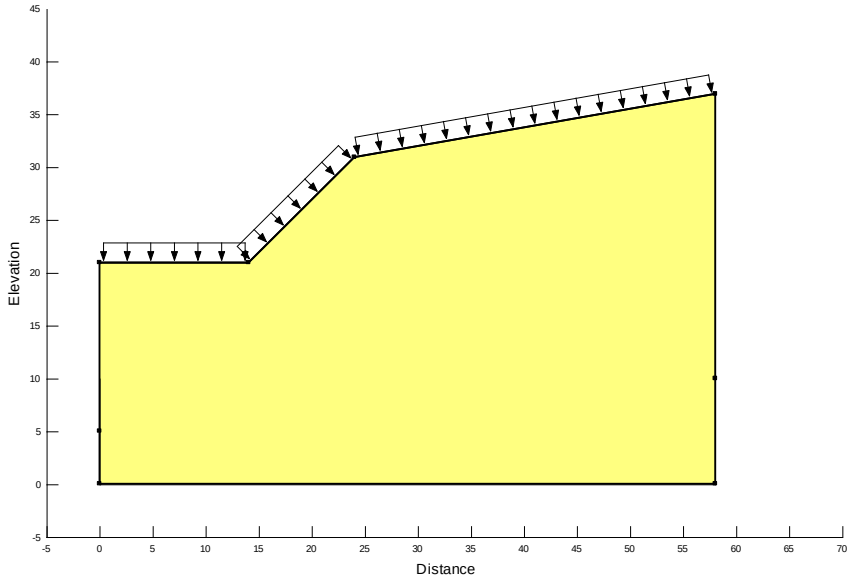
Analizlerden elde edilen sonuçlara göre efektif kayma direnci parametreleriyle yapılan analizlerde güvenlik sayısı sadece yeraltı su seviyesi şevin kayma dairesi içerisinde olduğu durumda değişmiştir. Bunun sebebi boşluk suyu basıncının kayma dairesindeki dilimlere olan etkisidir.

Doygun olmayan koşullarda yapılan analizlerde ise yeraltı su seviyesi yükseldikçe güvenlik sayısı dikkate değer oranda azalmıştır. Yeraltı su seviyesi kayma dairesi içerisindeyken güvenlik sayısı doygun duruma yaklaşmış ve şev tamamen yeraltı su seviyesi altındayken doygun durumdaki değere ulaşmıştır.

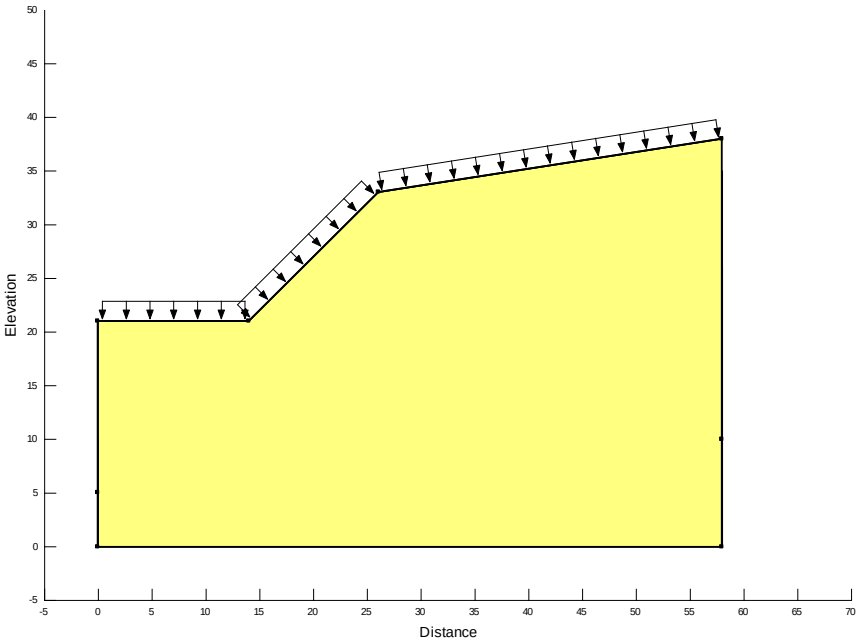
Yapılan analizlerde yeraltı su seviyesi değişiminin güvenlik sayısını en az etkilediği durum toplam kayma direnci parametreleri ile yapılan şev stabilite analizleridir. Şev tamamen yeraltı su seviyesinin altında kaldığında dahi güvenlik sayısı doygun duruma yaklaşmamaktadır.

4.3. Çalışma Alanında Yağış İnfiltrasyonu Etkisinde Örnek Bir Şev Stabilite Analizi

Çalışmanın bu bölümünde örnek bir şev modeli olarak, yağış infiltrasyonu etkisinde 45° eğime sahip 10 ve 12 m yükseklikteki iki adet şevin stabilite analizleri yapılmıştır. İncelenen alanda inşa edilen yol güzergahları boyunca farklı eğim ve yüksekliklere sahip şevler ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, alanda yapılan yol çalışmalarında, yağış etkisini de dikkate alan örnek bir çalışma olması açısından bu bölüm paylaşılmıştır. Analizlerde kullanılan model geometrileri Şekil 4.37. ve Şekil 4.38.'de görülmektedir.

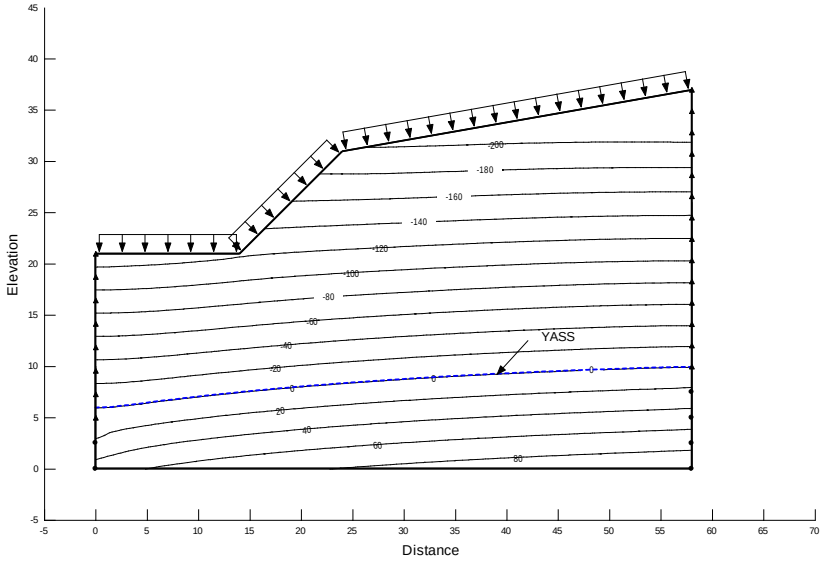


Şekil 4.37. 10 m yüksekliğe sahip şev geometrisi

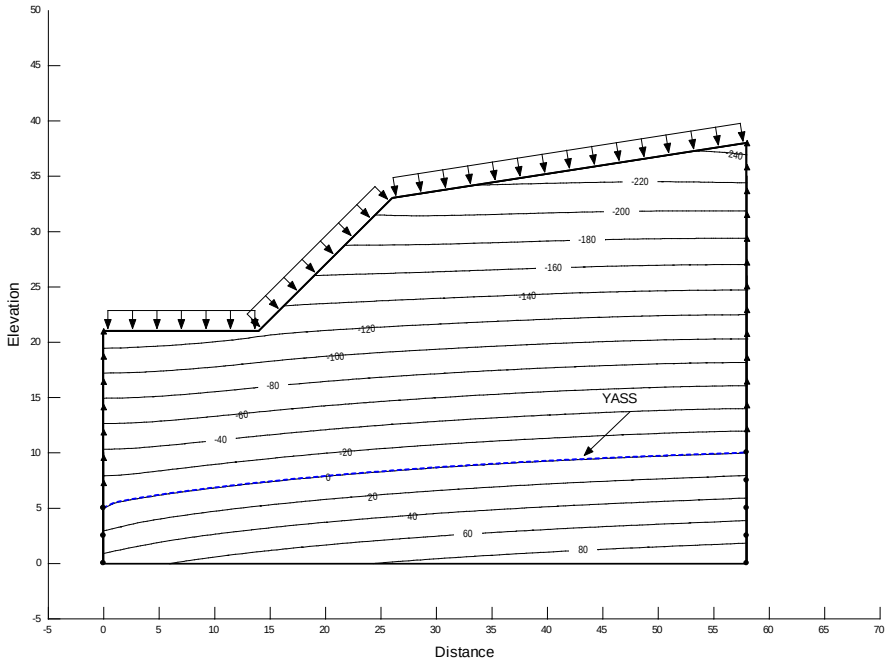


Şekil 4.38. 12 m yüksekliğe sahip şev geometrisi

Yeraltı su seviyesi ve yıllık yağışların ortalaması kullanılarak zeminin yağış öncesi sahip olduğu boşluk suyu basıncı dağılımları elde edilmiştir. Burada yıllık ortalama yağışın kullanılmasının amacı mevsimsel olarak yeraltı su seviyesinde meydana gelen değişimin dikkate alınmasını sağlamaktır. Başlangıç yeraltı su seviyesi şev topuğundan 17 metre derinlikte oluşturulmuş ve 821 mm olan yıllık ortalama yağış, yüzey akışı ve buharlaşma dikkate alınarak %30 oranında azaltılarak analizde kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.39. ve Şekil 4.40.'ta görülmektedir.

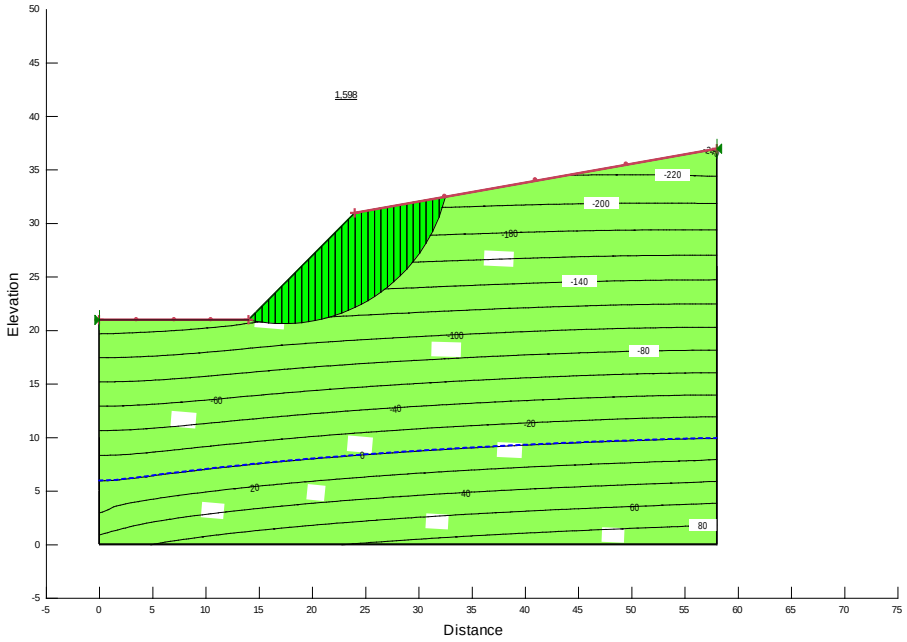


Şekil 4.39. 10 m yükseklikteki şevin başlangıç boşluk suyu basıncı durumu

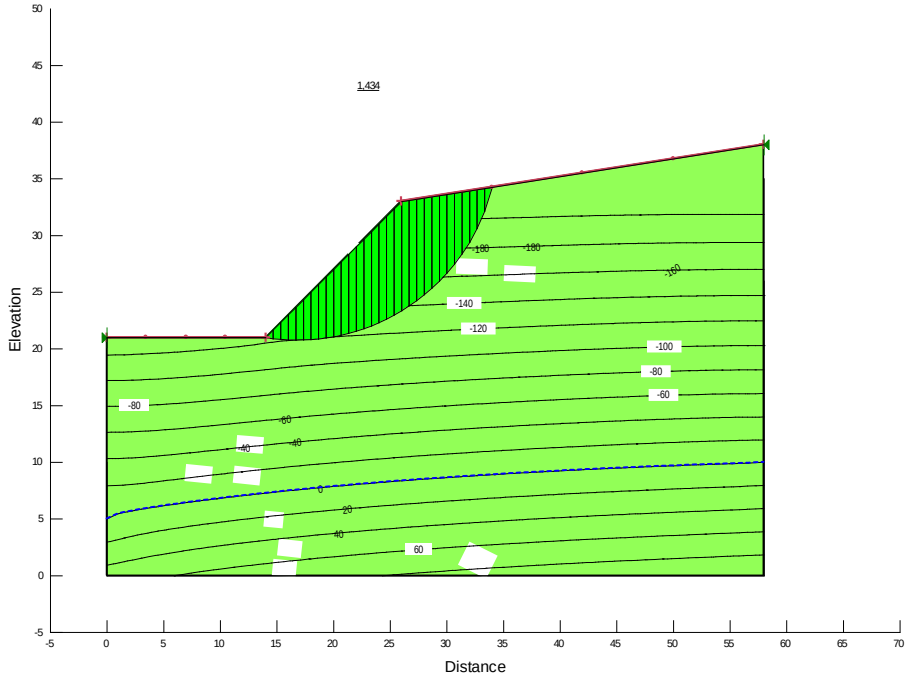


Şekil 4.40. 12 m yükseklikteki şevin başlangıç boşluk suyu basıncı durumu

Şevlerin yağış öncesi başlangıç koşulları kullanılarak stabilite analizleri yapılmıştır. Elde edilen güvenlik sayıları Şekil 4.41. ve Şekil 4.42.'de görülmektedir. 10 m yükseklikteki şevin başlangıç güvenlik sayısı 1.598, 12 m yüksekliğindeki şevin ise 1.434 olduğu görülmüştür.

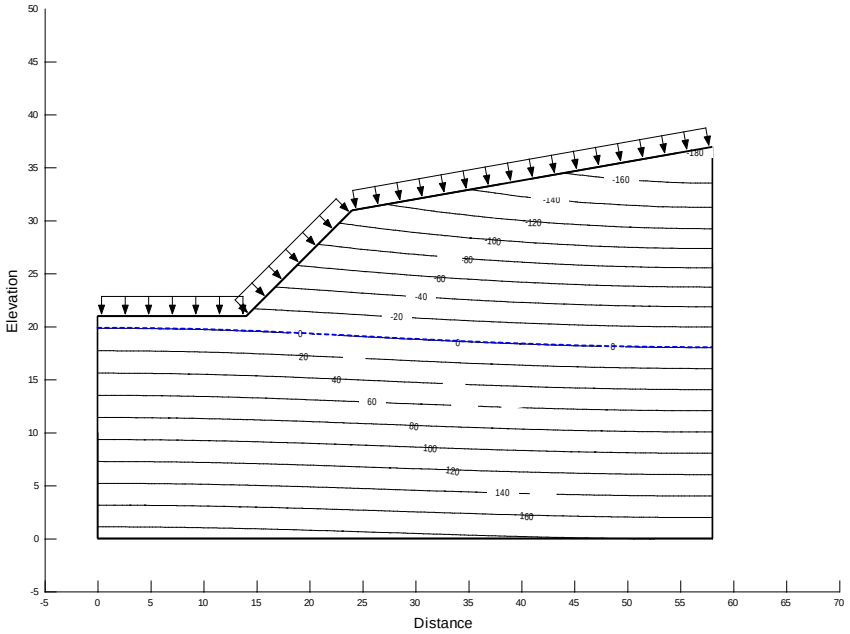


Şekil 4.41. 10 m yükseklikteki şevin başlangıç durumundaki güvenlik sayısı

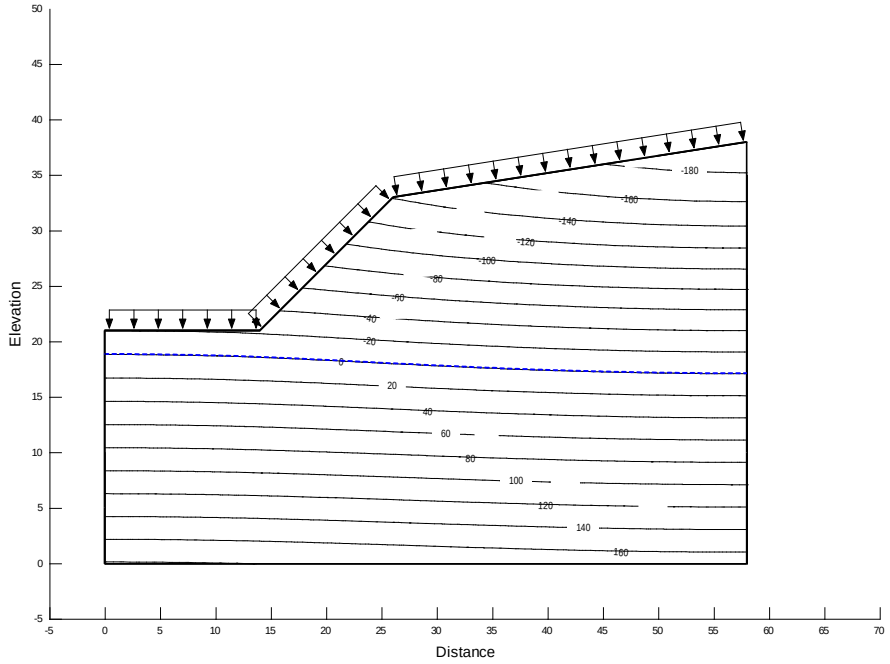


Şekil 4.42. 12 m yükseklikteki şevin başlangıç durumundaki güvenlik sayısı

Yağış öncesi durum oluşturulduktan sonra elde edilen boşluk suyu basınçları transient seepage analizde başlangıç koşulu olarak tanımlanmıştır. Transient seepage analizde yağışlı geçen üç aylık sezona ait ortalama yağış miktarı (465 mm) benzer şekilde %30 oranında azaltılıp yağış yoğunluğuna dönüştürülerek ($4.18x10^{-8}$ m/sn) tanımlanmıştır. Yağışlı sezon sonrasında zeminde meydana gelen boşluk suyu basınçları Şekil 4.43. ve Şekil 4.44.'te görülmektedir.

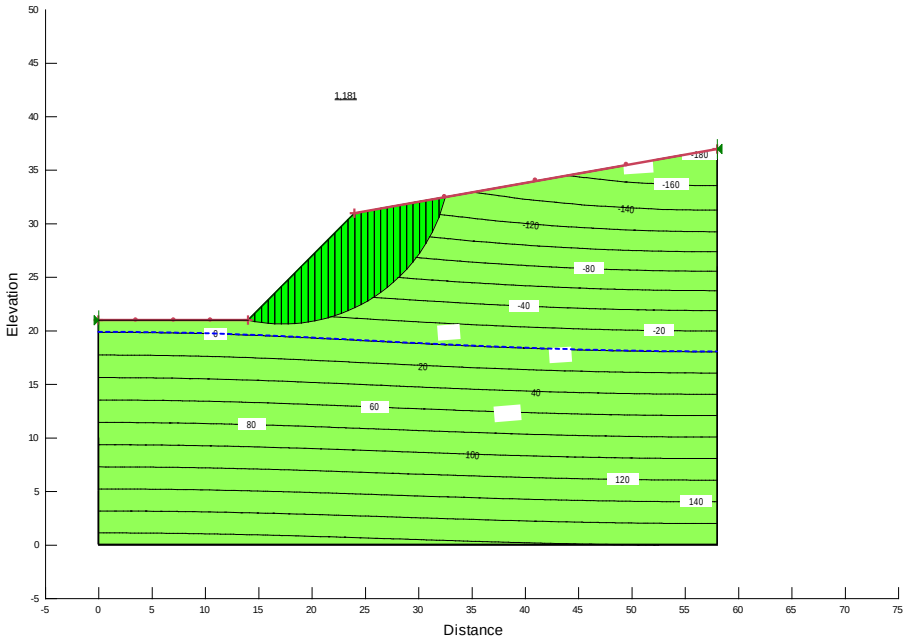


Şekil 4.43. 10 m şev için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları

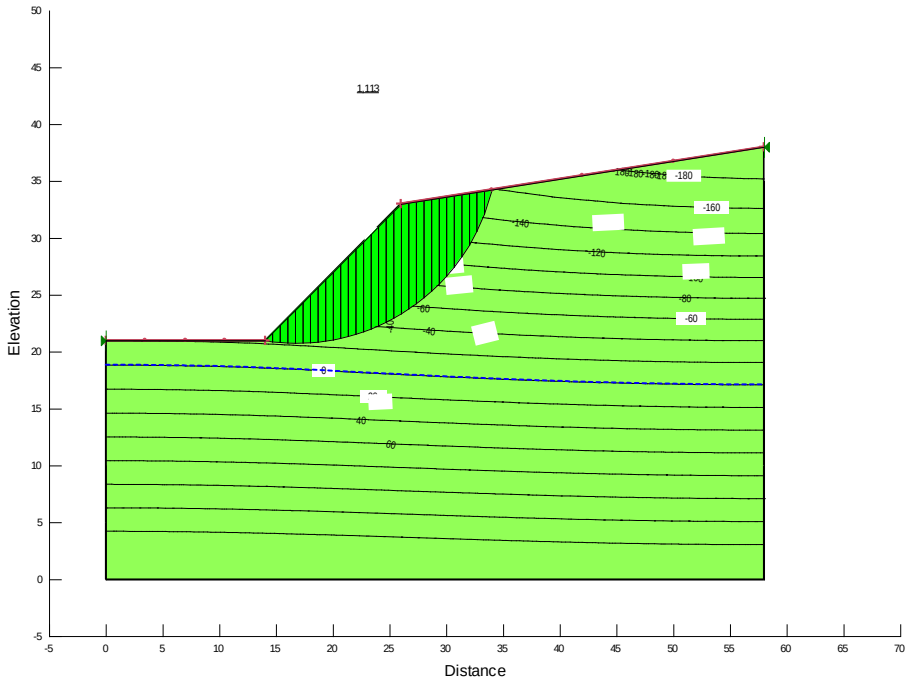


Şekil 4.44. 12 m şev için yağış sonrası boşluk suyu basıncı dağılımları

Yağış sonrası doygun olmayan zeminin şev stabilite analizleri elde edilen boşluk suyu basıncı dağılımları kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin sonucunda 10 m yükseklikteki şevin güvenlik sayısı 1.181'e düşerken; 12 m olan şevin güvenlik sayısı 1.113 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.45. ve Şekil 4.46.).

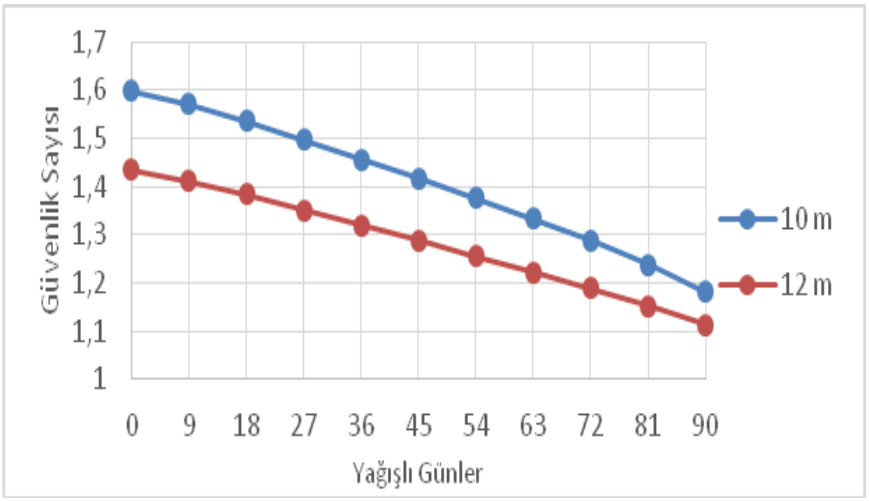


Şekil 4.45. 10 m yüksekliğindeki şevin yağış sonrası güvenlik sayısı



Şekil 4.46. 12 m yüksekliğindeki şevin yağış sonrası güvenlik sayısı

Yağış infiltrasyonu altında güvenlik sayısının zamana bağlı değişimi Şekil 4.47.'de görülmektedir.

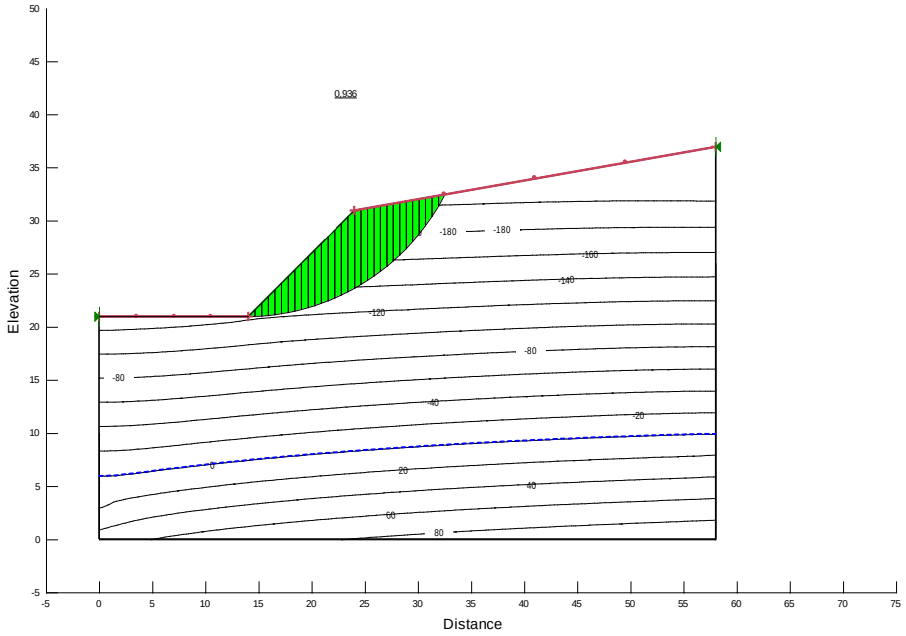


Şekil 4.47. Yağış infiltrasyonu etkisinde güvenlik sayısının zamana bağlı değişimi

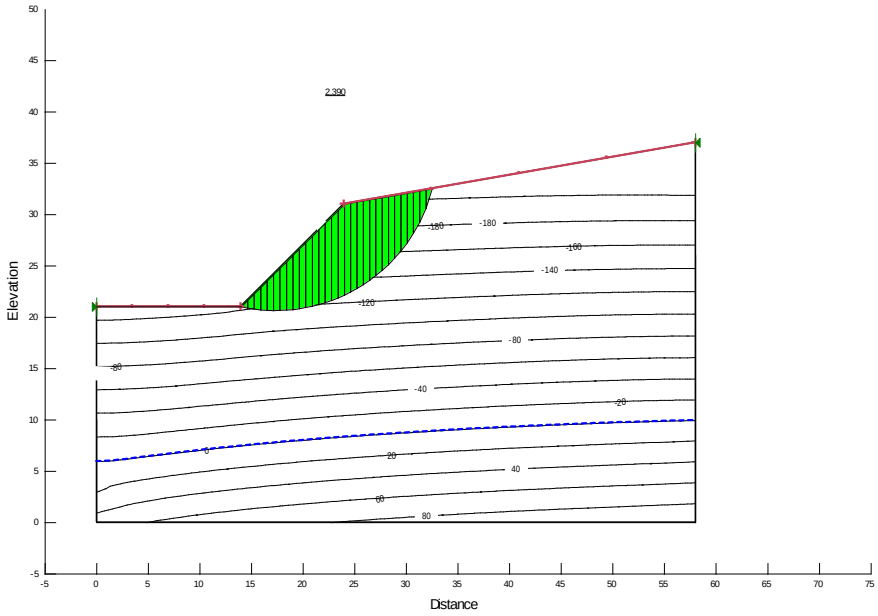
Yapılan analizler sonucunda şevlerin yağış sezonu öncesinde duraylı olduğu fakat yağışlı geçen üç aylık periyot sırasında şevlerde yeraltı su seviyesinin yükseldiği ve bu sebeple doygun olmayan zeminin kayma direncini kaybettiği ve şevlerin güvenlik

sayılarının dikkate değer oranda azaldığı görülmüştür. Bu durum yağış infiltrasyonunun şev stabilitesine olan etkisini göstermektedir.

Yağış öncesi zeminin sahip olduğu boşluk suyu basıncı dağılımları kullanılarak; toplam ve efektif kayma direnci parametreleri ile şev stabilite analizleri yapılmıştır. 10 m yükseklikteki şevin efektif kayma direnci parametreleri ile güvenlik sayısı 0.936 iken (Şekil 4.48); toplam kayma direnci parametreleri kullanılarak elde edilen güvenlik sayısı 2.390 ‘dır (Şekil 4.49).

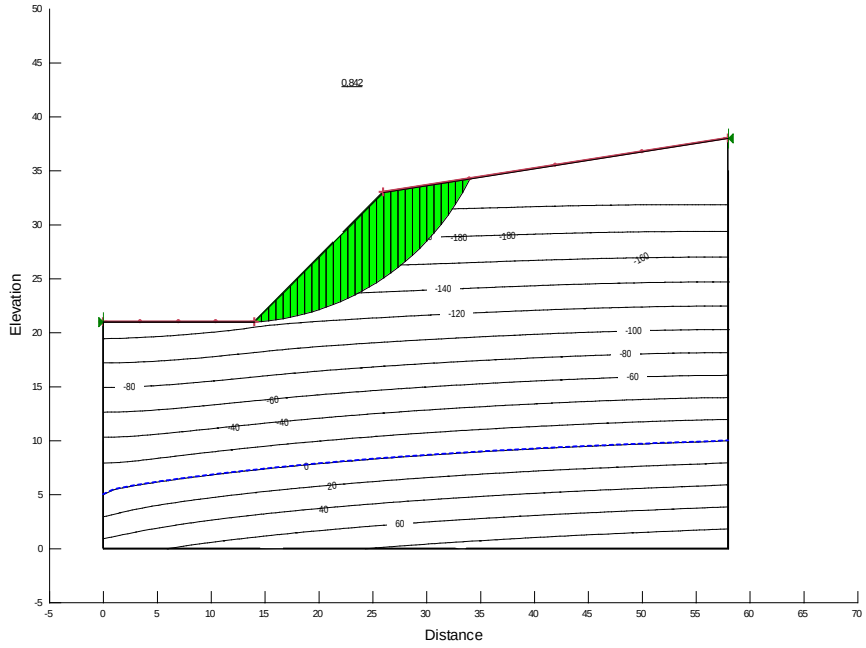


Şekil 4.48. 10 m yükseklikteki şevin efektif kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı

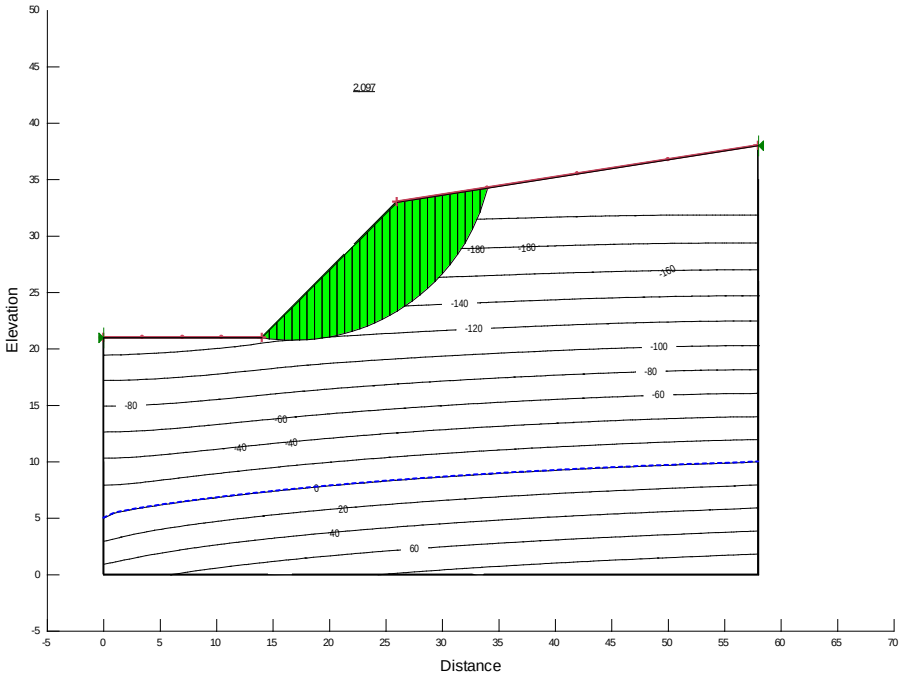


Şekil 4.49. 10 m yükseklikteki şevin toplam kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı

12 metre yükseklikteki şeve ait efektif kayma direnci parametreleri kullanılarak yapılan stabilite analizinde güvenlik sayısı 0.842 (Şekil 4.50.), toplam kayma direnci parametreleriyle yapılan stabilite analizinde ise güvenlik sayısı 2.097 (Şekil 4.51.) olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.50. 12 m yükseklikteki şevin efektif kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı



Şekil 4.51. 12 m yükseklikteki şevin toplam kayma direnci parametreleriyle elde edilen güvenlik sayısı

Elde edilen sonuçlara göre zeminin doygun olduğu kabulü en olumsuz fakat belki de hiçbir zaman gerçekleşmeyecek bir durumu yansıtırken; toplam gerilmelerle yapılan analizlerde kullanılan kayma direnci parametreleri ise sadece deney anında zeminin sahip olduğu nem içeriğine bağlı kayma mukavemetini yansıtmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışma kapsamında doygun olmayan ofiyolitli kil zeminde yağış infiltrasyonunun şev stabilitesine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle geçirimliliğin, permeabilitenin, yağış yağunluğu ve süresinin ve yeraltı su seviyesinin etkileri parametrik olarak incelenmiştir. Ayrıca klasik zemin mekaniği prensipleriyle de şevlerin kısa ve uzun dönem stabilite analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar doygun olmayan zeminlerin şev stabilite analizleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca örnek bir şev modeli olarak infiltrasyon etkisinde iki farklı yükseklikteki şev için stabilite analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar toplam ve efektif kayma direnci parametreleri kullanılarak yapılan şev stabilite sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar sırasıyla verilmektedir.

1. Yamaçlar ve insan eliyle kompaksiyon yöntemiyle oluşturulan şevlerin çoğu doygun olmayan koşullardadır. Doygun olmayan zeminlerde yağış oldukça etkili bir parametredir. Yapılan analizlere göre; yağış öncesi duraylı olan şevler yağış sonrasında mukavemetini kaybedip göçebilmektedir. Özellikle yağışın yoğun olduğu bölgelerde şev stabiliteleri araştırıldığında bu etkinin göz önüne alınması gereklidir.
2. Yağış yoğunluğunun şev stabilitesini etkilediği yapılan analizlerle gözlemlenmiştir. Yağış yoğunluğu ile güvenlik sayısı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu yapılan çalışmayla elde edilmiştir. Yağış yoğunluğu arttıkça, zemindeki negatif boşluk suyu basıncı nonlineer olarak azalmakta ve şevin güvenlik sayısı da benzer şekilde düşmektedir.
3. Yağış süresinin infiltrasyona ve buna bağlı olarak şev stabilitesine olan etkileri incelendiğinde, kısa süreli yoğun yağışların; uzun süreli fakat görece daha düşük yoğunluklu yağışlardan daha fazla etkili olduğu görülmüştür.
4. Zemin geçirimliliğinin yağış altındaki doygun olmayan zeminlerin şev stabilitesine olan etkisi incelendiğinde; yüksek geçirimliliğe sahip zeminlerde güvenlik sayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Düşük

geçirimliliğe sahip zeminlerde su drene olamadığından boşluk suyu basıncının daha fazla arttığı ve bu nedenle güvenlik sayılarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

5. Yağışın önemli sonuçlarından biri olan yeraltı su seviyesinin stabiliteye olan etkisi incelendiğinde; yeraltı su seviyesinin yükselmesinin doygun olmayan zeminin kayma mukavemetini dikkate değer bir şekilde azalttığı görülmüştür. Yeraltı su seviyesinin kayma dairesi içerisinde olduğu durumlarda; doygun olmayan zemin kayma direnci parametreleriyle bulunan güvenlik sayısının, efektif gerilmelerle elde edilen güvenlik sayısına yakınlaştığı ve yeraltı su seviyesinin şevin en üst yüzeyinde olması durumunda aynı değere ulaştığı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Literatürde inceleme alanının oluşum ortamına bağlı olarak hareketli ortamlar olması nedeniyle (bindirme kuşağı) bu bölgelerde kayma gerilmelerinin ve buna bağlı olarak kayma yüzeylerinin olduğu belirtilmektedir. Bu kayma yüzeyleri de fisürlü bir bünye oluşmasına neden olmaktadır. Fisürlü ortamların geçirgenlikleri ölçülürken gerek numune alma aşamasında gerekse deneye hazırlama aşamasında daha hassas bir çalışma ve belki de özel düzenekler kullanılmalıdır. Arazide geçirgenlik ölçümü çalışmalarında da benzer hassasiyet ve de özel ekipman kullanılarak zeminin geçirgenliğine yönelik daha hassas bir ölçümle çalışma derinleştirilebilir.

Çalışmada doygun olmayan ofiyolitli kil zeminin su muhtevasına bağlı kayma mukavemeti değişimi lineer sınırlar içerisinde değerlendirilmiş ve matrik emmeye bağlı kayma mukavemeti artış miktarını gösteren açı sabit kabul edilmiştir. Yapılan analizler su muhtevasının bu açıda meydana getirdiği değişimler dikkate alınarak tekrar yapılabilir.

Çalışmada zemin, izotropik kabul edilerek iki doğrultuda da geçirimliliği eşit olarak değerlendirilmiştir. Yapılacak çalışmalarda anizotropi etkisi dikkate alınarak geçirimliliğin etkisi incelenebilir.

Çalışma alanında tensiometre kullanılarak zeminin başlangıç, yağış esnasında ve sonrasındaki matrik emme değişimi sahada ölçülerek, yapılacak analizlerle kıyaslanabilir.

6. KAYNAKLAR

Abramento, M. ve Carvalho, C.S. 1989. Geoetechnical Parameters for the Study of Natural Slopes Instabilization at Serra do Mar-Brazilian Southeast. Proceedings of the Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engg., Rio de Janerio, Cilt 3, S, 1599-1602.

ASTM D5298-94. 1998. Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, American Society of Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, 156 – 161.

Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, ***Tectonics***, 7 (3): 663-684.

Barka, A., Reilinger, R. 1997. Active tectonics of the eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, ***Annali di Geofisica***, 11 (3): 587-610.

Bishop, A.W. 1959. The Principle of Effective Stress, ***Teknisk Ukeblad***, 106 (39): 859-863.

Brand, E. W. 1984. Landslides in south Asia: A state-of-art report. Proc. 4th Int. Sym. on Landslides, Toronto, Cilt. 1, S, 17-59.

Bulut, R., Park, S.W., ve Lytton, R.L. 2000. Comparison of Total Suction Values from Psychrometer and Filter Paper. Rahardjo, Toll & Leong eds. Unsaturated Soils for Asia. pp. 269– 273.

Campbell, R. H. 1975. Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. ***U.S. Geological Survey Professional Paper,*** 851:51.

Cho, S.E. 2009. Infiltration analysis to evaluate the surficial stability of two-layered slopes considering rainfall characteristics. ***Engineering Geology,*** 105 :32–43

Cho, S.E., Lee, S.R., 2002. Evaluation of surficial stability for homogeneous slopes considering rainfall characteristics. ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,*** 128 (9):756–763.

Croney, D., Coleman, J. D., Black, W. P. M. 1958. Movement and Distribution of Water in Soil in Relation to Highway Design and Performance, ***Water and Its Conduction in Soils,*** 40:226-252.

Croney, D., Coleman, J.D. 1961. Pore Pressure and Suction in Soil, Conference on Pore Pressure and Suction in Soils, Londra, S, 31-37.

Çetin, H., Güneyli, H., Mayer, L. 2003. Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, ***Tectonophysics***, 374: 163-197.

Davies, J. T., ve Rideal, E. K. 1963. Interfacial Phenomena, 2nd ed, New York: Academic Press, 480.

Dewey, J.F. 1976. Seismicity of northern Anatolia, ***Bulletin of the Seismological Society of America***, 66: 843-868.

Edlefsen, N. E., Anderson, A. B. C.1943, Thermodynamics of Soil Moisture, ***Hilgardia***, 15: 31-298 .

Escario, V. ve Saez, J. 1986. The Shear Strength of Partly Saturated Soils, ***Geotechnique***, 36(3):453-456.

Espinoza, R.D. 1999. Infiltration. The handbook of groundwater engineering. CRC Press LLC.

Fisher, R. V. 1971. Features of coarse-grained, high concentrations fluids and their deposits. ***Journal of Sedimentary Petrology,*** 41: 916-927.

Fredlund, D.G. 1996. The Emergence of Unsaturated Soil Mechanics. The Fourth Spencer J. Buchanan Lecture, College Station, A&M University Press, Sayfa 39. Texas.

Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R. 1977.Stress State Variables for Unsaturated Soils, ***Journal of the Geotechnical Engineering Division/ASCE***, 103(GT5):447-466.

Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R ve Widger R.A.. 1978. Shear Strength of Unsaturated Soils, ***Canadian Geotechnical Journal***, 15(3): 313-321.

Fredlund, D.G. ve Rahardjo, H. 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley & Sons, Inc. Sayfa: 507. USA.

Fredlund, D.G., Rahardjo H. ve Gan, J.1987. Nonlinearity of Strength Envelope for Unsaturated Soils, Proceedings of the Sixth Int. Conf. Expansive Soils, New Delhi, Cilt 1, S, 49-54.

Fredlund, D.G., Xing, A. 1994. Equations for Soil-Water Characteristic Curve, ***Canadian Geotechnical Journal***, 31(3):521-532.

Gan, J. K. M, Fredlund D. G. ve Rahardjo, H. 1988. Determination of the Shear Strength Parameters of an Unsaturated Soil Using the Direct Shear Test, ***Canadian Geotechnical Journal***, 25: 500-510.

Gasmo, J. M., Rahardjo, H., Leong, E. C. 2000. Infiltration effects on stability of a residual soil slope. ***Computers and Geotechnics***, 26:145-165.

Gavin, K. ve Xue, J. 2008. A simple method to analyze infiltration into unsaturated soil slopes, ***Computers and Geotechnics,*** 35: 223–230.

Gökoğlu, Ö. 2015. Doygun Olmayan Zeminlerde Şev Stabilite Analizi.Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.109.

Göncüoğlu, M. C., Turhan, N.1992. Türkiye Jeoloji Haritaları serisi No:38, MTA. Sayfa 15.Ankara.

Green, W.H., Ampt, G.A. 1911. Studies of soil physics I. The flow of air and water through soils. ***Journal of Agriculture Science,*** 4: 1–24.

Guan, G.S., Rahardjo, H., Choon, L.E. 2010. Shear Strength Equations for Unsaturated Soil Under Drying and Wetting, ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,*** 136(4): 594-606.

Hempton, M.R. 1982. The North Anatolian fault and complexities of continental escape, ***Journal of Structural Geology***, 4: 502-504.

Hutchinson, J. N. and Bhandari, R. K. 1971. Undrained loading, a fundamental mechanism of mudflows and other mass movements. ***Geotechnique***, 21: 353-358.

Istok, J. O. ve Harward, M. E. 1983. Clay mineralogy in relation to landscape instability in the Cost Range of Oregon. ***Soil Science Society of America Journal*** 46: 1326-1331.

Ketin, I. 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. ***Geologische Rundschau***, 36: 77-83.

Kim, J., Park, S. and Jeong, S. 2006. Effect of Wetting Front Suction Loss on Stability of Unsaturated Soil Slopes. Unsaturated Soils, ***Seepage and Enviromental Geotechnics/ASCE***, 148: 70-77.

Lee, I. M., Sung, S. G., Cho, G. C. 2005. Effect of stress state on the unsaturated shear strength of a weathered granite, ***Canadian Geotechnical Journal***, 42: 624–631.

Leong, E.C., Rahardjo, H. 1997. Permeability functions for Unsaturated Soils, ***Journal of the Geotechnical Engineering Division/ASCE***, 123(12): 1118-1126.

Leong, E.C., He L., Rahardjo, H. 2002. Factors Affecting the Filter Paper Method for Total and Matric Suction Measurements. ***J. Geotechnical Testing***, Vol:25(3)

Lumb, P. 1975. Slope failures in Hong-Kong. ***Quarterly Journal of Engineering Geology,*** 8: 31–65.

McKenzie, D.P. 1972. Active tectonics of Mediterranean region, ***Geophys. J. R. Astr. Soc***., 30: 109-185.

MTA.1992. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:38, Ankara.

Ng, C. W. W. ve Shi, Q. 1998. A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage. ***Computers and Geotechnics***, 22(1): 1-28.

Oh, S., Lu, N. 2015. Slope Stability Analysis under Unsaturated Conditions: Case Studies of Rainfall-Induced Failure of Cut Slopes, ***Engineering Geology,*** 184: 96-103

Oh, W.T., Vanapalli, S. K.2010. Influence of rain infiltration on the stability of compacted soil slopes. **Computers and Geotechnics**, 37: 649-657.

Önalp, A. ve Arel, E. 2013. Geoteknik Bilgisi I Zeminler Mekaniği, Birsen Yayınevi, 461, İstanbul.

Pradel, D. ve Raad, G. 1993. Effect of Permeability on Surficial Stability of Homogeneous Slopes. ***Journal of Geotechnical Engineering*****/ASCE**, 119(2): 315-332.

Rassam, D. W., Williams, D. J. 1999. A relationship describing the shear strength of unsaturated soil, ***Canadian Geotechnical Journal***, 36: 363–368.

Richards, B.G. 1965. Measurement of the Free Energy of Soil Moisture by the Psychrometric Technique Using Thermistors, in Moisutre Equilibria and Moisture Changes in Soils Beneath Covered Areas, A Symp. in Print, Australia: Butterworths, S, 35-46.

Rozo, C. Q. ***Collaborative Management of Integrated Watersheds***, 405-414.

Russam , K. 1958. An Investigation into the Soil Moisture Conditions Under Roads in Trinidad, B.W.I.", ***Geotechnique***, 8: 55-71.

Schwab, G.O., Fangmeier, D.D, Elliot, W.J., Frevert, R.K. 1993. Other factors. Soil and Water Conservation Engineering. 51.

Scott, R. C. 1972. The geomorphic significance of debris avalanching in the Appalachian Blue Ridge Mountains. Doktora Tezi, University of Georgia, Athena. 124.

Seepage Modelling with SEEP/W. 2012. GEOSLOPE

Skaggs, R. W. 1980. Methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables. Drainmod Reference Report.

Sposito, G. 1981. The Thermodynamics of Soil Solutions. Oxford Clarendon Press, Sayfa: 223. Londra.

Stability Modelling with SLOPE/W. 2012. GEOSLOPE

Swanston, D. N. 1974. Slope stability problems associated with timber harvesting in mountainous regions of the western United States. ***U.S. Department of Agriculture Forest Service General Technical Report PNW-21,*** Portland, Oregon, 14.

Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance: ***Jour. Geol. Soc. London***, 136: 269-282.

Şengör, A.M.C., Canitez, N. 1982. The North Anatolian fault. In: Berckhemer, H., Hsul, K. (Eds.), Alpine and Mediterranean Geodynamics, ***American Geophysical Union, Geodynamics Series***, 7: 205- 216.

Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F.1985. Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-Slip Faulting and Basin Formation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, 227-264

Tekinsoy, M.A. 2002. Doymamış Zeminlerin İndeks ve Hidrolik Özellikleri, S.D.Ü. Basımevi, Isparta, 797.

Terzaghi, K. 1936. The Shear Resistance of Saturated Soils. Proceedings of the First Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg, Cambridge, Cilt 1, 54-56.

Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., Pufahl, D.E. ve Clifton, A.W. 1996. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction, ***Canadian Geotechnical Journal***, Vol. 33: 379-392.

Van Genuchten, M. T. 1980. A closed form equation for predicting the water permeability of unsaturated soils. ***Soil Sci. Soc. Am. J.*** Vol. 44: 892–898.

Williams, J.R., Ouyang Y, Chen J.S.1998. Estimation of infiltration rate in vadose zone: application of selected mathematical models. ***United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-97/128b***, Vol. II.

Williams, G. P. ve Guy, H. P. 1973. Erosional and depositional aspects of Hurricane Camille in Virginia, 1969. ***U.S. Geological Survey Professional Paper,*** 804: 80.

EK LİSTESİ

EK1: MUŞ-İ33 Paftası Jeoloji Haritası

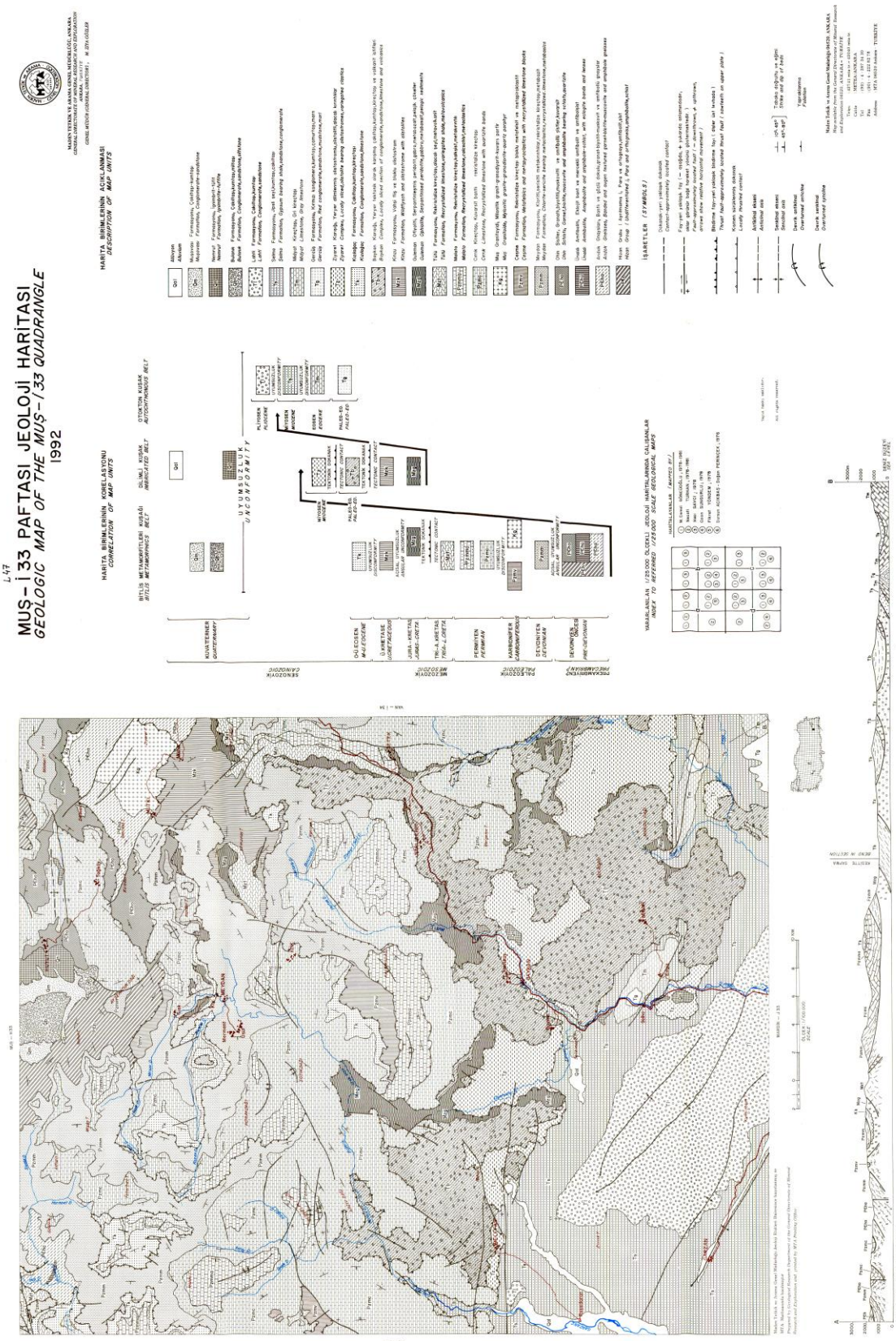
EK2: Yıkamalı Elek Analizleri, Hidrometre Deneyleri, Likit Limit ve Plastik Limit Deneyleri ile Özgül Ağırlık Deneylerinin Sonuçları

EK3: Basınçlı Su Testi Arazi Deneylerinin Sonuçları

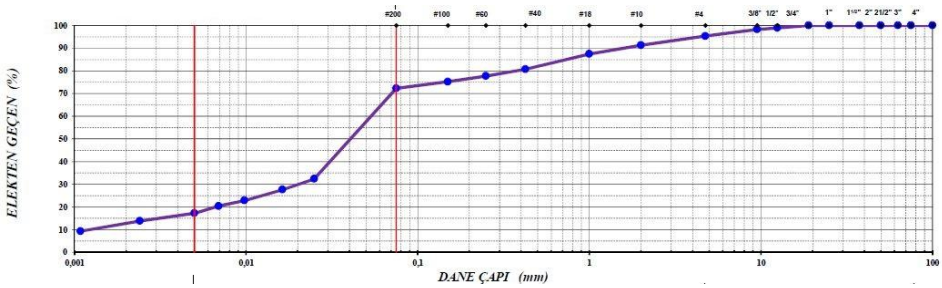
EK4: Konsolidasyonsuz-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) ile Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (CU) Sonuçları

EK5: Günlük Toplam Yağış Miktarları

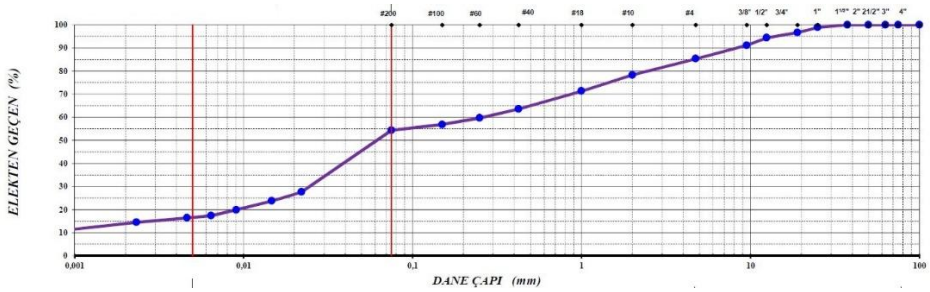
EK1: MUŞ-İ33 Paftası Jeoloji Haritası



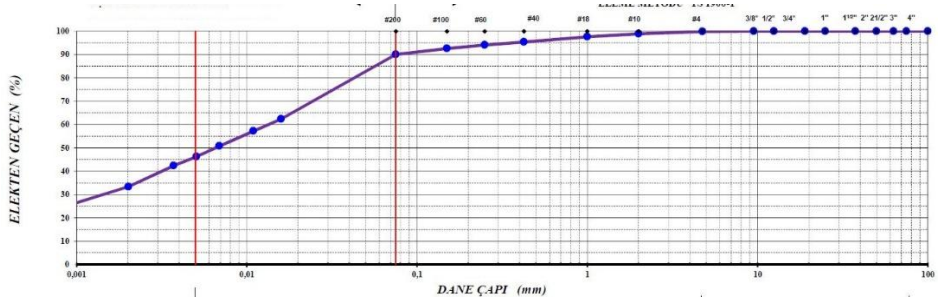
EK2: Yıkamalı Elek Analizleri, Hidrometre Deneyleri, Likit Limit Deneyleri ve Plastik Limit Deneyleri ile Özgül Ağırlık Deneylerinin Sonuçları



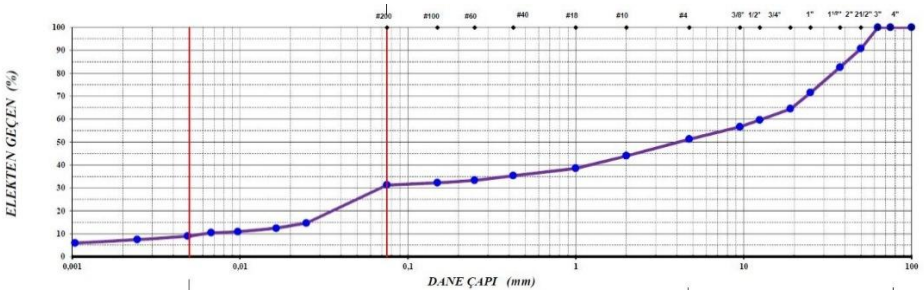
CL zemine ait dane çapı dağılım eğrisi



CL-ML zemine ait dane çapı dağılım eğrisi



CH zemine ait ait dane çapı dağılım eğrisi



GC zemine ait ait dane çapı dağılım eğrisi

Numunelere ait LL, PL ve PI değerleri

Zemin Türü	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
CL	33,11	19,87	13,24
CL-ML	22,62	15,74	6,88
CH	62,15	26,51	35,64
GC	26,47	16,91	9,56

Numunelere ait özgül ağırlık deneyi sonuçları

Zemin Türü	ρl	ρw	M_1	M_2	M_3	M_4	Gs
CL-ML	0,99823	0,99823	132,875	204,792	699,42	645,565	2,747
CL	0,99823	0,99823	132,615	196,63	687049	647,750	2,735
GH	0,99823	0,99823	134,460	189,23	687,46	653,70	2,721
GC	0,99823	0,99823	130,755	194,974	696,76	656,80	2,748

EK3: Basınçlı Su Testi Arazi Deneyinin Sonuçları

SK-1

DSİ GENEL MÜDÜRLÜGÜ TEMEL SONDAJ LOGU

DSİ X. BÖLGE 8. SONDAJ ŞB. MÜD. | **PROJE: Siirt-Baykan-Veysel Karani Göleti** | **İL : DİYARBAKIR**

Yeri	:		Başlangıç Tarihi	:	26.06.2012	Sondaj No: SK-1	Sayfa No:1
Konumu	:	Dik	Bitiş Tarihi	:	29.06.2012		
Derinligi	:	35 m	Makina Tipi	:	Tone-4549	YERALTISUYU DURUMU	
Kotu	:	728	Sondör	:	Yaşar ÖNAL	Tarih / Derinlik / Açıklama	
Koordintları	X :	736 855	Logu Hazırlayanlar (İsim, Ünvan, İmza)				
	Y :	4 226 321	Sondaj Şb. Müh.	:	Osman DEMİR (Maden Müh)		
			Proje Ilgili Müh.	:	Mustafa TOPRAK (Jeoloji Müh)		

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	5dak kayıp l	5dak kayıp l	Toplam kayıp l	Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	K cm/s	SPT Darbesayısı: 1. 15 cm için	2. 15 cm için	30 cm için top.	50 darbedeki	İlerleme cm	Taşıma gücü kg/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	RQD %	Çatlak sıklığı #/m	Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
3	26.06.2012		T-66 Vidyekron		Gri %100 devrediyor	2 2	20		18	38									% 20	% 0	>50	W5		**0 - 3,0m YAMAÇ MOLOZU** Kireçtaşı,killi kireçtaşı,serpantin bloklarından oluşmuş yamaç molozu
6						2 2 4 4 2 2	13 18 12 		14 18 12 	27 36 24 	2,45								% 26	% 0	>50	W5		
9						2 2 4 4 2 2	0 0 0 		0 0 0 	0 0 0 	0								% 50	% 8	10 - 50	W4		
12						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	7 8 11 8 7 		7 9 12 7 6 	14 17 23 15 13 	0,7								% 50	% 0	>50	W5		3,00 - 35,00 m MARN Genelde yumuşak yapılı yer yer kumtaşı seviyeli az çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu
15		2 m				2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	0 0 0 0 0 		0 0 0 0 0 	0 0 0 0 0 	0								% 50	% 10	10 - 50	W4		
18						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	0 0 0 0 0 		0 0 0 0 0 	0 0 0 0 0 	0								% 23	% 0	10 - 50	W4		
21	28.06.2012					2 4 6 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0								% 25	% 4	10 - 50	W4		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)		KAYA NİTELİGİ %(RQD)		AYRIŞMA DERECESİ (W)		ÇATLAK SIKL kalsit	
<1	Geçirimsiz	0-25	Çok Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	<1	Masif
1-5	Az Geçirimli	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
5-25	Geçirimli	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayrışmış	3-10	Kırıklı
>25	Çok Geçirimli	75-90	İyi	W4	Çok Ayrışmış	10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
		90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	>50	Parçalanmış

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	SPT: Darbesayısı 1. 15 cm için	SPT: 2. 15 cm için	SPT: 30 cm için top	SPT: 50 darbedeki ilerleme cm	SPT: Taşıma gücü kg/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
24	28.06.2012	2 m	T-66 Vidyekron		Gri %100 devrediyor	2	7	8	15	1,2								% 50	% 4	10 - 50	W4		3,00 - 35,00 m MARN Genelde yumuşak yapılı yer yer kumtaşı seviyeli az çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu
						4	10	10	20														
						6	13	13	26														
						8	18	19	37														
						8	17	18	35														
						6	12	13	25														
						4	10	11	21														
						2	8	8	16														
27						2	10	10	20	1,84								% 50	% 9	10 - 50	W4		
						4	15	16	31														
						6	21	20	41														
						8	27	27	54														
						8	28	27	55														
						6	20	19	39														
						4	14	14	28														
						2	9	10	19														
30						2	5	5	10	0,57								% 50	% 0	>50	W5		
						4	6	7	13														
						6	8	8	16														
						8	13	15	28														
						8	13	14	27														
						6	7	6	13														
						4	5	6	11														
						2	4	5	9														
33	29.06.2012					2	0	0	0	0								% 35	% 4	10 - 50	W4		
						4	0	0	0														
						6	0	0	0														
						8	0	0	0														
						10	0	0	0														
						10	0	0	0														
						8	0	0	0														
						6	0	0	0														
						4	0	0	0														
						2	0	0	0														
35						2	0	0	0	0								% 75	% 26	10 - 50	W3		
						4	0	0	0														
						6	0	0	0														
						8	0	0	0														
						10	0	0	0														
						10	0	0	0														
						8	0	0	0														
						6	0	0	0														
						4	0	0	0														
						2	0	0	0														

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	
<1	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok Geçirimli

KAYA NİTELİĞİ %(RQD)	
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

AYRIŞMA DERECESİ (W)	
W1	Taze (Ayrışmamış)
W2	Az Ayrışmış
W3	Orta Derecede Ayrışmış
W4	Çok Ayrışmış
W5	Tamamen Ayrışmış

ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış

SK-2

DSİ GENEL MÜDÜRLÜGÜ TEMEL SONDAJ LOGU

DSİ X. BÖLGE 8. SONDAJ ŞB. MÜD. | **PROJE: Siirt-Baykan-Veysel Karani Göleti** | **İL : DİYARBAKIR**

Yeri	:		Başlangıç Tarihi	:	26.06.2012
Konumu	:	Dik	Bitiş Tarihi	:	29.06.2012
Derinligi	:	35 m	Makina Tipi	:	Tone A-4538
Kotu	:	716	Sondör	:	Yaşar ÖNAL
Koordintları	X :	736 885	Logu Hazırlayanlar (İsim, Ünvan, İmza)		
	Y :	4 226 321	Sondaj Şb. Müh.	:	Osman DEMİR (Maden Müh)
			Proje Ilgili Müh.	:	Mustafa TOPRAK (Jeoloji Müh)

Sondaj No: SK-2 | Sayfa No:1

YERALTISUYU DURUMU

Tarih	Derinlik	Açıklama

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uc cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	SPT Darbesayısı: 1. 15 cm için	SPT Darbesayısı: 2. 15 cm için	SPT Darbesayısı: 30 cm için top	SPT Darbesayısı: 50 darbedeki ilerleme cm	SPT: Taşıma gücu kg/cm²	Kaya Ozellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Ozellikleri: RQD %	Kaya Ozellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Ozellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
3	26.06.2012		T-66 Vidyekron	NW	Gri %100 devrediyor	Kuyu ağzı yıkıntılı olduğundan BST yapılamadı.												% 50	% 14				**0 -2 m** **YAMAÇ MOLOZU** Kireçtaşı,killi kireçtaşı,serpantin bloklarından oluşmuş
6						22 40 22	0	0	0	0								% 50	% 0	10 - 50	W3		**2.0 - 3.20 m** **KİLTAŞI** siltli kumlu **3.20 - 8.0 m** **MARN** Çok ayrışmış yeşil renkli marn
9						22 44 22	0	0	0	0								% 30	% 8	10 - 50	W3		
12	27.06.2012					22 44 66 42 22	15 19 21 18 16	17 19 20 18 16	32 38 41 36 32	1,62								% 50	% 4	10 - 50	W4		**8.0 - 14.50 m** **SERPANTİN** Üst kısımlar çok çatlaklı alt seviyelerde daha masif yeşil gri renkli çatlaklar kalsit dolgulu
15						22 44 66 44 22	10 15 20 18 12	13 17 20 18 12	23 32 40 36 24	2,45								% 50	% 15	10 - 50	W3		
18						22 44 66 44 22	15 23 27 23 15	20 25 30 23 17	35 48 57 46 32	1,5								% 80	% 13	10 - 50	W3		**14.50 - 16.0 m** **KİLTAŞI** Çok çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu **16.0 - 26.0 m** **SERPANTİN-RADYOLARİT-KUMTAŞI** Çok çatlaklı parçalı, çatlaklar genelde kalsit dolgulu sıkı tuturulmuş sert yapılı bordo, yeşil, gri renkli
21	28.06.2012					22 44 66 88 86 64 22	25 35 40 45 45 38 36 25	30 40 40 45 45 38 36 28	55 75 80 90 90 76 72 53	4,38								% 66	% 12	10 - 50	W3		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)		KAYA NİTELİGİ %(RQD)		AYRIŞMA DERECESİ (W)		ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Geçirimsız	0-25	Çok Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	<1	Masif
1-5	Az Geçirimli	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
5-25	Geçirimli	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayrışmış	3-10	Kırıklı
>25	Çok Geçirimli	75-90	İyi	W4	Çok Ayrışmış	10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
		90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	>50	Parçalanmış

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	S P T Darbesayısı: 1. 15 cm için	S P T Darbesayısı: 2. 15 cm için	S P T Darbesayısı: 30 cm için top	S P T Darbesayısı: 50 darbedeki ilerleme cm	S P T: Taşıma gücü kn/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
24	28.06.2012		T-66 Vidyekron		Gri %100 devrediyor	2 4 6 8 8 6 4 2	23 27 29 31 30 28 25 22	25 27 29 31 31 28 24 21	48 54 58 62 61 56 49 43	2,26								% 24	% 0	10 - 50	W5		**16.0 - 26.0 m** **SERPANTİN-RADYOLARİT-KUMTAŞI** Çok çatlaklı parçalı, çatlaklar genelde kalsit dolgulu sıkı tuturulmuş sert yapılı bordo, yeşil, gri renkli
27						2 4 6 8 8 6 4 2	15 19 22 24 24 21 20 17	17 20 22 24 23 21 20 16	32 39 44 48 47 42 40 33	2,06								% 27	% 0	10 - 50	W3		
30						2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 27	% 0	>50	W5		
33	29.06.2012					2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 20	% 0	3 - 10	W2		**26.0 - 35.0 m** **MARN** Gevşek yapılı çok çatlaklı, parçalı yeşil renkli marn
35						2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 50	% 0	10 - 50	W4		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	
<1	Geçirimsız
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok Geçirimli

KAYA NİTELİĞİ %(RQD)	
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

AYRIŞMA DERECESİ (W)	
W1	Taze (Ayrışmamış)
W2	Az Ayrışmış
W3	Orta Derecede Ayrışmış
W4	Çok Ayrışmış
W5	Tamamen Ayrışmış

ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış

SK-3

DSİ GENEL MÜDÜRLÜGÜ TEMEL SONDAJ LOGU

DSİ X. BÖLGE 8. SONDAJ ŞB. MÜD. | **PROJE: Siirt-Baykan-Veysel Karani Göleti** | **İL : DİYARBAKIR**

Yeri	:		Başlangıç Tarihi	:	30.06.2012	Sondaj No: SK-3	Sayfa No:1
Konumu	:	Dik	Bitiş Tarihi	:	04.07.2012		
Derinligi	:	35 m	Makina Tipi	:	Tone A-4538	YERALTISUYU DURUMU	
Kotu	:	717	Sondör	:	Yaşar ÖNAL	Tarih / Derinlik / Açıklama	
Koordintları	X :	736 937	Logu Hazırlayanlar (İsim, Ünvan, İmza)				
	Y :	4 226 332	Sondaj Şb. Müh.	:	Osman DEMİR (Maden Müh)		
			Proje Ilgili Müh.	:	Mustafa TOPRAK (Jeoloji Müh)		

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uc cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	SPT: Darbesayısı 1. 15 cm için	SPT: Darbesayısı 2. 15 cm için	SPT: 30 cm için top. 50 darbedeki ilerleme cm	SPT: Taşıma gücü kg/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
3	30.06.2012		T-66 Vidyekron	NW	Gri %100 devrediyor						75 65 65 60						% 57	% 0	>50	W5		**0 - 2,50 m** Alüvyon
6	01.07.2012					2 2 4 4 2 2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0							% 57	% 0	10 - 50	W4		
9						2 2 4 4 2 2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0							% 50	% 0	10 - 50	W3		
12	02.07.2012					2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	13 15 16 15 12	12 15 16 14 13	25 30 32 29 25	1,38							% 50	% 0	10 - 50	W4		**2,50 - 35,00m** **MARN** Genelde yumuşak yapılı gri renkli yer yer kumtaşı seviyeli ve sert yapılı seviyeler, az çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu,yer yer kuruma çatlaklı
15						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	11 12 12 12 10	10 12 13 11 10	21 24 25 23 20	1,08							% 60	% 3	>50	W4		
18						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	13 14 15 13 13	14 14 16 14 13	27 28 31 27 26	1							% 67	% 7	10 - 50	W3		
21	03.07.2012					2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0							% 63	% 6	10 - 50	W4		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)		KAYA NİTELİGİ %(RQD)		AYRIŞMA DERECESİ (W)		ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Geçirimsiz	0-25	Çok Zayıf	W1	Taze (Ayrışmamış)	<1	Masif
1-5	Az Geçirimli	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
5-25	Geçirimli	50-75	Orta	W3	Orta Derecede Ayrışmış	3-10	Kırıklı
>25	Çok Geçirimli	75-90	İyi	W4	Çok Ayrışmış	10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
		90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	>50	Parçalanmış

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	S P T Darbesayısı: 1. 15 cm için	S P T Darbesayısı: 2. 15 cm için	S P T Darbesayısı: 30 cm için top.	S P T Darbesayısı: 50 darbedeki ilerleme cm	S P T: Taşıma gücü kn/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
24	03.07.2012		T-66 Vidyekron		Gri %100 devrediyor	2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 47	% 7	10 - 50	W4		**2,50 - 35,00m** **MARN** Genelde yumuşak yapılı gri renkli yer yer kumtaşı seviyeli ve sert yapılı seviyeler, az çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu,yer yer kuruma çatlaklı
27						2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 57	% 0	>50	W5		
30						2 4 6 8 8 6 4 2	15 26 26 27 28 25 25 16	17 26 26 28 28 26 25 15	32 52 52 55 56 51 50 31	3,65								% 73	% 0	>50	W5		
33	04.07.2012					2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	11 12 13 13 14 13 12 12 11 10	10 12 13 13 14 13 12 12 11 10	21 24 26 26 28 26 24 24 22 20	1,85								% 75	% 0	>50	W5		
35						2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	13 13 15 16 18 16 15 14 13 12	13 14 15 16 17 17 15 15 13 12	26 27 30 32 35 33 30 29 26 24	3,49								% 90	% 0	10 - 50	W4		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	
<1	Geçirimsız
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok Geçirimli

KAYA NİTELİĞİ %(RQD)	
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

AYRIŞMA DERECESİ (W)	
W1	Taze (Ayrışmamış)
W2	Az Ayrışmış
W3	Orta Derecede Ayrışmış
W4	Çok Ayrışmış
W5	Tamamen Ayrışmış

ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış

SK-4

DSİ GENEL MÜDÜRLÜGÜ TEMEL SONDAJ LOGU

DSİ X. BÖLGE 8. SONDAJ ŞB. MÜD. | **PROJE:** Siirt-Baykan-Veysel Karani Göleti | **İL : DİYARBAKIR**

Yeri	:		Başlangıç Tarihi	:	01.07.2012
Konumu	:	Dik	Bitiş Tarihi	:	05.07.2012
Derinligi	:	35 m	Makina Tipi	:	Tone A-4549
Kotu	:	718	Sondör	:	Yaşar ÖNAL
Koordintları	X :	736 954	Logu Hazırlayanlar (İsim, Ünvan, İmza)		
	Y :	4 226 334	Sondaj Şb. Müh. :		Osman DEMİR (Maden Müh)
			Proje Ilgili Müh. :		Mustafa TOPRAK (Jeoloji Müh)

Sondaj No: SK-4 | Sayfa No:1

YERALTISUYU DURUMU

Tarih	Derinlik	Açıklama

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	SPT Darbesayısı: 1. 15 cm için	SPT Darbesayısı: 2. 15 cm için	SPT Darbesayısı: 30 cm için top	SPT: 50 darbedeki ilerleme cm	SPT: Taşıma gücü kg/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
3	01.07.2012		T-66 Vidyekron	NW	Gri %100 devrediyor						60 60 58 57 72 70 71 70							% 20	% 0	>50	W 5		**0 - 3,0 m** **Alüvyon**
6						2 2 4 4 2 2	30 41 30	32 40 29	62 81 59	4,99								% 25	% 3	10 - 50	W 4		
9	02.07.2012					2 2 4 4 2 2	10 12 9	10 13 8	20 25 17	1,67								% 18	% 0	>50	W 4		
12						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	8 10 14 9 8	9 11 15 10 8	17 21 29 19 16	0,95								% 13	% 0	>50	W 4		**3,0 - 25,0m** **MARN** Çok ayrışmış yer yer radyolarit ve kumtaşı seviyeli çok çatlaklı ve parçalanmış
15						2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0								% 50	% 10	10 - 50	W 3		
18	03.07.2012	2 m				2 2 4 4 6 6 4 4 2 2	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0								% 35	% 0	10 - 50	W 3		
21						2 4 6 8 8 6 4 2	6 8 9 12 12 9 7 6	5 8 10 13 12 9 8 6	11 16 19 25 24 18 15 12	0,8								% 23	% 0	10 - 50	W 3		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	
<1	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok Geçirimli

KAYA NİTELİĞİ %(RQD)	
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

AYRIŞMA DERECESİ (W)	
W1	Taze (Ayrışmamış)
W2	Az Ayrışmış
W3	Orta Derecede Ayrışmış
W4	Çok Ayrışmış
W5	Tamamen Ayrışmış

ÇATLAK SIKLIGI (#m)	
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış

Derinlik m	Günlük Durum: İlerleme m	Günlük Durum: Su seviyesi	Kuyu çapı ve kesici uç cinsi	Muhafaza borusu ve cimentolama	Sondaj suyu renk ve %	Basınçlı Su Deneyi: Basınç kg/cm²	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: 5dak kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Toplam kayıp l	Basınçlı Su Deneyi: Lugeon	Basınçsız Su Deneyi: Su kaybı l	Basınçsız Su Deneyi: K cm/s	SPT: Darbesayısı 1. 15 cm için	SPT: Darbesayısı 2. 15 cm için	SPT: 30 cm için top.	SPT: 50 darbedeki ilerleme cm	SPT: Taşıma gücü kg/cm²	Kaya Özellikleri: Karot yüzdesi	Kaya Özellikleri: RQD %	Kaya Özellikleri: Çatlak sıklığı #m	Kaya Özellikleri: Ayrışma derecesi	Jeolojik Kesit	Tanımlama
24	03.07.2012	2 m	T-66 Vidyekron		Gri %100 devrediyor	2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 40	% 0	>50	W 4		
27	04.07.2012	1,5 m				2 4 6 8 8 6 4 2	4 5 7 10 9 6 5 3	4 6 7 10 10 6 5 4	8 11 14 20 19 12 10 7	0,64								% 33	% 13	10 - 50	W 3		**25,0 - 27,0m** **KUMTAŞI** Az ayrışmış az çatlaklı çatlaklar kalsit dolgulu
30						2 4 6 8 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 40	% 0	10 - 50	W 4		
33						2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 60	% 19	10 - 50	W 2		**27,0 - 35,0m** **KİLTAŞI** Az ayrışmış az çatlaklı yeşil renkli
35	05.07.2012	9 m				2 4 6 8 10 10 8 6 4 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0								% 100	% 100	3 - 10	W 1		

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	
<1	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok Geçirimli

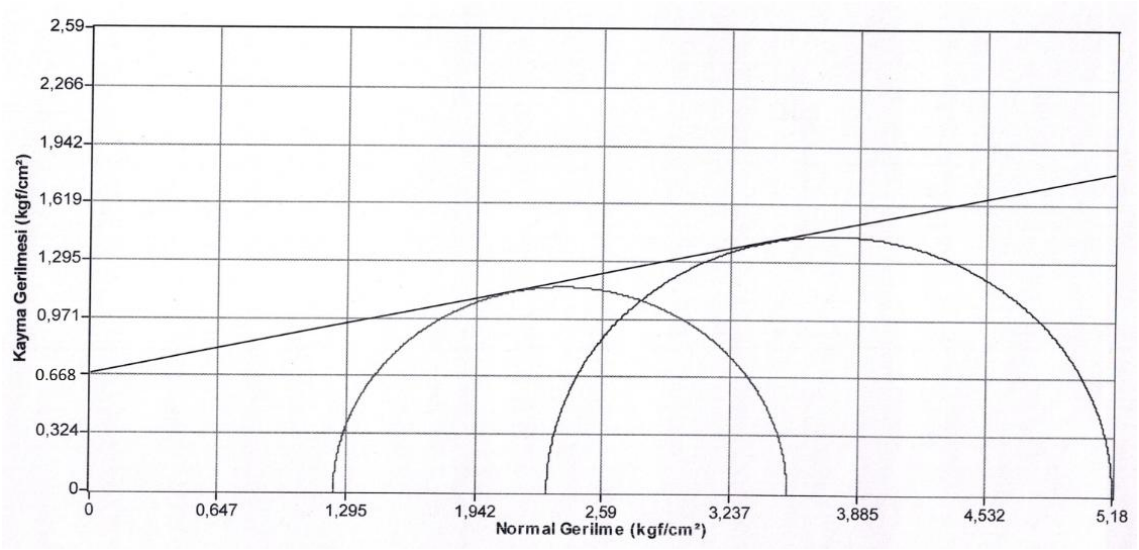
KAYA NİTELİĞİ %(RQD)	
0-25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok İyi

AYRIŞMA DERECESİ (W)	
W1	Taze (Ayrışmamış)
W2	Az Ayrışmış
W3	Orta Derecede Ayrışmış
W4	Çok Ayrışmış
W5	Tamamen Ayrışmış

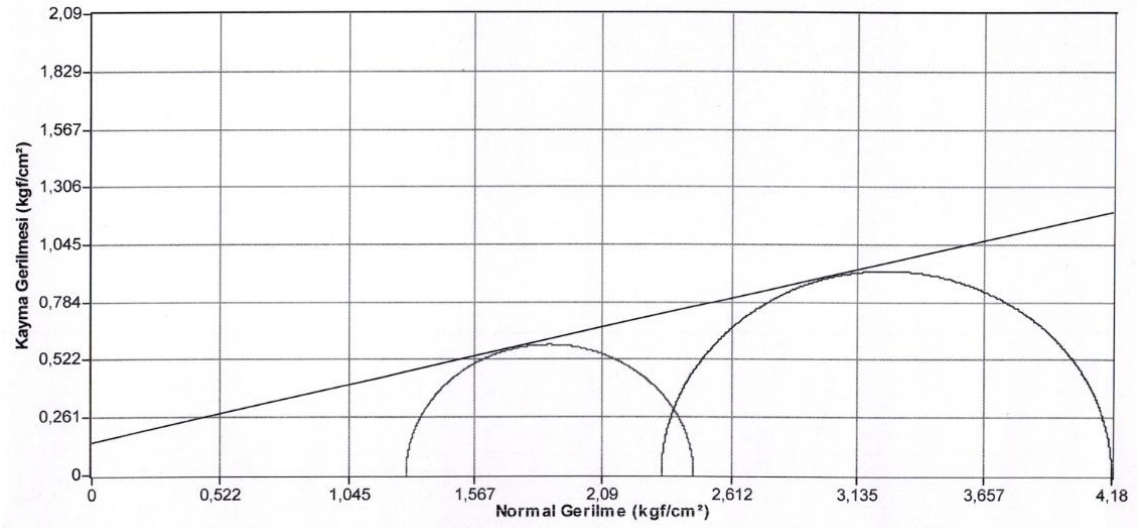
ÇATLAK SIKLIĞI (#m)	
<1	Masif
1-3	Az Çatlaklı-Kırıklı
3-10	Kırıklı
10-50	Çok Çatlaklı-Kırıklı
>50	Parçalanmış

EK4: Konsolidasyonsuz-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) ile Konsolidasyonlu-Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi (CU) Sonuçları

UU Deney Sonucu



CU Deney Sonucu



EK5: Günlük toplam yağış miktarları (mm)

2013 yılı günlük toplam yağış miktarları (mm)

2013	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
OCAK	0	0	0	0	14,7	30,8	53,9	13,6	17	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0,1	0,6	0,3	4,1	0	68,7	3,4	6,2	0	10,4
ŞUBAT	4,9	9	0	0	0	12,4	6,9	0	0	0	6,8	9,1	0	0	10,5	1,1	7,1	23,8	0	4,8	3,8	0	4,8	0	0	0	0	9,1	*	*	*
MART	13,7	2,2	0	2,9	8,4	0	0	0	0	0	0	17,9	0	0	0	3	36,3	1,6	0	0	0	2	15,9	4,3	0	0	7,4	11,7	0	7,7	0
NİSAN	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	4,2	20,9	2,2	0	0	0	4,3	12,5	3,2	1,3	2	0,2	4,8	1,3	0	0	0	0	0	0	0	*
MAYIS	0	0	0	0	0	1,6	0	0,7	6,3	10	2,9	0	*	8,7	0,6	1,9	0	5	0	0	2	0	0	0	0,5	0	9,9	3,3	0	0	0
HAZİRAN	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	*
TEMMUZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AĞUSTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EYLÜL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,4	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	*
EKİM	0	0,2	5,7	7,6	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,1	0,2	0,2	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0
KASIM	0	0	0	0	0	0	8,1	12,3	18,6	2,3	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	2,2	6,4	9	0	*
ARALIK	0	0	0	0	2,4	0	9,2	32,9	0	0	0,4	5,8	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,3	0,3

2014 yılı günlük toplam yağış miktarları (mm)

2014	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
OCAK	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	7,7	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	12,7	0	4,2	8,9	23,8	29,7	0,7	24,4	0
ŞUBAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	9,8	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	28,3	5,8	6,1	*	*	*
MART	0	0,5	0	45,7	0	0	1,8	0	0	8,6	3,8	7,5	19,4	2,8	0	17,5	11,9	36,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0,2	6	0
NİSAN	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9,6	0	0	7,3	0	16,1	0	1,7	0	0	12,8	4,6	0	0	0	2,2	0,1	0	2,8	0	0	*
MAYIS	1,5	0	0	0	0	0	0,4	0,2	10,1	0,7	0	0	1,9	6,9	0	0	0	0	1,7	0	0	6,9	11,5	1,9	0	1,9	0	0	0	0	0,3
HAZİRAN	0	0	4,8	0	4	0,3	0	0	0	0	0	7,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEMMUZ	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AĞUSTOS	0	0	0	0	16,7	6,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	1,4	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0
EYLÜL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0,7	0	0	2	38	0	0	*
EKİM	0	0	14,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	3,6	2,4	14,1	19,4	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	17,3
KASİM	24,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	15,5	18,4	0	3,2	1	22,5	9,1	0	0	2	*
ARALIK	20	5,8	9,7	0	0,5	0	2,2	6,5	0,3	6,8	0	0,4	8,3	1,7	0	0	0	0	5,4	0	0	30,1	7,4	0	0	0	0	0	1,8	0	0

2015 yılı günlük toplam yağış miktarları (mm)

2015	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
OCAK	2,5	7,5	27,5	0,2	63,1	3,5	16,3	4,3	2,3	0	0	0	0	0	4,2	8,8	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	11,2	0	0,3	0,4
ŞUBAT	0	0	0	7,4	0	0	0	0	61,3	13,2	0	8	9,3	11,9	6,4	2,9	15,7	0,2	33,6	5,6	2,3	0	0	0	0,7	0	0	0	*	*	*
MART	0	0	1,1	6,5	0	0,2	0	0	0	0	0	12,6	0	0	0	6,4	8,8	0	0,6	39,5	8,8	18,4	0	19,7	4,1	0,2	0	3,1	30,3	13,3	0,1
NİSAN	1,7	4,8	0	5	0	0	0	1	0,5	0	0	19,5	13,9	3,3	0	0	0	0	0	0,3	0,1	6,3	2	6,4	0	0	0	0	0	0	*
MAYIS	0	0,3	0	8,6	0	0	0	0	0	4,4	1,4	3,9	0,7	14	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0	0	0,1	0	0,4	1,6	0	0	*
HAZİRAN	0	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1,7	0	0	0	*
TEMMUZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AĞUSTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	6	0	0	0	0	0	7,3
EYLÜL	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	*
EKİM	0	2,3	2,3	0	0	9,9	11,5	1,3	2,7	0	0	0	0,3	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	0	13,7	29,5	39,2	10,9	7,7	4,5	0
KASIM	0	0	0	0	5,6	0	0	0	1,2	1,5	0	0	0	0	0	0	7,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	17,6	13,7	*
ARALIK	17,9	4,2	18,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,2	27,9

2016 yılı günlük toplam yağış miktarları (mm)

2016	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
OCAK	34	24	0	10,2	29,9	9,8	55,7	26,4	8,6	0	0	0	0	41,8	1,5	0	0	3,4	20,5	3	0	0	0	18,9	9,5	4,1	0	0	0	0	0
ŞUBAT	3,2	25,1	0	0	0	11,7	30,1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0,2	0	6,1	0,8	0	1,8	0	0	1,4	*	*	*
MART	0	0	20,6	27,5	7,4	2,7	0	0	0	3,9	4,2	0	0	19,1	43,3	2,2	0	0	0,4	7	0	0	0	0	0	1,9	7	0,1	21,5	0	0
NİSAN	0	0	1,9	0	0	0	0,2	0	0	4,6	31,5	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	8,3	0	0	*
MAYIS	16,4	0,6	6,5	3,4	0	3,3	2,3	0	0	0	0,4	0	8,8	0	0	1,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,4	0,2	13,1	0,2	0
HAZİRAN	0	0	0	0	0,1	0	1,5	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	1	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*
TEMMUZ	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AĞUSTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EYLÜL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	4	0	0	0	0	0	0	0	*
EKİM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,1	0	0	31	0	21	23,6
KASIM	30,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
ARALIK	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	3,5	4,2	0,3	0	0	0	0	0	0	14,9	23,9	1,3	0,4	0,6	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Ayşenur ASLAN FİDAN 1990 yılında İzmir'de doğdu. İlköğrenimini Türkbirliği İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra Vali Erol Çakır Lisesi'nden mezun oldu. Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun olduktan sonra 2013 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendsliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2014 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Dicle Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	AYŞENUR ASLAN FİDAN
ÖĞRENCİ NO	14806007
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	DOYGUN OLMAYAN KOŞULLARDA YAĞIŞ İNFİLTRASYONU ETKİSİNDEKİ ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	134
BENZERLİK ORANI	%11
RAPORLAMA TARİHİ	15/06/ 2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 134 sayfalık kısmına ilişkin, 15/06/2017 tarihinde tez danışmanım tarafından *TURNITIN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☒ Kabul/Onay sayfaları dahil,
- ☒ Kaynakça dahil
- ☒ Alıntılar dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Ayşenur

AYŞENUR ASLAN FİDAN

16/06/2017	16/06/2017
DOÇ. DR. TAHA TAŞKIRAN	DOÇ. DR. HALİL GÖRGÜN
Tez Danışmanı	**Anabilim Dalı Başkanı**