



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ZEMİN ÇİVİSİ TASARIMINI ETKİLEYEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ ve BİR
VAKA ANALİZİ**

Abdullah BİRER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah BİRER tarafından hazırlanan “Zemin Çivisi Tasarımını Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi ve Bir Vaka Analizi” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Danışman

Doç. Dr. Murat OLGUN

Üye

Doç. Dr. Zülküf KAYA

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
LEE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü tarafından 18201083 Nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Abdullah BİRER

Tarih:05/09/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEMİN ÇİVİSİ TASARIMINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ ve BİR VAKA ANALİZİ

Abdullah BİRER

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Murat OLGUN

2019, 95 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Doç. Dr. Murat OLGUN
Doç. Dr. Zülküf KAYA**

Bu çalışmada, son zamanlarda ülkemizde yaygın uygulama alanı bulan karayolu çalışmalarında şev kazılarını desteklemek ve şev stabilizasyonunu sağlamak için kullanılan birçok destekleme yöntemlerinden biri olan zemin çivileri ile destekleme hakkında bilgi verilmiştir. Zemin çivisi ile destekleme tekniği ile zemine veya şeve belirli aralıklarla yerleştirilen pasif takviyeler mevcut şev yapısı güçlendirilmekte ve şevin stabilizasyonu sağlanmaktadır. Zemin çivileri ile destekleme yöntemi diğer klasik sistemlere göre daha hızlı ve pratik uygulanabilmesi ve ekonomikliği sebebiyle tercih edilen ve uygulaması yapılan bir yöntem olmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında, zemin çivileri ile destekleme tekniği ile ilgili bir literatür araştırması yapılmış ve zemin çivileri ile destekleme yapısı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken unsurlara yer verilmiştir. Rocscience tarafından geliştirilen RS² Phase² V9.0 analiz bilgisayar programı ile Ermenek-Mut Devlet Yolu Çamlıca Köprüsünde 1/3 dik eğimli olarak açılacak giriş yan şevlerinde destekleme elemanı tasarımına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SRF (Dayanım azaltma faktörü), Kaya bulonu, Sonlu elemanlar analiz yöntemi, Şev stabilitesi, Zemin çivisi.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING SOIL NAIL DESIGN and A CASE ANALYSIS

Abdullah BİRER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Doç. Dr. Murat OLGUN

2019, 95 Pages

Jury

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Doç. Dr. Murat OLGUN

Doç. Dr. Zülküf KAYA

In this study, presented information about supporting with soil nails, which is one of the many methods used to support slope excavations and road slope stabilization in road works which have been widely used in our country recently. The existing slope structure is strengthened and stabilization of the slope is provided by passive reinforcements that are placed on the ground or slope at certain intervals by the support technique with the soil nail. The support method with soil nails has been preferred and applied because of its faster and more practical application and economic efficiency compared to other classical systems.

Within the scope of this thesis, a literature search has been made about the support technique with soil nails and the elements that should be taken into consideration in the design of the support structure with soil nails have been included. With the RS² Phase² V9.0 analysis computer program developed by Rocscience, support element design has been included in the entrance side slopes to be opened with 1/3 steep slope in Ermenek-Mut State Highway Çamlıca Bridge.

Keywords: SRF (Strength Reduction Factor), Rock bolt, Finite elements analysis method, Slope stability, Soil nail.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım esnasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı ve ayrıca bu çalışmalarda beni cesaretlendiren, akademik çalışmalar yapmayı sevdiiren çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Murat OLGUN'a en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Bu çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve sayısız fedakarlıklar yaparak tez çalışmamı tamamlamama destek olan sevgili eşim Psk. Fatma GÜLLÜOĞLU BİRER'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın önemli bir kısmını meydana getiren şev stabilitesi analiz programını kullanma noktasında programla ilgili yardımlarını esirgemeyen yüksek inşaat mühendisi Olcay POLAT'a, tez çalışmalarımında kurumumuzun bütün imkanlarını kullanmama müsaade eden ve her türlü konuda destek veren T.C. Karayolları 3.Bölge Müdürlüğü idaresine ve çok sevgili çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Abdullah BİRER
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Şev Stabilitesi	4
2.2. Şev Stabilitesi İle İlgili Tanımlamalar	4
2.3.1. Düşme	6
2.3.2. Devrilme	8
2.3.3. Kayma	8
2.3.4. Yanal Yayılma	11
2.3.5. Akma.....	12
2.3.5. Karmaşık hareketler	12
2.4. Şev Stabilitesi Problemlerinin Çözümünde Zemin Çivisi Yöntemi	13
2.4.1. Zemin çivisi	13
2.4.2. Zemin çivisi uygulamasını oluşturan imalat malzemeleri	14
2.4.3. Zemin çivisi uygulaması inşaat aşamaları	17
2.4.4. Zemin çivisi tasarımında yüklerin gelişimi	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemi Olarak Sonlu Elemanlar Destekli Gerilme Yöntemi	24
3.1.1. Limit Denge Analizlerinde Gerilme Durumu	24
3.1.2. Sonlu Elemanlar Sonuçlarına Dayalı Limit Denge Analizleri.....	25
3.2. Şev Stabilitesi Analizinin Program ile Yapılması	26
3.2.1. Dayanım azaltma faktörü (SRF)	27
3.2.2. RS ² (Phase ² v9.0) Şev stabilitesi analizi ve destekleme sistemi tasarımı programı.....	28
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Ermenek-Mut Devlet Yolu Çamlıca Köprüsü	35
4.2. Çamlıca Köprüsü Giriş (Ermenek) Şevleri Geoteknik Proje Raporu Çalışmaları	37
4.2.1. Köprü güzergahının yeri ve özellikleri	37
4.2.2. Arazi çalışmaları	38
4.2.3. Çalışma yapılacak kesimin jeolojisi	43
4.2.4. Geoteknik değerlendirmeler	46

4.2.5. Çamlıca köprüsü kazı şevlerinde stabilite analizleri.....	53
4.3. Çamlıca Köprüsü Giriş (Ermenek) Kazı Şevleri Zemin Çivisi Uygulaması Aşamasından Fotoğraflar	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	86



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

s	: Kayma mukavemeti
c'	: Drenajlı efektif kohezyon
σ_n	: Toplam gerilme
ϕ'	: Drenajlı efektif içsel sürtünme açısı
u	: Boşluk suyu basıncı
σ_x	: X eksenine doğrultusundaki gerilme
σ_y	: Y eksenine doğrultusundaki gerilme
τ_{xy}	: XY düzleminde oluşan kayma gerilmesi
τ_m	: Kayma gerilmesi
c'_m	: Efektif kohezyon
ϕ'_m	: Efektif içsel sürtünme açısı
F_{yu}	: Donatının Çekmede Akma Dayanımı
D	: Donatı çeliğinin çapı
F_b	: Bulonun çekme dayanımı

Kısaltmalar

KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
SRM	: Dayanım Azaltma Metodu
SRF	: Dayanım Azaltma Faktörü
GLE	: Genelleştirilmiş Limit Denge Yöntemi
CSA	: Kanada Standartlar Birliği
ACI	: Amerika Beton Enstitüsü
RMR	: Kaya Kütle Derecesi
RMQR	: Kaya Kütle Kalite Derecesi
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
GSI	: Sınıflama Sistemi
SK	: Sondaj Kuyusu
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu
FEM	: Sonlu Elemanlar Analiz Metodu
FS	: Güvenlik Katsayısı

1. GİRİŞ

Ulaşım, sosyal ve ekonomik açıdan toplumsal yaşamı doğrudan etkileyen temel unsurlardan birisidir. Ülkemizde karayolu ulaşımı; esnek, hızlı ve maliyet olarak uygun ulaşım türü olması ve adrese teslim taşımacılığa imkân tanınması nedeniyle, yolcu taşımacılığında %95, yük taşımacılığında %92 oranı ile en çok tercih edilen ulaşım türüdür. Ekonomik gelişmelere ve sosyal ihtiyaçlarında artmasına paralel olarak, trafik yoğunluğu her geçen yıl artış göstermektedir. Buna bağlı olarak karayolları çalışmaları ülkemizde yatırım programlarında geniş yer tutmaktadır.

İnsanların ve doğada bulunan diğer canlıların yaşamlarını olumsuz yönde etkileyen heyelan, sel, deprem, volkanik olaylar, fırtına, büyük dalgalar vb. gibi etkenler, canlı yaşamını yakından ilgilendiren doğal afetlerdir. Günümüzde teknoloji her ne kadar gelişmeler gösterse de insanoğlu çoğu zaman doğal afetlere karşı koyamamaktadır. Doğal afetler sadece kişilerin can ve mal güvenliğini etkilemekle kalmayıp, ülkelerin ekonomisine de ağır darbeler vurabilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre 1999 yılında ülkemizde meydana gelen Marmara depreminin maliyeti 17 milyar dolar, 2011 yılında Japonya'da meydana gelen deprem ve sonrası yaşanan büyük dalga (Tsunami) olayının ülkeye maliyeti 210 milyar dolar, 2017 yılında dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerin maliyeti 353 milyar dolar olmuştur. Türkiye de yer kabuğunun kritik bir noktasında yer alması nedeniyle volkanlar ve büyük dalgalar haricinde doğal afetlerin hemen hemen tümünden payını almaktadır. Bunlardan özellikle insanların neden oldukları heyelanlar, yaşamı doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Heyelanlar ile ilgili olarak bilinmesi gereken gerçek, deprem ve sel gibi afetler 5-10 yıl ve fazla aralıklarla meydana gelirken heyelanların daha sık olarak toplumu etkilemesidir.

Kitle hareketlerinin Türkiye açısından bir başka önemi, ülkede gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi olası ulaştırma ve altyapı çalışmalarının önemli ölçüde toprak ve kaya hacimlerinde kazı ve dolgu yapılması gerekliliğini gündeme getireceği, bunun sonucu oluşabilecek olası şev hareketleridir. Ülkemizin topografyası ve mühendislerin bu konuda genelde göze aldığı risklerin yüksekliği dikkate alındığında bu çalışmalarda kitle hareketlerinin anlaşılması ve kontrolünün önemini daha da arttırmaktadır (Demiryürek, 2002).

Şevlerde stabilite problemi incelenirken gerçeğe dayalı bir değerlendirme,

kapsamlı arazi ve laboratuvar araştırmalarını da içine alacak şekilde detaylı bir mühendislik çalışması gerektirir. Böyle bir çalışmanın amacı, ekonomik açıdan en hesaplı ama aynı zamanda en güvenli çözümü bularak uygulamaktır. Bu amaçla geliştirilmiş, tüm analiz yöntemlerinde yapılan bazı varsayımlar ve hesapta kullanılacak zemin parametrelerinin elde edilmesindeki potansiyel belirsizlikler olayı karmaşık hale getirmektedir (z, 2007).

Tüm mühendislik tasarımlarında olduğu gibi şev stabilitesinde de geçmiş tecrübelere dayanarak zeminin yapısına göre farklı farklı seçilen güvenlik sayısı değerleri kullanılmaktadır. Bu güvenlik sayısının değerleri, şevlerde kaymaya yol açan dış etkenlere ve bunların zamana bağlı olarak değişimlerine, şevi oluşturan zemin tabakalarının özelliklerine ve kullanılan hesap yöntemlerine bağlı olarak değişmektedir (Siyahi, 1994).

şev stabilitesi araştırmalarının amacı zemin yapılarında, kazılarda ve dolgularda ekonomik ve güvenli sonuçlar elde etmektir. Bu açıdan ilk aşama geoteknik inceleme, malzeme birimi, evre etkisi ve ekonomik parametrelerin detaylı araştırmasını kapsamaktadır. İkinci olarak şeve en uygun proje ile stabilite analizini belirleyebilmek için şevin büyüklüğünün, doğasının ve olası göçme nedenlerinin araştırılması gerekmektedir. Konuya dair bu özellikler çoğunlukla, mühendislik jeolojisinden, zemin ve kaya mekaniğini içerisine alacak kapsamlı çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Uygulanabilir bir şev analizi topoğrafya, jeoloji, malzeme birim özelliklerini ve gelecek yüklerin yükleme koşullarını da kapsayan birçok faktörü içine almalıdır.

şev stabilitesi konusunda, mühendislere düşen görev doğal şevlerin stabilitelerinin incelenmesi, stabiliteyi artırıcı önlemlerin alınmasının yanı sıra dolgu ve yarma şevlerinin ekonomik ve güvenli projelendirilmesidir.

Büyük yarmalar kendi kütleleri ile bile bazı hallerde kaymalara neden olmaktadır. Bu kaymaların sonucunda bu yarmaların tabanına veya üzerine yapılan yapılarda büyük boyutta zararlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle şevlerde meydana gelen kaymaların incelenmesi ve tedbir alınması her zaman güncelliğini koruyan bir problem olarak süregelmektedir. Her ülkede bu sorunun en güvenilir ve en ekonomik biçimde özümlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bugüne kadar şev kaymaları birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve birçok tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Tüm mevcut çalışmalara rağmen şev kaymaları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak şev stabilitesi ile ilgili tanımlar yapılmış, şev hareket tipleri ve heyelan tipleri ayrıntılı olarak incelenerek anlatılmış, şev kaymasının nedenleri incelenmiş, şev stabilitesinin analiz yöntemlerinden bahsedilmiş, şev stabilitesinin incelenmesi için arazi ve laboratuvarında yapılan çalışmalar açıklanmış, kitle hareketleri ve heyelan önleme yöntemleri tanımlanmıştır. Şev stabilitesini sağlamada zemin çivilerinin kullanılması konusu ele alınmış ve bir vaka analizi ile zemin çivisi yöntemi incelenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmında; Karayolları 3.Bölge Müdürlüğü tarafından ihalesi yapılmış ve yapımı devam eden Ermenek-Mut Devlet Yolu üzerinde bulunan Çamlıca Köprüsü Ermenek tarafı giriş kazı şevlerinde şev stabilitesini sağlayacak destekleme elemanı seçimini yapmak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Şev stabilitesini sağlayacak destekleme elemanı seçimi RS9.0/Phase2 programında proje şevleri 1/3 şev eğiminde; zemin çivisi (bulon) çapları $\varnothing 26$, $\varnothing 28$, $\varnothing 30$, $\varnothing 32$; zemin çivisi (bulon) boyları L=8,0 m, L=10,0 m, L=12,0 m, L=16,0 m ve zemin çivisi (bulon) yerleşim karelajı 1.5x1.5, 2.0x2.0, 3.0x3.0, 4.0x4.0 olacak şekilde toplam 64 adet parametre kullanılarak modellenmiş ve bunlara bağlı olarak SRF (gerilim azaltma faktörü) üzerinden uygulama açısından en uygun olan destekleme elemanı seçimi yapılmıştır.

Uygulamanın birinci kısmında arazi ve sondaj çalışmaları yapılarak kazı yapılacak olan zeminde; zemini karakteristik özellikleri ile kazı şevlerine göre potansiyel kayma yüzeyi belirlenmiş ve zemin sınıflandırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar arazi ve laboratuvar deneyleri ile desteklenmiştir.

Uygulamanın ikinci kısmında ise köprü giriş (Ermenek) tarafı şevlerinde zemin çivisi uygulaması için yukarıda belirtilen 64 adet parametre kullanılarak SRF değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, köprü uygulama alanı ve köprü projesinin bütünlüğü ile birlikte değerlendirilerek uygun olan destekleme elemanı seçimi yapılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında mühendislik uygulamalarında sıkça karşılaşılan problemlerden biri olan şev stabilitesinin sağlanması ile ilgili konular incelenmiş, zemin çivileri ile destekleme yapılarak şev stabilitesi sağlanması konusunda örnek bir uygulama alanı seçilmiş ve çeşitli parametreler kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Bu modelleme sonucunda uygun olan şev eğimi, zemin çivisi (bulon) çapı, boyu, karelajı belirlenerek tez kapsamında sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Şev Stabilitesi

Şevlerde stabilite sorunu inceleme yöntemleri 18. yy'ın sonlarından itibaren başlamış ve zemin mekaniğindeki kuramsal çalışmaların ilerlemesiyle geliştirilmiştir (Coduto, 2006).

İlk olarak Coulomb'un zemin kütlesi içinde doğrudan doğruya bir kayma kamasının dengesini inceleyerek oluşturduğu kayma yüzeyi kabulü ilerleyen dönemlerde yapılacak olan çalışmaların temelini oluşturmuştur.

20. yy'ın başlarında Avrupa, İskandinavya ülkeleri ve Amerika'da karayolu, demiryolu, kanal, liman yapımlarında zeminde büyük kaymalar oluşmuş ve bu olaylar şev stabilitesi konusu üzerine ilgiyi artırmıştır. Karşılaşılan zararların büyük boyutlara ulaşması ile heyelan sorununu incelemek için Amerika ve İsveç başta olmak üzere ülkeler bazında çeşitli kurum ve kuruluşlar oluşturulmuştur. Bu kurum ve kuruluşlar yaptıkları araştırmalar ile uygulamaya yönelik geçerli yöntemler önermişlerdir. Fellenius ve Petterson tarafından zeminlerde kayma analizi ile ilgili yeni yöntemler geliştirilmiştir (Bjerrum, 1963, Petterson, 1955). İsveç kayma dairesi yöntemi de bu çalışmaların sonucunda sunulmuştur (Coduto, 2006).

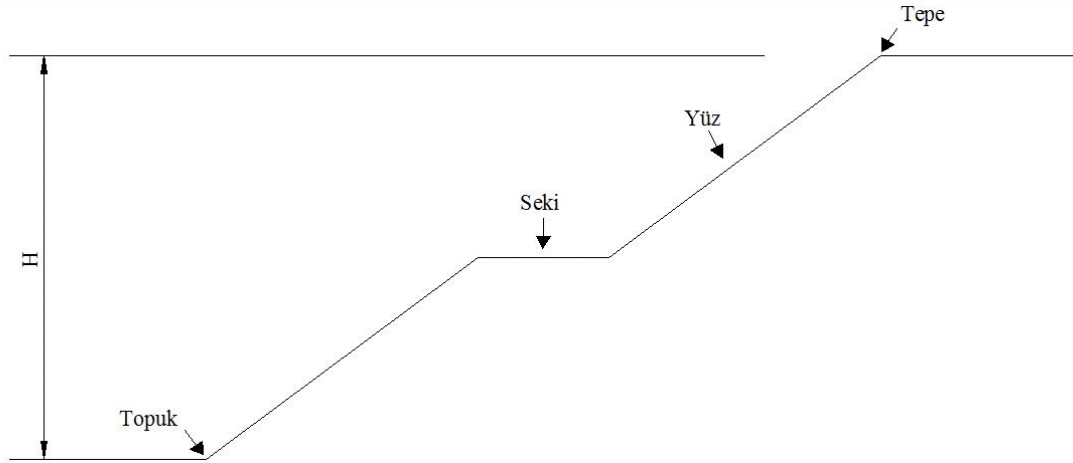
Bu çalışmalardan sonra Janbu ve Bishop "Dilim Yöntemi"nde önceden ihmal edilen veya hesaba katılmayan yanal kuvvetleri de hesaplara katacak çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu konudaki diğer gelişmeler Bishop ve Morgenstern (1960), Morgenstern, Morgenstern ve Price'in çalışmalarında görülmektedir (Skempton, 1964). Bu çalışmalarda ise farklı analiz yöntemleri geliştirilerek, ortaya konan yöntemlerin uygulama sınırlarının genişletilmesi amaçlanmıştır.

2.2. Şev Stabilitesi İle İlgili Tanımlamalar

Şev stabilitesi problemi uzun yıllar boyunca zeminde uygulama yapan mühendisleri çok yakından ilgilendirmiştir. Bu ilginin nedeni şev stabilite bozukluklarının; depremler, volkan etkileri, su baskını, fırtına vb. doğal afetlere benzer olarak ciddi can ve mal kaybına yol açabilmesidir.

Şev için genel anlamda bir tanım yapmak gerekirse bu tanım "doğal veya yapay oluşturulmuş bir zemin kitlesini sınırlayan eğik yüzey" olarak verilebilir. Eğik yüzey bir düzlem olabileceği gibi birbirlerini takip eden düzlemlerden de oluşabilir. Şevler

tanımlanırken kullanılan bazı terimler ve şekil üzerinde gösterimi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Şevlerle ilgili tanımlamalar (Coduto, 2006)

Şev Oranı: Şevin eğimini tanımlar ve daima yatay/düşey olarak ifade edilirler. Örneğin, 3/1 lik bir şev oranı üç yatay/bir düşey olarak tanımlanır.

Şev Açısı: Bir şevin yatayla yaptığı açıya 'Şev Açısı' veya 'Eğim Açısı' denilir.

Kritik Şev Açısı: Belirli bir yükseklikteki şevde stabilite bozulmadan verilebilecek maksimum açıyı ifade eder.

Kritik Şev Yüksekliği: Bir şeve, çekme gerilmeleri etkisi altında bulunan kısmında çatlaklar oluşmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.

Şev Yüksekliği: Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklıktır.

Palye (Seki): İki şev yüzeyi üzerinde oluşturulan düzlük alandır.

Şev Topuğu: Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesim noktasına 'Şev Topuğu' denilmektedir.

Şev Stabilitesi: Şev düzlemi altında ve arkasında bulunan toprak kütlelerinin, kayma, yıkılma veya göçme tehlikelerinin varlığının araştırılmasına 'Şev Stabilitesi' incelemesi denilmektedir.

Şev Kayması: Kritik şev açısı veya kritik şev yüksekliği değerlerinin aşılması ile şevin stabilitesi bozulur. Bunun sonucu şev altındaki ve arkasındaki toprak kütlesi aşağı ve dışa doğru yer değiştirir. Bu hareket 'Şev Kayması' olarak adlandırılmaktadır.

2.3. Şev Hareketlerinin Sınıflandırılması

Şev hareketleriyle ilgili birçok sınıflandırma bulunmakla birlikte en çok kullanılan Varnes (1978)'in yapmış olduğu sınıflandırmadır (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. Şev hareketleri için sınıflandırma (Varnes, 1978)

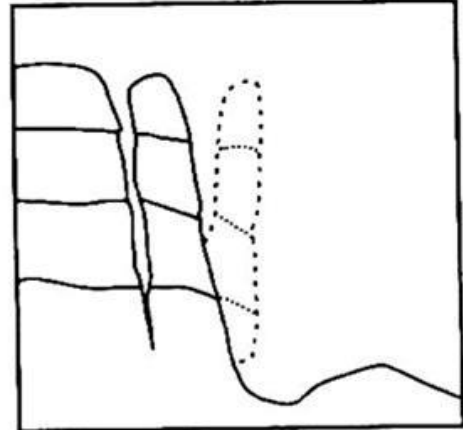
HAREKET TÜRÜ	MALZEMENİN TÜRÜ			
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER		
		İri Daneli	İnce Daneli	
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi	
DEVİRİLME	Kaya Devrilmesi	Molozda Devrilme	Zeminde Devrilme	
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda Blok Türü Ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve Molozda Dönel Kayma	
YANAL YAYILMA	Kaya Yayılması	Zemin veya Moloz Yayılması		
KARMAŞIK	Hareket Türü ve Malzeme Karışık			

2.3.1. Düşme

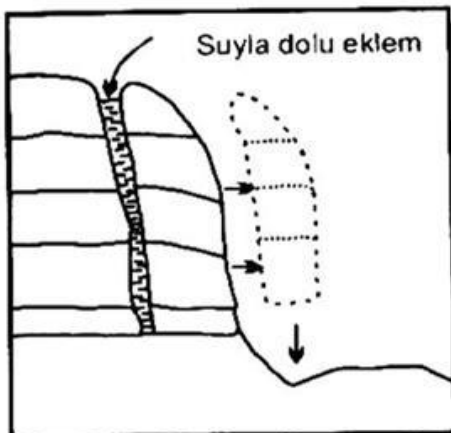
Düşme bir yamaçtan aşağıya hızla düşen, yol boyunca yuvarlanan ve hatta havada savrulan zemin veya kaya parçalarından oluşan yamaç yenilmeleridir (Coduto, 2006). Düşen malzeme cinsine göre “Kaya Düşmesi, Moloz Düşmesi, Zemin (Toprak) Düşmesi” gibi isimler almaktadırlar (Şekil 2.2.).



(a) Farklı bozunma



(b) Eklemlili homojen kayada eklemler arasında suyun donması



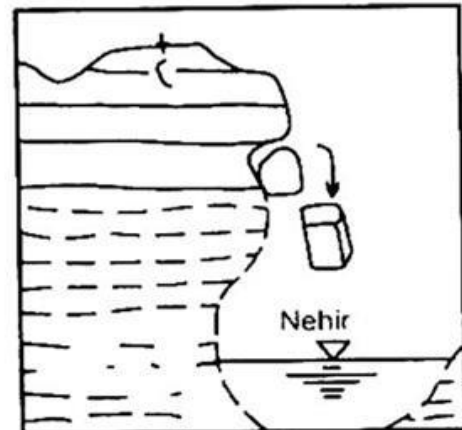
(c) Eklemlili homojen kayalar. Gevşemiş blok üzerinde hidrostatik basınç etkisi



(d) Homojen eklemlili kayalar. Aşırı sökülme veya patlatmaya bağlı kırıklar tarafından gevşetilmiş veya desteksiz kalmış bloklar



(e) Kolaylıkla aşınabilen bir kayanın üzerinde yer alan homojen eklemlili kayalar veya dirençli kayalar (dalga etkisi altındaki kayalık)

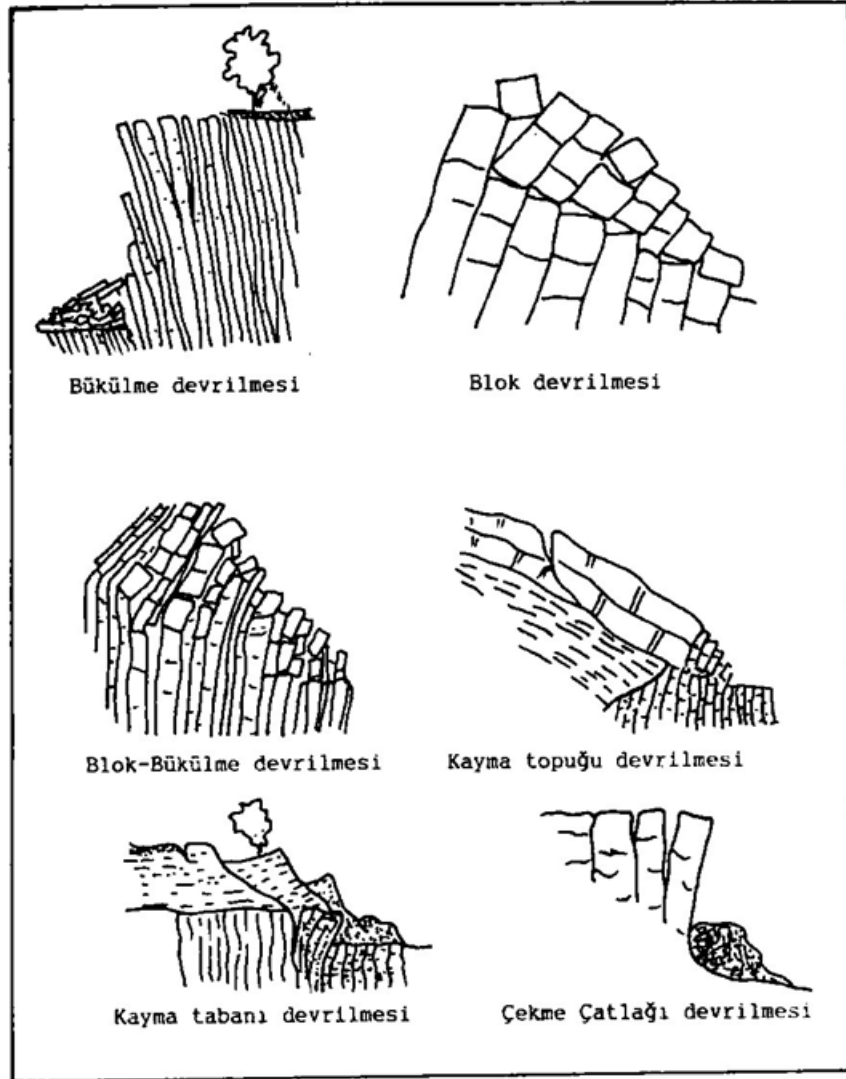


(f) Kolaylıkla aşınabilen bir kayanın üzerinde yer alan homojen eklemlili kayalar veya dirençli kayalar (akarsuyun aşındırma etkisi altındaki kayalık)

Şekil 2.2. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001)

2.3.2. Devrilme

Süreksizlik yüzeyleri fazla olan kayaların doğal konumlarının bozularak yıkılmalarına "Devrilme" adı verilmektedir. Doğada farklı şekillerde devrilme tipleri saptanmıştır. Bükülme Devrilmesi, Blok Devrilmesi veya her ikisini de içerisinde bulunduran karışık bir devrilme çeşidi de oluşabilir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Doğada gözlenen devrilme türleri (Goodman ve Bray, 1976)

2.3.3. Kayma

Kayma, şevi meydana getiren malzemede, belirli bir yüzey doğrultusunda ve makaslama yenilmesiyle birlikte, kazı sonucu ortaya çıkan boşluğa doğru dönel veya

ötelenmeli (düzlem üzerinde) olarak oluşan bir hareket sonucu meydana gelen duraysızlık türüdür. Şevlerde karşılaşılan en yaygın duraysızlık türü olan kaymalar, dönele ve ötelenmeli kaymalar olmak üzere iki şekilde gelişirler (Ulusay, 2001).

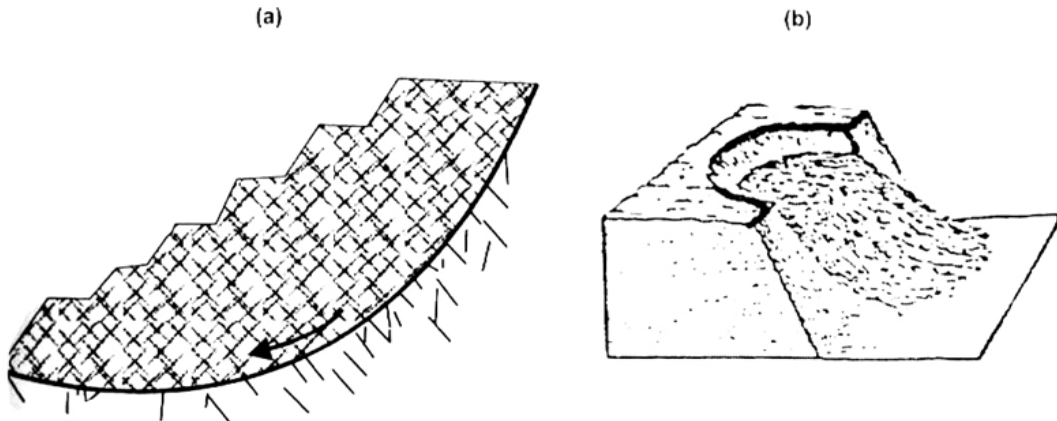
2.3.3.1. Dairesel (dönele) kayma

Bu tür kaymalar, dairesele (kaşık şeklinde) yüzeyler boyunca gelişir ve hareket sırasında kayan kütle geriye doğru yatmış bir konum kazanır. Kayma yavaş veya orta derecede bir hızla ve belirgin bir yenilme yüzeyi boyunca meydana gelir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Dairesel kayma

Dairesel kayma; kil, silt, kum vb. türdeki toprak zeminlerin yanı sıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemli kaya kütlelerinde ve/veya ileri derecede ayrılmış kayalarda meydana gelir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. (a) İleri derecede eklemli kaya kütlelerinde ve (b) ayrılmış kayalarda dairesele kayma (Ulusay, 2001)

2.3.3.2. Ötelenmeli (Düzlemsel) Kayma

Bu tür duraysızlıklarda kaymalar, düz veya çok az pürüzlü bir yüzey boyunca gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak, malzemenin kayma yüzeyine paralel şekilde öne doğru hareketiyle gelişir. Hareket eden kütle dairesel kaymalarla karşılaştırıldığında, aşırı derecede deforme olmaz.

Bu tür duraysızlıklar kayaç veya toprak zemin malzemesine oranla daha düşük makaslama dayanımına sahip süreksizlik yüzeyleri (tabakalanma, eklem, fay, makaslama zonu v.b.) boyunca meydana gelen, dolayısıyla süreksizlik denetimli duraysızlıklardır.

Aşağıda ötelenmeli kaymanın çeşitleri verilmiştir (Tekin, 2011).

2.3.3.3. Düzlemsel kayma

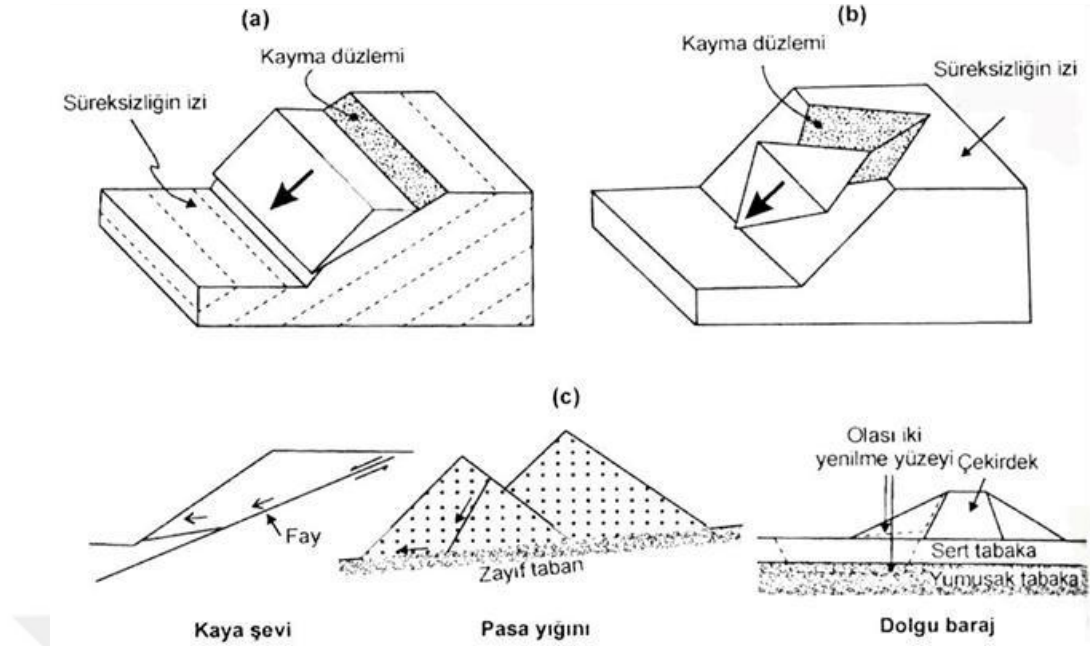
Eğimi şevim eğiminden küçük olan daha düşük dayanıma sahip olan zayıf bir düzlem üzerindeki kütlelerin yapılmış olan kazı boşluğuna doğru hareket etmesidir (Şekil 2.6.a.).

2.3.3.4. Kama türü kayma

Bu tarz duraysızlık, kesişen iki farklı süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral kama bloğunun, eğimi şeve göre daha yatık olan bir kesişme hattınca ön kesime doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir (Şekil 2.6.b.).

2.3.3.5. İki veya çok yüzeyli kayma

Bu duraysızlık türü ise birden fazla süreksizlik ve/veya zayıflık yüzeyi üzerinde meydana gelmektedir. Özellikle faylar veya tabakalanma yüzeylerinin birleşmesi sonucu doğal zemin ortamlarında veya daha zayıf zeminler üzerinde yer alan kütle yığınları ile dolgularla gelişebilen tipik bir duraysızlıktır (Şekil 2.6.c.).



Şekil 2.6. (a) Düzlemsel kayma (b) Kama tipi kayma (c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001)

2.3.4. Yanal Yayılma

Bu tür duraysızlıkların meydana gelmesinde, makaslama ve çekme çatlakların eşlik ettiği yanal bir genişleme hareketi rol oynamaktadır. İki türü bulunmaktadır.

2.3.4.1. Yanal kaya yayılması

Şevler yumuşak bir zemin veya başka bir malzemenin üstünde yer alan daha sert birimden oluşur. Yumuşak zemin veya malzeme şevlerin dış kısmına doğru plastik (akışkan) bir davranış ortaya koyar ve akma tipi harekete bağlı olarak alt kısımda bulunan sert zemin veya malzeme bloklara ayrılır ve akışkan malzeme tarafından taşınma yolu ile bu harekete dahil olmaktadır.

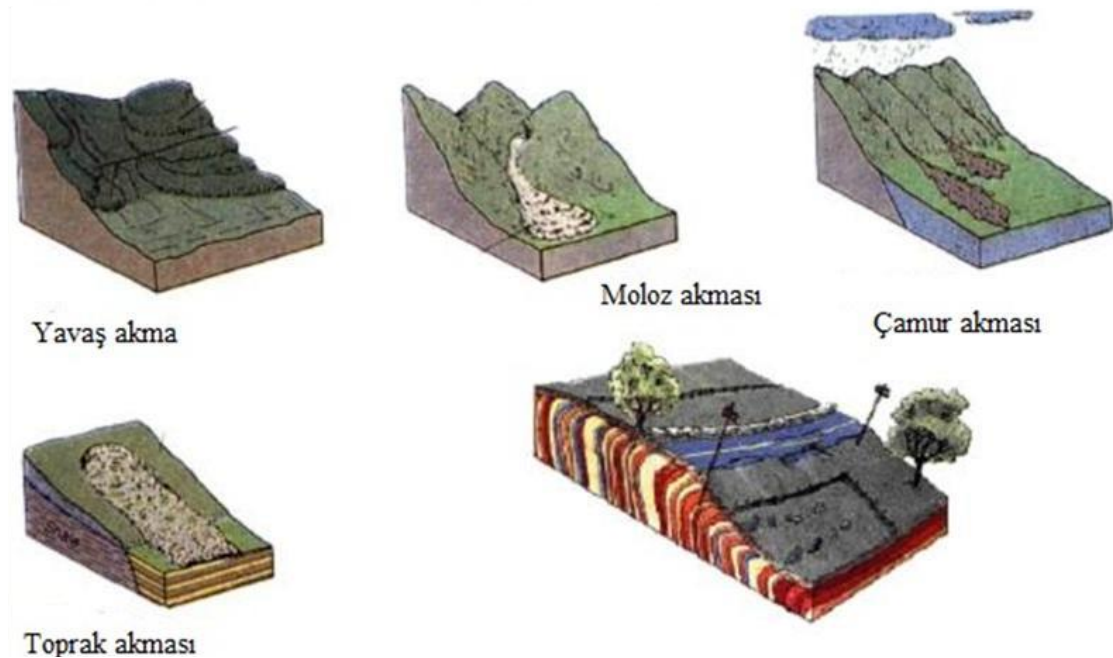
2.3.4.2. Yanal zemin yayılması

Bu zemin hareketi türü killi, yani diğer zemin türlerine göre göreceli olarak zayıf ve plastik bir malzeme içerisinde yüzer konumdaki daha sert ve büyük kaya bloklarının

da bu zayıf plastik malzeme ile beraber daha yavaş bir harekete maruz kalmasını tanımlamaktadır.

2.3.5. Akma

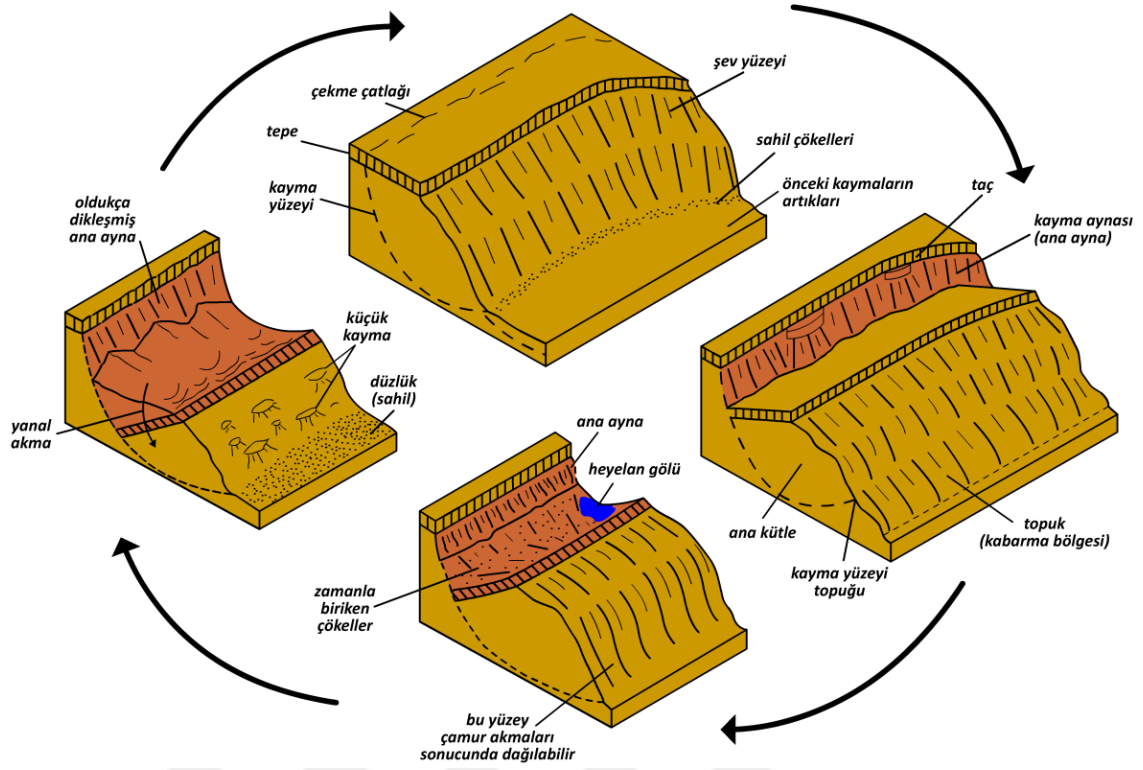
Konsolide olmamış (pekişmemiş) malzemelerin doymun veya kuru halde ve yavaş veya hızlı şekilde yamaç boyunca kıvamlı bir sıvı gibi hareket etmeleri, akma duraysızlığına neden olmaktadır. Kuru kumlar ile kil boyutundan moloz boyutuna kadar değişen malzemelerde bu tür duraysızlık gelişebilmekte ve kum akması, çamur akması ve moloz akması şeklinde adlandırılmaktadırlar (Şekil 2.7.) (Ulusay, 2001).



Şekil 2.7. Çeşitli akma türleri (Ulusay, 2001)

2.3.5. Karmaşık hareketler

Birden fazla biçimdeki heyelanların bir arada meydana geldiği olaylara karmaşık heyelanlar denir. Örnek olarak devrilme türü bir hareket esnasında kaya düşmesi, daha sonra devamında kaya akması, kaya akmasından sonra tekraren kaya kayması da kaya düşmesi oluşabilmektedir. Killi ve/veya siltli zeminlerde oluşan heyelan daha sonra suyun da etkisi ile beraber çamur akması meydana getirebilmektedir (Şekil 2.8.).

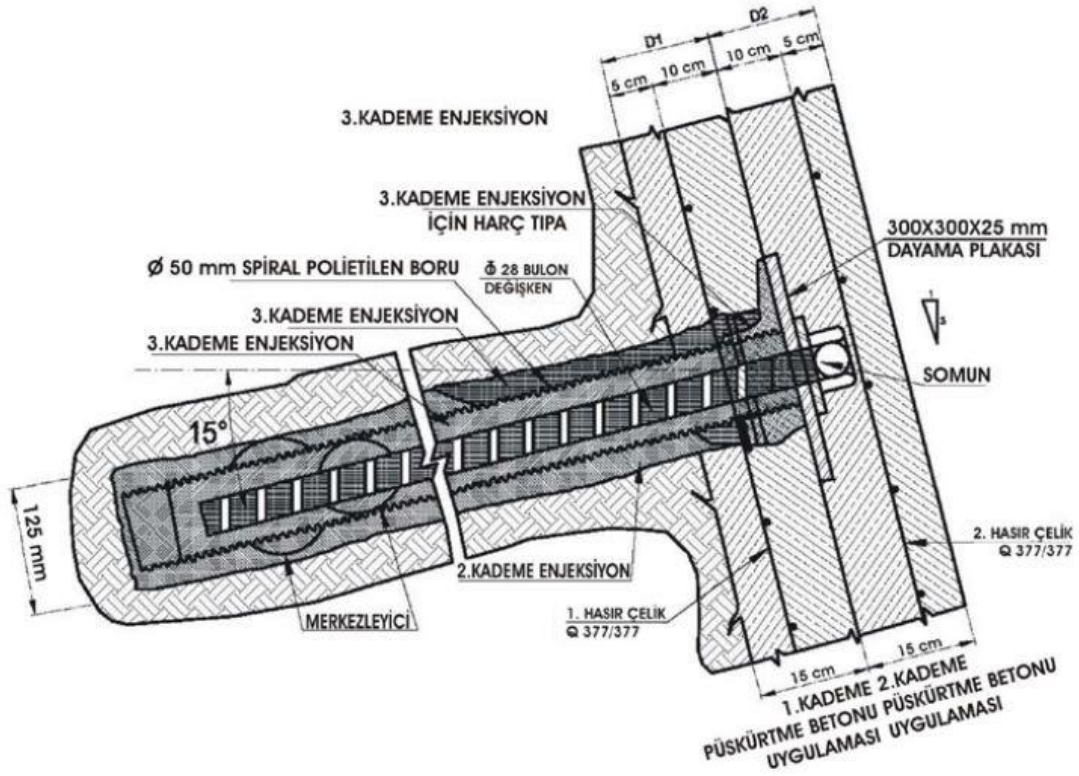


Şekil 2.8. Bir kısım akma özelliklerini içeren karmaşık kayma (Bromhead, 1986)

2.4. Şev Stabilitesi Problemlerinin Çözümünde Zemin Çivisi Yöntemi

2.4.1. Zemin çivisi

Zemin çivileri, derin kazı ile yapılan yapılarda kazı durabilite uygulamalarında ve şev stabilitesinin desteklenmesinde zemin yüzeyinden zemine yük aktarımını sağlayan bir destekleme elemanıdır. Zemin çivileri genellikle çelik çubuk veya fiber halat donatılardan oluşmaktadır, zemine yük aktarımını güvenli bir şekilde yapmak ve korozyona karşı koruma sağlayabilmek amacıyla genellikle delik içerisindeki boşluklar çimento enjeksiyonu ile doldurulmaktadır. Aynı zamanda, delik içerisine doldurulan enjeksiyon çevre etki alanını genişleterek birim boyda etkili olan çevresel etki kuvvetini arttırmaktadır. Ayrıca zemin çivileri ile yapılan destekleme sistemlerinde sistem üzerine yapılacak olan şevi kapatma amaçlı kaplama işlemi önemli bir yapıdır. Kaplama işlemi, zemin çivileri ile desteklenen yüzeyin aktif bölgelerinin stabil olarak kalmasında etkili bir rol oynamaktadır. Şekil 2.9.'da tipik bir zemin çivisi uygulaması kesiti görülmektedir (KTŞ, 2013). Zemin çivisi en basit ifade ile zemin yüzeyine tesis edilmiş pasif ankraj olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.9. Zemin çivisi uygulaması tip enkesiti (KTŞ, 2013)

2.4.2. Zemin çivisi uygulamasını oluşturan imalat malzemeleri

Zemin çivisi ile destekleme uygulaması için gerekli olan malzemeler, yapının yapılacağı zemini kazmak ve hafriyatını taşımak için gerekli iş makineleri, çivi uygulamasını yapabilmek için gerekli delme makinesi ve şev yüzey kaplaması için gereken malzemeleri içermektedir. Bu araçlar, çivileri ve paslanmaya karşı koruma elemanlarını, delik içerisine yapılacak enjeksiyonu, drenaj için gerekli malzemeleri, kaplama için malzemeleri ve zemin çivisi donatısı başı ile kaplama yapısı arasında etkileşimi sağlayan sistemi içermektedir (Elias ve Juran, 1991).

2.4.2.1. Çiviler

Zemin çivileri, korozyona karşı korunma derecelerine ve tesis edilme yöntemlerinin dayandığı esasa göre şu şekilde sınıflandırılabilirler:

- Çakma çiviler; Bu sistem ile tesis edilen zemin çivileri geçici nitelikte takviye uygulamaları için kullanışlıdır. Çakma rijitliğini artırma için 15-46 mm çapındaki

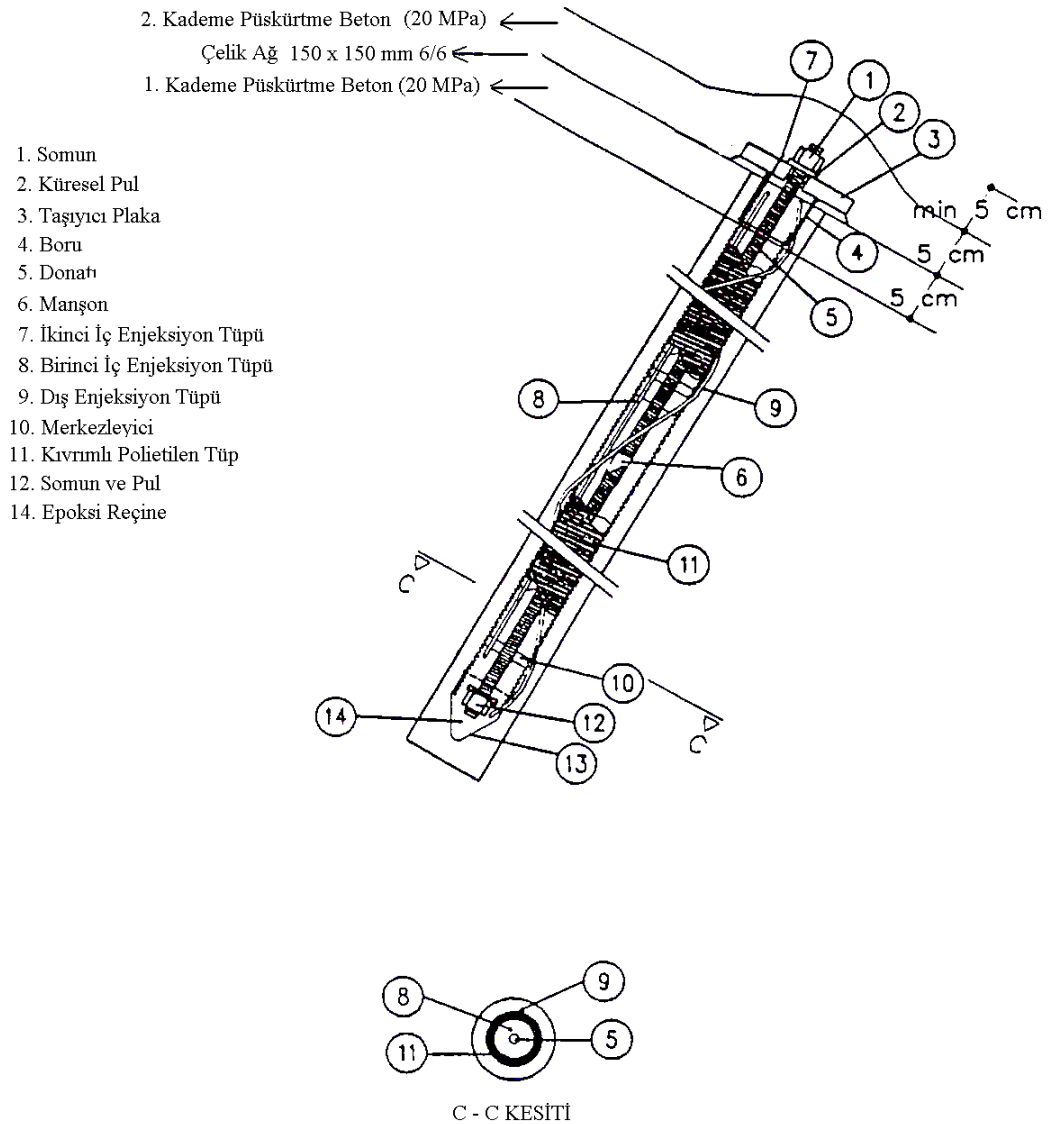
çelik donatı elemanlarından oluşan bu zemin çivilerinin maliyetleri düşüktür. Homojen, dayanıklı, kompozit, desteklenmiş zemin kütlelerinin oluşturulabilmesi için mümkün olduğunca sık aralıklarla yani ortalama m^2 'de 2-4 adet olacak şekilde tesis edilirler. Çakma zemin çivileri, havalı, darbe-titreşimli veya hidrolik olarak çalışan çekiçlerle zemine çakılırlar. Bu uygulama tekniği oldukça hızlı ve ekonomiktir; saatte yaklaşık 3-5 adet çivinin zemine uygulanmasını yapmaya olanak sağlar. Ancak sert blokları, iri daneleri ve aşınmış kayaları içermeyen zemin şartları çivi uzunluğunu belirli ölçülerde sınırlamaktadır (Elias ve Juran, 1991).

- Enjeksiyonlu çiviler; Enjeksiyonlu zemin çivisi uygulaması hem sürekli hem de geçici olarak yapılan uygulamalar için kullanışlıdır. Çapları 15-46 mm arasında değişen çakma mukavemetleri yüksek çelik donatı elemanlarından meydana gelirler. Zeminde zemin çivisini oluşturan donatı çubuğunun çapına uygun olarak açılan sondaj delikleri içinde tesis edilirler. Sondaj delikleri zemine kullanılacak iş makinesine bağlı olarak karotla sondaj, rotari sondaj, darbeli sondaj, burgulu sondaj veya çok sık kullanılmamakla beraber çakma kaplama borusu yöntemi ile açılır. Enjeksiyon işlemi ise, sondaj deliği tabanında yerçekiminin etkisi veya daha düşük bir basınçla gerçekleştirilir. Zemin çivilerinin enjeksiyonu delik kökünden delik ağzına doğru yapılmalıdır, çünkü sondaj deliği içinde bir su durumu olursa çimento ayrışabilir veya herhangi bir göçme durumu söz konusu ise enjeksiyon işlemi başarısızlıkla sonuçlanabilir. Çiviler arası mesafe, projeye ve zemin profiline uygun olarak merkezleri esas alınarak uygun aralıklar (karelaj) ile tesis edilirler.

- Jet enjeksiyonlu zemin çivileri; Jet enjeksiyonlu olarak uygulanan zemin çivileri, çelik donatılı zemin çivisi ile enjeksiyon ile doldurulmuş zeminden oluşan ve ikisi birlikte uygulanan birleşik bir çivileme tekniğidir. Geçici olarak yapılan uygulamalarda kullanılırlar, ancak korozyonda korunması gerekliliği çok düşük mertebelerde ise devamlı uygulamalarda da kullanılabilirler. Jet enjeksiyonlu zemin çivileri titreşimli darbeli sürücü kullanılarak yüksek frekans (70 Hz'e kadar) ve yüksek enjeksiyon basınç değeri altında (>2000 psi) uygulanırlar. Enjeksiyonlama işlemi, zemin çivisi boyunca uzanan küçük çaplı bir boru yardımıyla ya da çelik çubuk üzerine kaynaklanmış çelik bir tüp yardımıyla yapılmaktadır. Bu şekilde uygulaması yapılan basınç, çevredeki zeminde hidrolik olarak kırılmalar meydana getirebilecek düzeydedir. Ek olarak, jet enjeksiyon tekniği çevre zemininin yeniden kompaksiyonu ve ıslahı için

bir araçtır. Özellikle daneli zeminlerin kesme ve çekme direncini arttırdığı bilinmektedir (Elias ve Juran, 1991).

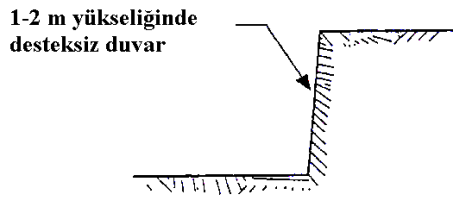
• Korozyon korumalı kapsüllü çiviler; Kapsüllü çiviler, yüksek derecelerde korozyon etkisine karşı koruma ihtiyacı duyulan kalıcı nitelikteki uygulamalarda kullanılırlar. Bu tarz uygulanan çivilerde çelik donatı çubuğu, enjeksiyon, plastik veya çelik bir tüp vasıtasıyla rutubete karşı korunmaktadır. Amerika’da destekleme elemanlarını korozyondan korumak için epoksi ile kaplanmış zemin çivisi geliştirilmiştir. Korozyon korumalı zemin çivisinin tip kesiti Şekil 2.10.’da gösterilmektedir.



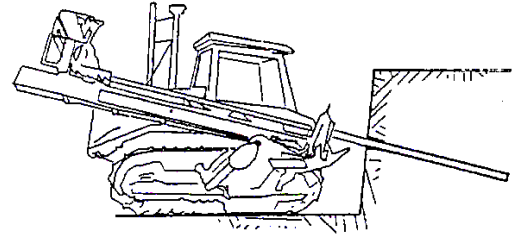
Şekil 2.10. Korozyon kaplamalı kapsüllü zemin çivisi tipkesiti (Üstündağ, 2003)

2.4.3. Zemin çivisi uygulaması inşaat aşamaları

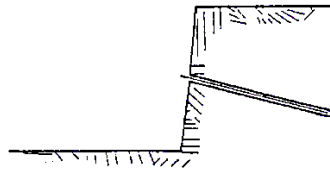
Zemin çivisi ile desteklenen yapıların inşaatı diğer tekniklere göre çok daha basittir. Çalışma yapılacak alanın delgi makinası için platform hazırlanmasından başka herhangi bir hazırlık gerekmemektedir. Kazı işlemlerinin zemin siyah kotundan aşağı kotlara doğru ilerlemesi ile kazı oluşturulmaya başlanır. Şekil 2.11’de yapılan tipik bir zemin çivisi uygulaması aşamaları görülmektedir. Zemin çivileri ile desteklenmiş şevlerin yapım aşamaları aşağıdaki sıra ile ilerlemektedir.



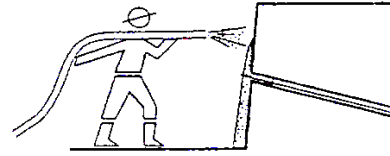
1. Adım : Küçük Kazı



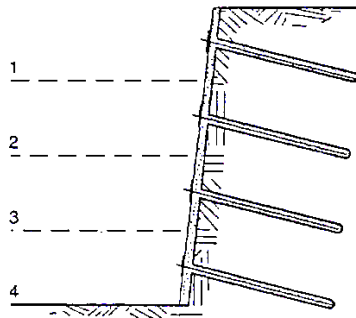
2. Adım : Çivi İçin Delik Açılması



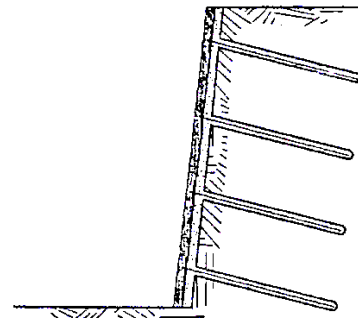
3. Adım : Çivinin Yerleştirilmesi ve Enjeksiyonu



4. Adım: Drenaj Şeritlerinin, İlk Püskürtme Beton Tabakanının ve Taşıyıcı Plakanın Yapılması



5. Adım: Kazı Tabanına Kadar İşlemler Tekrarlanır



6. Adım: Nihai Kaplamanın Yapılması (Kalıcı Duvarlarda)

Şekil 2.11. Zemin çivileri ile destekleme uygulaması inşaat aşamaları (Byrne, 1998)

2.4.3.1. Kazı İşlemi

Zemin, ilk sıranın desteklemesi için zemin çivisinin uygulanacağı zemin kotundan delgi makinesinin rahat olarak uygulama yapabileceği şekilde daha düşük bir kota kadar kazılır. Kazının derinliği zemin profiline bağlı olarak değişmektedir. Stabilitesi düşük, kendisini tutamayan zeminlerde, zemin çivisinin ve yüzey kaplamasının tesis edilmesi için gerekli süre zarfında geçici bir destekleme yöntemine başvurulabilir. Kazma çalışmaları uygun iş makineleri ile yapılır, püskürtme beton uygulanacak ise püskürtme beton ihtiyacını minimize etmek amacıyla daha düzgün bir şev yüzeyi oluşturmak için özen gösterilmelidir.

2.4.3.2. Delme İşlemi

Zemin çivilerinin yerleştirileceği delikler, önceden projede belirlenmiş oldukları yerlerde belirli uzunluk ve şeve dik olacak eğimde zemin profiline uygun bir delme yöntemi ile delikler açılır. Delme yöntemleri olarak kendini tutabilen zeminlerde kaplamasız metodlar (kuru-hava basınçlı delgi yöntemini kullanan dönmeli veya dönme darbeleri metodlar), stabilitesi daha düşük olan zeminlerde ise kaplamalı metodlar (tek tüp ve hava/su basınçlı çift dönerli delgi metodları) içermektedir. Delme yöntemi öncelikle zeminin profiline, daha sonra ise yapımı üstlenen yüklenicinin kendi tercihinine bağlıdır. Delikler, zeminin stabilite durumuna bağlı olarak, çökme eğilimine ve delik içerisinde yer altı suyu durumuna bağlı olarak muhafaza borulu veya muhafasız olarak teşkil edilirler. Delgi işlemi sonrası uygulama alanı suyun etkisiyle oluşan çamurdan iyice temizlenmelidir. Eğer çamurun temizlenmemesi gibi bir durum söz konusu olursa çamur sonraki aşamada sürtünme kaybına sebep olacak ve etkili olacak olan sürtünme kuvvetini düşürecektir. Delik içerisi hava ile temizlenecek olursa zeminde kırılmaların olmaması için uygulanacak havanın hızı ve hacmi mümkün olduğunca ılımlı, orta derecede olmalıdır. Bu durum özellikle rezidüel zeminlerde veya fazla aşınmış kayalarda önemlidir. Muhafaza borusu olmayan deliklerin temizlenmesi su ile yapıldığı zaman, hemen akabinde yapılacak olan enjeksiyonlama işlemi esnasında oluşması öngörülen aderans gerilmeleri düşecektir. Delgi ve deliğin temizlenme işlemi sonrasında donatı çubuğu, merkezlendiriciler ve deliğin sonuna kadar donatı çubuğu ile birlikte uzanacak bir enjeksiyon hortumu ile delik içine yerleştirilir.

2.4.3.3. Çivilerin Yerleştirilmesi ve Enjeksiyonlanması

Zemin çivilerinin tesisi, titreşim darbe esaslı hidrolik çekiç ile çelik donatı çubukları zeminde açılan delik içerisine sürme işlemi ile gerçekleştirilir. Eğer destekleme elemanlarına delik içerisinde enjeksiyonlanma yapılacak ise kullanılacak olan ekipman delgi ve enjeksiyonlama işlemi malzemelerinin her ikisi ile birlikte delik içerisine sürülmelidir. Zemin çivisi için gerekli olan delik projesinde veya raporunda istenilen derinlikte açıldıktan sonra zemin çivileri merkezlendirici kullanılarak deliğe yerleştirilirler. Çiviler yeterli uzunlukta ve enjeksiyon işlemini kolaylaştırmak, şevin stabilitesinin daha güvenli olabilmesi için şev eğimine dik olacak şekilde uygulanmalıdırlar. Enjeksiyon şerbeti cazibeli olarak veya gerekmesi durumunda uygun bir basınç ile pompalanarak delik içerisinde tam dolu kesit elde edilir. Enjeksiyonlama işlemi deliğin kökünden baş kısmına doğru yapılır. Delik içerisi temizlendikten sonra, delik içinde çubuğun delik merkezinden kaçmasını engelleyecek merkezleyiciler kullanılarak donatı çubuğu ve enjeksiyonlama hortumu yerleştirilir. Enjeksiyonlama hortumunun ucu, zemin çivisi deliğinin köküne ulaşılmaya kadar kapalı tutulur. Deliğin kök noktasında hortumun ucu açılarak enjeksiyonlama işlemine başlanılır.

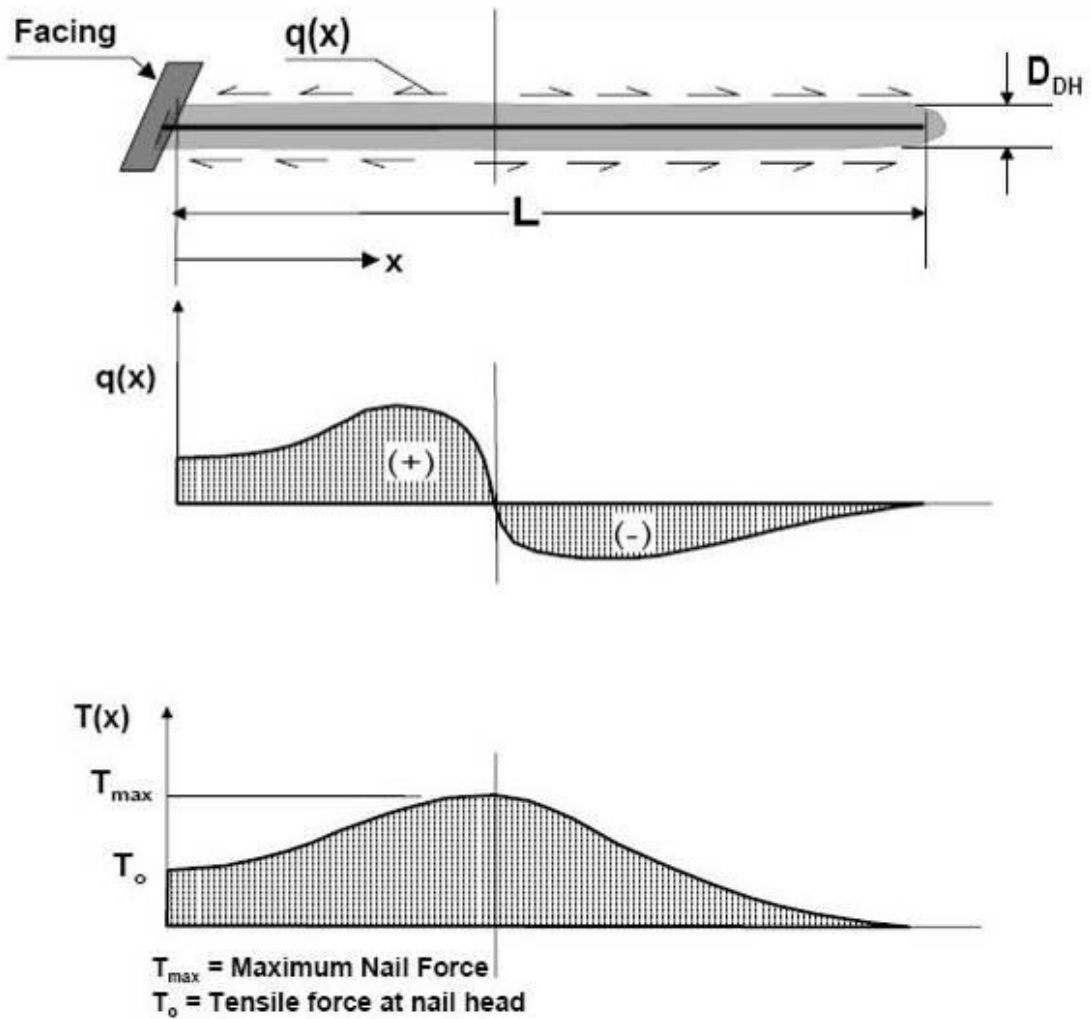
2.4.3.4. Kaplamanın Yapımı ve Plakaların Montajı

Hava basıncı ile uygulaması yapılan ıslak karışım yöntemleri, daha tecrübesiz bir işçi ile uygulanabileceği için tavsiye edilir. Ayrıca bu uygulama yöntemi ile donma-erime noktası özellikleri bakımından daha etkili bir sonuç alabilecek şekilde su-çimento karışım oranı daha kolay kontrol edilebilmekte, karışımı oluşturan malzemeler karışım içerisine rahatça ilave edilebilmektedir. Çok tabakalı yapılan tasarımlarda, ilk başlangıç püskürtme beton tabakası kalınlığı 5 ile 10 cm aralığında değişebilmektedir. Takviye ağı olarak kullanılacak olan hasır çelikler ilk başlangıç püskürtme beton işlemi yapıldıktan hemen sonra 4-5 cm'lik bir kaplama kalınlığı elde edilecek şekilde dikkatli bir biçimde yerleştirilir.

Püskürtme beton ile yapılan kaplama işleminin ardından plakaların montajı uygulaması yapılır. Çivilerin baş kısımlarında açılan yivlere sıkılacak somunlardan önce dik olarak yerleştirilecektir. Daha sonra plakalar üzerine somunlar sıkılarak zemin çivisini ileriki aşamalarda gevşeme durumuna tedbir alınacaktır.

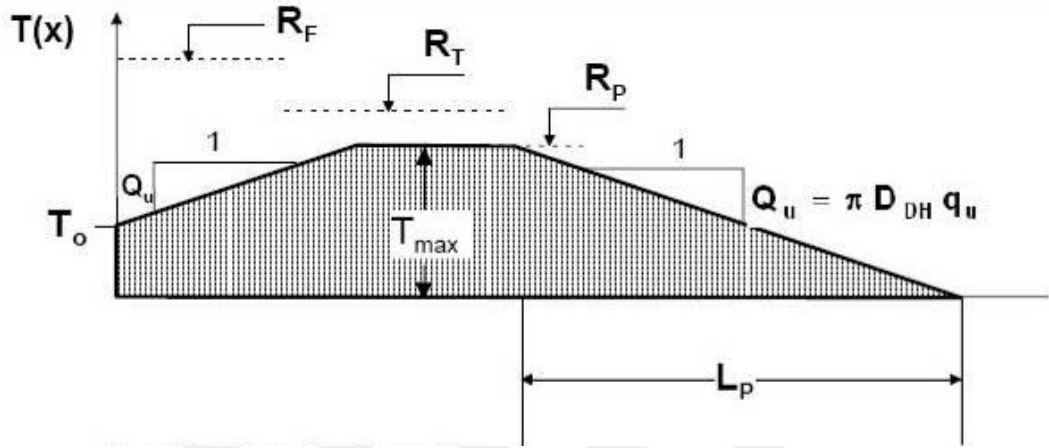
2.4.4. Zemin çivisi tasarımında yüklerin gelişimi

Zemin çivisi uygulamalarında aktif ve pasif olmak üzere iki bölge vardır. Aktif olan bölgede zemin ile çivi arasındaki yükler kazı yüzeyi boyunca yanal olarak iletilirler. Pasif bölgede ise karşı direnç gösteren gerilmeler genişleme yönünün tersi yönde etki eder. Çekme kuvvetleri zemin çivisinin en uç noktasında başlar orta kısımlarında maksimuma ulaşır ve zemin çivisinin baş kısmında tekrar azalır. Kayma gerilmesi (T) ve enjeksiyon-çivi arasındaki hareketli kayma gerilmesinin (q) değişimi Şekil 2.12.'de gösterilmiştir (FHWA, 2003).



Şekil 2.12. Zemin çivisi yük aktarımı mekanizması (FHWA, 2003)

Tasarımı gösterme amacıyla çekme kuvveti en basit haliyle Şekil 2.13.'de gösterilmiştir. Çivideki gerilme kuvveti çivinin ucunda sıfırdan başlar, sabit bir eğim ile olan artış birim uzunluk başına çekme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Q_U), en yüksek değerine ulaşır (T_{max}), daha sonra çivi kafasında ise Q_U değeri azalarak (T_O) değerine düşer. Çivideki maksimum gerilme çekme kapasitesi (R_P), gerilme kapasitesi (R_T) veya kaplama kapasitesi (R_F) ile sınırlıdır (FHWA, 2003).



Şekil 2.13. Zemin çivisinin çekme kuvvetlerinin basitleştirilmiş dağılımı (FHWA, 2003)

R_T = Çivi Çekme Kapasitesi

R_F = Kaplama Kapasitesi

R_P = Çekme Kuvveti

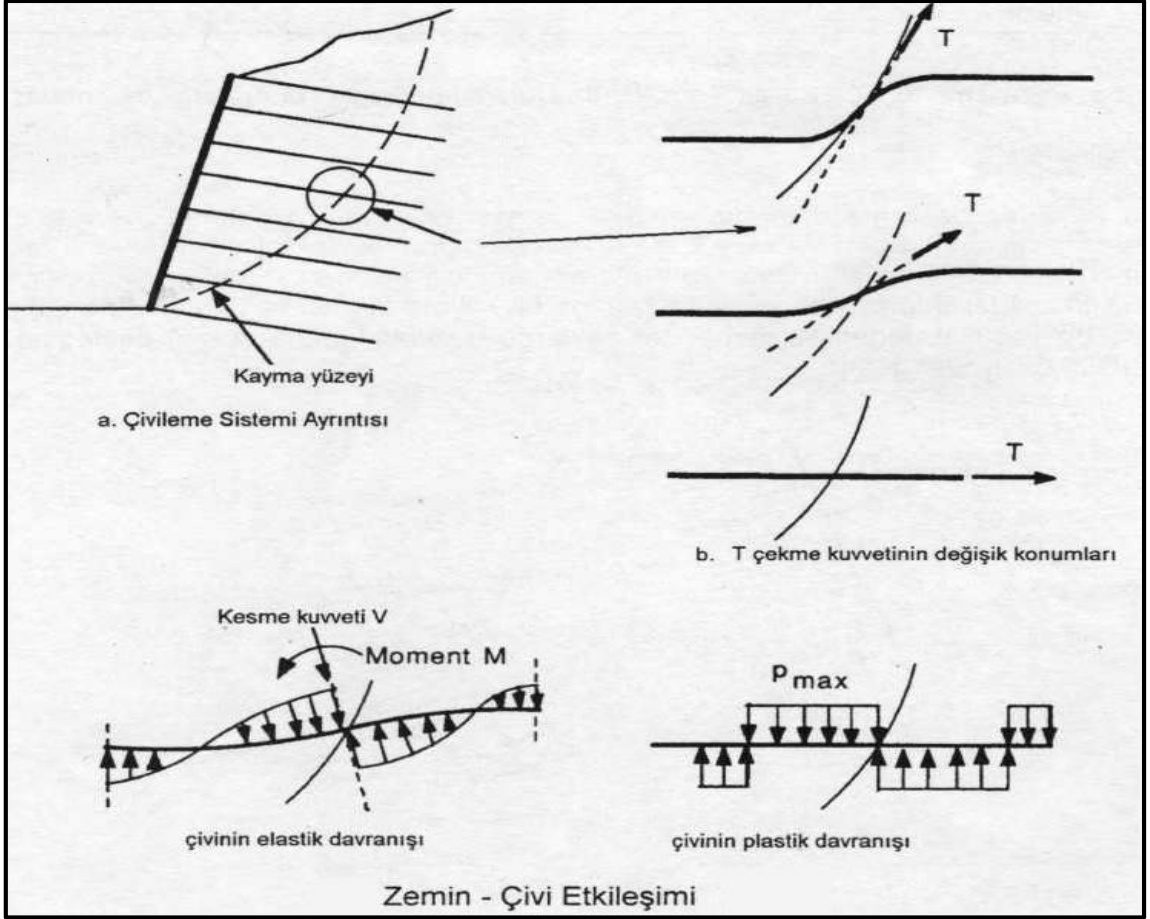
Q_U, q_u = Nihai yük aktarım hızı ve bağlanma dayanımı

$T_O \sim 0.6-1.0 T_{max}$

a) $R_P < R_T < R_F$ (Çekme kontrolleri yukarıdaki örnekte gösterilmiştir.)

b) $R_T < R_P < R_F$ (Çekme dayanımı kontrolleri)

c) $R_F < R_P$ veya R_T (Kaplama dayanımı T_O/T_{max} değerine bağlı olarak kontrol edilebilir.) (FHWA, 2003)



Şekil 2.14. Zemin-Çivi etkileşimi örnek kesiti

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Mühendislik çalışmalarında şev terimi hem doğal olarak oluşan hem de daha sonra yapım çalışmaları neticesinde oluşturulan (yapay) eğimli yüzeyler anlamına gelmektedir. Bu eğimli yüzeyler, kendi kütleleri altında veya dışarıdan etki eden yükler sonucunda stailitelerini yitirebilirler. Böyle durumlarda şev hareketlerinin etkilediği alandaki yapılarda hem servis güvenliği açısından hem de ileride şevin genel stabilite bozuklukları yönünden büyük peoblemler oluşabilir. Şev hareketleri ve heyelanlar, sel felaketleri ve depremlerden sonra dünyada en çok can ve mal kaybına neden olan afetlerdir. Ülkemizde en tehlikeli afetler olarak depremler ve heyelanlar (toprak kaymaları) ilk sıralarda yer almaktadır.

Heyelanlar veya şevlerdeki stabilite bozukluklarının nedeni, zemin kütlesi içerisindeki denge durumunun doğal olarak veya dışarıdan müdahale ile bozulmasıdır, başka bir tanımla zeminin kendi içerisinde kuvvet dengesini yitirmesidir (Tekin, 2011). Bu durum için iki farklı etkiden bahsedilebilir;

- 1) Stabilitenin bozulmasında etkili olan uzun dönem faktörleri
- 2) Dengenin yitirilmesine sebep olan kısa dönem faktörleri

Stabilitenin bozulmasında uzun dönem faktörleri Springman (2002) tarafından aşağıda tanımlanmıştır:

- Doğal ya da yapay şevlerde yapılan yapılar ile birlikte şevlerin kullanımında ya da şeklinde değişiklik,
- Zemini oluşturan jeoloji (kil ya da daha zayıf zeminlerin varlığı),
- Zeminin gerilme geçmişi,
- Zeminde daha önce meydana gelmiş heyelanların ve eski bir kayma yüzeyinin oluşması ve bu durumun günümüzde henüz fark edilememiş olması,
- Çok eskiden meydana gelmiş tektonik hareketler sebebiyle zemin içinde oluşmuş kayma eğrileri,
- Ayrışmadan dolayı ana zemin yapısından farklı minerallerin ve daha zayıf zeminlerin oluşmasına neden olan yapı,
- Erozyon sebebiyle şev geometrisinin bozulması veya zemin içerisine dışarıdan

su sızması ve malzemenin yıkanma etkisi nedeniyle iç yapısının değişmesi,

- Yüzeysel sular ve yeraltı suları nedeniyle zemin dayanımının düşmesi,
- Şişen zemin yapılarının varlığı.

Dengenin yitirilmesine sebep olan kısa dönem faktörleri ise:

- Aşırı yağın yağışlar sebebiyle zeminin suya doygun hale gelmesi yağın karların erimesi, yüzeysel olarak yapılmış olan drenlerin yeterince çalışmaz duruma gelmesi,
- Sızan suların basıncı, yeraltı sularının mevsimlere bağlı olarak dalgalanması,
- Deprem yükleri veya herhangi bir sebeple dışarıdan oluşturulan titreşimler,
- Zemine yükleme esnasında şevin geometrisi veya yapılan yeni bir yapı sebebiyle oluşan değişiklikler,
- Şevin geometrisinde değişiklik olması.

İlerdeki bölümlerde yukarıdaki etkiler sebebiyle şev stabilitesinin hangi seviyelerde bozulduğunun tespiti ve toptan göçmelere karşı güvenlik durumlarının hesaplanması amacıyla geliştirilmiş analiz yöntemlerinden biri olarak sonlu elemanlar gerilme analizi yönteminden bahsedilecektir.

3.1. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemi Olarak Sonlu Elemanlar Destekli Gerilme Yöntemi

Kullanılan bazı limit denge yazılım programları bu analiz tekniğini kullanarak güvenlik sayısı hesaplanmasında daha gerçekçi bir sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemi anlamak için önce analiz yöntemlerinden limit denge yöntemleri ile elde edilecek olan gerilmelerin doğruluğunun ortaya konulması gerekmektedir.

3.1.1. Limit Denge Analizlerinde Gerilme Durumu

Bir limit denge analizi çözümünde birinci derecede önemli olan kuvvet, zemin dilimi tabanında oluşan normal kuvvettir. Limit denge analizlerinden hesaplanan gerilme değerlerinin temsili olmamasının nedeni ise analizlerde tüm dilimler için aynı güvenlik sayısının sabit olarak kullanılmasıdır. Krahn (2004) tarafından ifade edildiği

gibi güvenlik sayısı her dilim için değişkenlik gösterebilir. Tüm dilimler için güvenlik sayısının eşit olarak alınması nedeniyle limit denge yöntemlerinden elde ettiğimiz gerilmeler her zaman için gerçekçi veya temsili olarak ele alınamamaktadır.

Krahn (2004), limit denge analizlerinin sistemi gereği gerçek olmayan gerilmeler ile hesap yapıldığını bilerek, uzun yıllardır kullanılan limit denge yöntemi ile elde edilen sonuçların farklı uygulama projelerinde başarılı bir sonuç verdiğini ifade etmektedir. Krahn'ın (2004) belirttiğine göre, limit denge analiz yaklaşımında oluşturulan her dilim için sabit alarak aynı güvenlik sayısı kullanılması bu tür bir sonucu doğurmaktadır. Dilim yöntemini kullanarak hesaplanan limit denge analizlerinin yapılabilmesi ve güvenlik sayısının bulunması için iteratif (tekrarlayan) bir teknik kullanılması gerekmektedir (Tekin, 2011). M-P ve Spencer yöntemlerinde güvenlik sayısının bulunabilmesi için iki ayrı denklem sisteminin çözülmesi gereklidir. Tekrarlı çözümlerin karşılaması gereken iki ölçüt bulunmaktadır:

- Her dilimde kuvvet dengesini sağlayan kuvvetlerin bulunması
- Her dilimde güvenlik sayısının aynı olmasını sağlayan güvenlik sayısının bulunması

Dolayısıyla, limit denge analizlerinde sağlanması gereken kıstas arazi gerilemelerinin belirlenmesi ve gerçekçi bir şekilde analizlere dahil edilmesinden çok yukarıdaki iki şartın her dilim için sağlanmasıdır. Krahn'a (2004) göre eğer hesaplarda kullanılan gerilmeler gerçekçi değil ise dilimler arası normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkelerinin etki noktasını belirlemek de mümkün değildir. Ancak yine Krahn (2004) tarafından ifade edildiği üzere, limit denge denklemlerinden dilim bazında elde edilen kuvvetler gerçekçi olmasa da tüm daire için elde edilen güvenlik sayıları gerçekçidir. Dilimler üzerinde etki eden devirici ve koruyucu itkiler toplandığında yerel dengesizlikler birbirini götürmekte ve incelenen kayma dairesi için elde edilen güvenlik sayısı gerçekçi bir değer almaktadır.

3.1.2. Sonlu Elemanlar Sonuçlarına Dayalı Limit Denge Analizleri

Önceki kısımlarda açıklanmış olduğu gibi, limit denge analizleri sonucunda elde edilen gerilmeler sadece oluşturduğu kayma dairesinin kendisine ait denge denklemlerini sağlamayı hedeflemekte ve bu nedenle genellikle arazideki gerçek

gerilme durumunu gösterememektedir. Sonlu elemanlar analiz yönteminden elde edilen zemin gerilmeleri daha gerçeğe yakın ve kabul edilebilir sonuçlar vermektedir.

Daha önce ifade edildiği gibi limit denge analizi bakış açısıyla bir şevin güvenlik sayısı, o şevin göçmesi için zeminin kayma mukavemetini hangi miktarda azaltmak gerektiğini ifade eden sayıdır. Limit denge yöntemlerinin doğası gereği zemin mukavemetinin kohezyon ve sürtünme bileşenleri için güvenlik sayısı tüm zeminler için eşittir. Güvenlik sayısı da tüm dilimler için aynıdır. Sonlu elemanlar yöntemlerinde bu kabullerin kullanılması gerekmez. Bu nedenle de güvenlik sayılarının hesabında kullanılan yaklaşımlarda birbirinden farklıdır. Sonlu elemanlar ile hesaplanan güvenlik katsayısı bir kayma düzlemi boyunca direnen kayma kuvvetlerinin (kayma mukavemeti) toplamı ile mobilize olan kayma gerilmelerinin oranı olarak hesaplanır. Zeminlerin kayma mukavemetinin belirlenmesine yönelik birçok teori bulunmaktadır. Bunlar arasında Mohr-Coulomb kırılma hipotezi zeminler için sıklıkla kullanılır. Mohr-Coulomb kırılma hipotezi Denklemi 3.1.'de verilmektedir.

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (3.1.)$$

Mobilize olan kayma gerilmeleri sonlu elemanlar analiz yöntemini kullanan programlardan rahatlıkla elde edilebilir. Eğer sonlu elemanlar ağında dilim tabanındaki bir düğüm noktasına etkiyen x ve y doğrultusunda etkiyen gerilmeler σ_x ve σ_y ise ve yine dilim tabanında x-y düzlemlerindeki kayma gerilmesi de τ_{xy} ise dilim tabanına etkiyen normal gerilme σ_n ve kayma gerilmesi τ_m aşağıdaki denklemler ile bulunabilir (Denklem 3.2. ve Denklem 3.3.). Bu denklemlerde θ açısı +x eksenine ile normal gerilme arasındaki değer olarak alınmaktadır (Tekin, 2011).

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (3.2.)$$

$$\tau_m = \tau_{xy} \cos 2\theta - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta \quad (3.3.)$$

3.2. Şev Stabilitesi Analizinin Program ile Yapılması

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen analizlerde aşağıdaki verilen konular araştırılmıştır.

- Dayanım (gerilme) azaltma faktörü (SRF) ile yapılan analizlerden elde edilen

güvenlik katsayılarının karşılaştırılması,

- Şev duraysızlığının başlangıç ve gelişiminin SRF ile tespit edilmesi,
- Şev yüzeyleri boyunca destekleme elemanı seçiminin SRF ile tespit edilmesi,
- Şev yüzeyleri boyunca destekleme elemanı yerleşiminin en uygun karelajının SRF ile tespit edilmesi,
- Zemin çivileri (pasif ankraj) üzerindeki kesit tesirlerinin ve deplasmaların belirlenmesi.

Limit denge metodunun yanı sıra literatürde “Strength Reduction Factor” (SRF) olarak kullanılan ve bu çalışmada “Dayanım Azaltma Faktörü” olarak ifade edilen yöntem kullanılarak da 1/3 şev eğiminde çok sayıda şev stabilitesi analizi yapılmıştır. Daha önceki bölümlerde limit denge metodu detaylı olarak açıklandığı için bu kısımda SRF ile ilgili gerekli bazı bilgiler verildikten sonra, sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılan ve şev destekleme elemanı seçiminin yapıldığı RS² (Phase² v9.0) programı tanıtımı kısaca yapılacaktır. Sonrasında ise Ermenek-Mut devlet yolu üzerinde projelendirilen Çamlıca Köprüsü giriş (Ermenek) yarma şevlerinin RS² (Phase² v9.0) şev stabilitesi analizi ve destekleme sistemi tasarımı programda 1/3 şev eğiminde modellenerek temel kazı şevlerinde en uygun destekleme elemanı seçimi yapılacaktır.

3.2.1. Dayanım azaltma faktörü (SRF)

Sonlu elemanlar analiz yöntemlerini kullanan şev stabilitesi analizleri, toptan göçme durumlarındaki güvenlik katsayısını detaylı bir biçimde tanımlamazlar. Bu sebeple gerilim azaltma faktörü (SRF) olarak ifade edilen metottan faydalanılır (Giam ve Donald, 1988; Matsui ve San, 1992). Herhangi bir şevde güvenlik katsayısı, şevin bulunduğu zeminin parametreleri $\tan\phi$ ve c 'nin belirli bir yöntem ile azaltılması sonucunda söz konusu şevin toptan göçmesine sebep olacak kritik değer olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemin kullanılmasıyla, mobilize olan kayma dayanımı parametreleri c'_m ve ϕ'_m sırasıyla ve deklemlerinden elde edilebilir (Denklem 3.4. ve Denklem 3.5.) (Tekin, 2011).

$$c'_m = \frac{c'}{GS_{SRF}} \quad (3.4.)$$

$$\phi'_m = \tan^{-1} \frac{\tan(\phi')}{GS_{SRF}} \quad (3.5.)$$

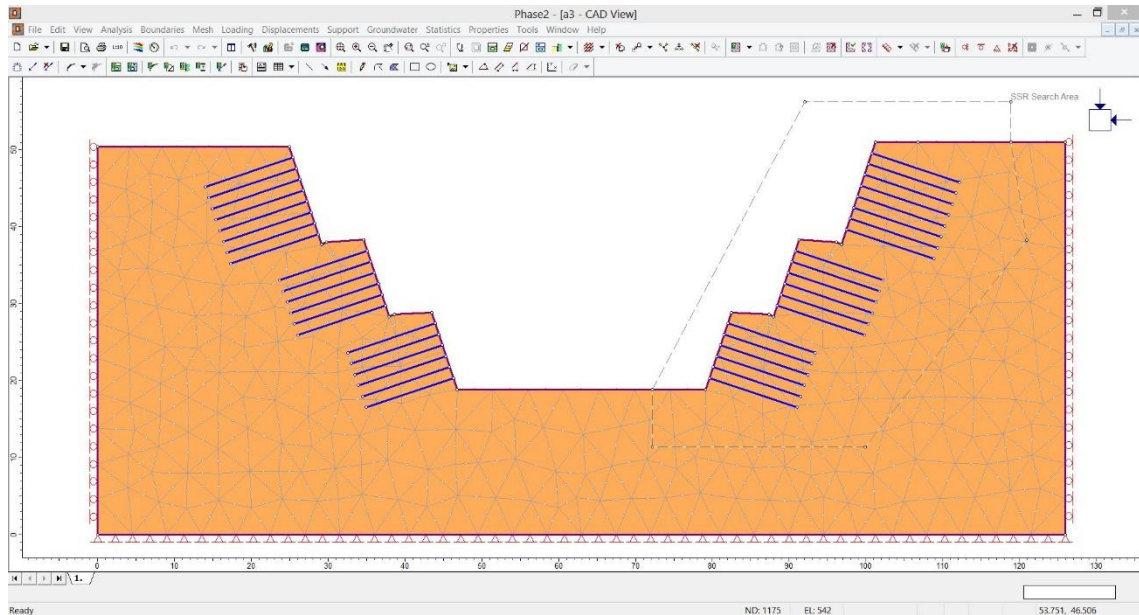
Bu denklemlerdeki c'_m ve ϕ'_m sırasıyla efektif kohezyonu ve zeminin kendi efektif içsel sürtünme açısını belirtmektedir. Sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak bir şev in toptan göçme durumunun tespit edilmesi amacıyla farklı göçme durumları geliştirilmiştir. Snitbhan ve Chen (1976)'e göre göçme, şevdeki zeminin kabarması ile tespit edilebilmektedir, Duncan ve Dunlop (1969) ise şevdeki kayma yüzeyine ait kayma gerilmelerinin azaltılması ve belirli bir değerde sabit tutulması durumundaki göçmeyi tanımlamaktadır. Zienkiewicz ve Taylor (1989) ise yapılan sayısal analizlerin sonuçlarının elde edilen herhangi bir değere yakın olmaması durumunda göçmenin oluştuğunu ileri sürmektedir. Bazı yakınlık kriterlerinden elde edilen güvenlik katsayıları ne kadar değişken ve birbirine göre yakın olmasa da, son zamanlarda yapılan çalışmalar yakın olmama tekniğinin daha realist sonuçlar verdiğini belirtmektedir. Örneğin, Ugai ve Leshchinsky (1995) söz konusu tekniği kullanarak yaptıkları bir analiz sonucunda, birbirlerini takip eden iki dayanım azaltım değeri için kesişim noktası deplasmanlarında meydana gelecek artışın oluşacak toplam deplasmana oranından çıkan değer in 500 farklı iterasyon sonucunda 10^{-5} den küçük olmasının kabul edilebilir olacağını ifade etmişlerdir. Sayısal olarak yaklaşmanın kaybolmasına ilave olarak kesişim noktası deplasmanlarında artış meydana gelecektir. Bundan dolayı, sayısal yaklaşmanın kaybolduğu durumun belirlenebilmesi için kesişim noktasındaki deplasmanların takip edilerek kontrol altında tutulması da yeterli olabilecektir.

3.2.2. RS² (Phase² v9.0) Şev stabilitesi analizi ve destekleme sistemi tasarımı programı

Günümüzde bilişim ve yazılım teknolojisindeki gelişmeler mühendislik alanındaki yapılan analiz yöntemlerine büyük yenilikler ve kolaylıklar getirmiştir. Standart sayısal analiz yöntemlerini kullanmak yerine daha farklı ve yeni sayısal analiz yöntemleri ve algoritmalar geliştirilerek bilim ve teknoloji alanında ilerlemeler kaydedilmiştir. Geliştirilen yöntemlerin başında ise hiç kuşkusuz “Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi” yer almaktadır. Söz konusu analiz yöntemi ile inşaat mühendisliğinde zemin dinamiği, zemin-yapı etkileşimi, taşıma gücü, yükleme, akım ağı konularında ve zemini oluşturan malzemelerin çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

RS² (Phase² v9.0) yazılımı, iki boyutlu sonlu elemanlar gerilme analizini kullanarak yeraltı veya yüzeysel kazılar ve bu kazılarda yapılacak olan destekleme

sistemi tasarımı için kullanılan son derecede etkili ve güvenli bir programdır. RS² (Phase² v9.0) programı ile kaya veya zeminlerde yapılacak olan uygulamalarda şev stabilitesi analizleri yapıp, yeraltı suyu ve dinamik analiz durumları tamamen modellenebilmektedir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. RS2 (Phase2 v9.0) programı genel görünüşü

Program ile zemin materyalleri için modellemeler yapılabilmektedir. Anizotropik kaya ve zeminler tanımlanabilmekte, Mohr-Coloumb başlığı oluşturularak, zemin ve kayada sertlik derecesi oluşturulabilmektedir. Sürekli veya geçici sızma durumlarını kullanarak sonlu elemanlar analizi ile yeraltı suyu boşluk basıncı belirlenebilmektedir. Konsolidasyon analizleri için RS² (Phase² v9.0) Biot teorisine dayanan sıvı/katı analizleri için birlikte çözüm üretilebilmektedir. Biot teorisi boşluklu doymuş bir ortamda yani bir sıvıyla tamamen doymuş hale gelmiş bir zemindeki dalga yayılımını tarif etmektedir (Biot, 1956).

RS² (Phase² v9.0) çok çeşitli destekleme modeli seçeneği oluşturma imkanı tanımakta, çok fazla destekleme elemanı çeşidi ve kaplama yapısı içermektedir. Kaplamalar için istinat duvarlarını, kazıkları, geotekstilleri, çelik ağ sistemlerini ve daha fazlasını modellenebilmektedir. Program destekleme kapasitelerini belirlemede Canadian Standarts Associations (CSA, 2004) 23.3, American Concrete Institute (ACI, 2011) 318-11, Eurocode2 (EC2, 2004) EN1992-1 standartları kullanılmaktadır.

Program şev stabilitesi analizleri için ise kayma dayanımı azaltma yöntemini (SRM) kullanmaktadır. Bu yöntem Mohr-Coloumb veya genelleştirilmiş Hoek-Brown dayanım parametrelerini kullanarak tamamen otomatik olarak hesap yapmaktadır. Şev için modelleme çizimleri ve tanımlamaları başka programlarda yapılarak IMPORT edilebilmekte ve RS² (Phase² v9.0)'de hesaplamalar yapılabilmektedir.

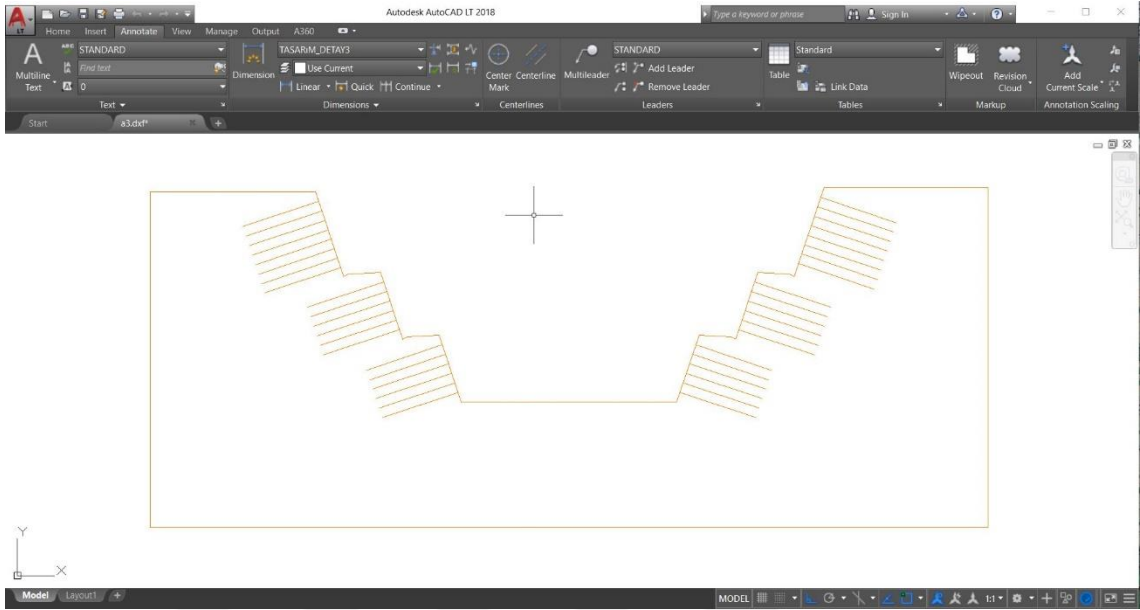
Programda dinamik analiz seçeneği ile deprem durumu, patlama olması durumu ve çalışma yapılan kesimdeki makinelerin dinamik yükleri de incelenebilmektedir. RS² (Phase² v9.0) dinamik sınır durumlarında kullanıcının gelen basıncı ve kayma durumlarını sönümlemesine imkan tanımakta, modele hareket vermesini sağlamak ve kullanıcı tanımlı hareket sönümleyici ve iç içe geçmiş kütleler oluşturmasına olanak tanımaktadır.

RS² (Phase² v9.0) programında çözüm yapmak için önce çalışma yapılacak kesimin geometrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında geometrinin belirlenmesinde çalışma yapılacak kesimdeki arazinin durumu, trafik can ve mal güvenliği gibi çeşitli etkenler göz önünde bulundurularak proje aşamasında belirlenmiş olan 1/3 şev eğimine uygun olarak çizimler yapılmıştır. Çizimlerin yapılmasında farklı programlar kullanılabilen bu tez çalışmasında geometri çizimi AutoCAD programı üzerinde POLYLINE komutu ile yapılarak RS² (Phase² v9.0)'de import komutu kullanılarak geometri programa aktarılmıştır (Şekil 3.2.). Çalışma yapılacak olan zemin tek formasyondan oluştuğu için sınırlar tek olacak şekilde belirlenmiştir. Çok tabakalı bir formasyon söz konusu olduğunda çizgisel elemanlar artırılarak sınırlar belirlenebilmekte ve her bir sınır için ayrı ayrı zemin parametreleri oluşturulabilmektedir.

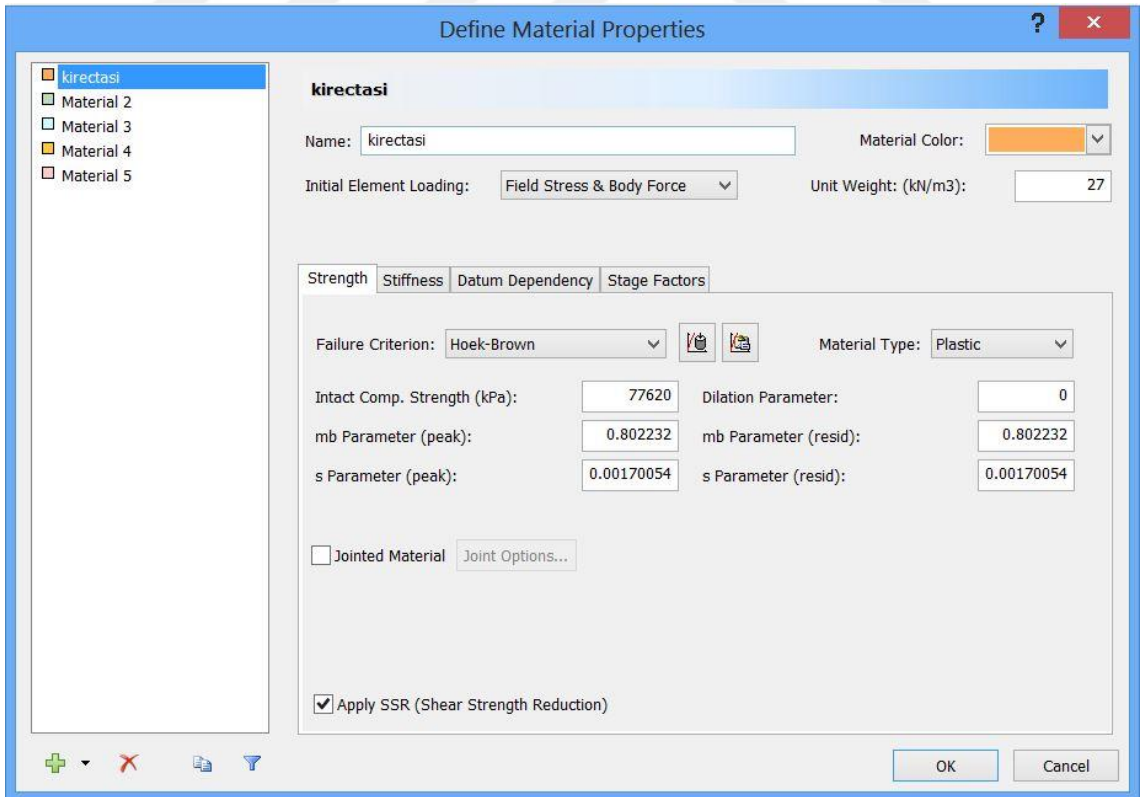
Çalışma yapılacak olan alanın geometrisi oluşturulduktan sonra farklı çap ve uzunluklarda kullanılacak olan destekleme elemanları da boyutlarına, geometrisine ve karelaje uygun olarak şeve dik gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çizim tamamladıktan sonra çizimin RS² (Phase² v9.0) programına import edilebilmesi için .dxf formatında kaydedilmiştir.

RS² (Phase² v9.0) programına geometri aktarıldıktan sonra PROPERTIES menüsü altında DEFINE MATERIAL komutu kullanılarak zemin parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerden ileriki bölümlerde daha detaylı olarak bahsedilecek olup, sahadan alınan numunelere yerinde ve laboratuvarında yapılan deneyler neticesinde elde edilmiştir (Şekil 3.3.). Malzeme için yenilme ölçütü olarak Hoek-Brown yenilme ölçütü seçilmiştir. Zemin özellik olarak kireçtaşı formasyonunda olduğu için uygun

birim hacim ağırlık belirlenmiş, poisson oranı girilmiş, zemin davranışı olarak da plastik zemin tipi seçilmiştir.



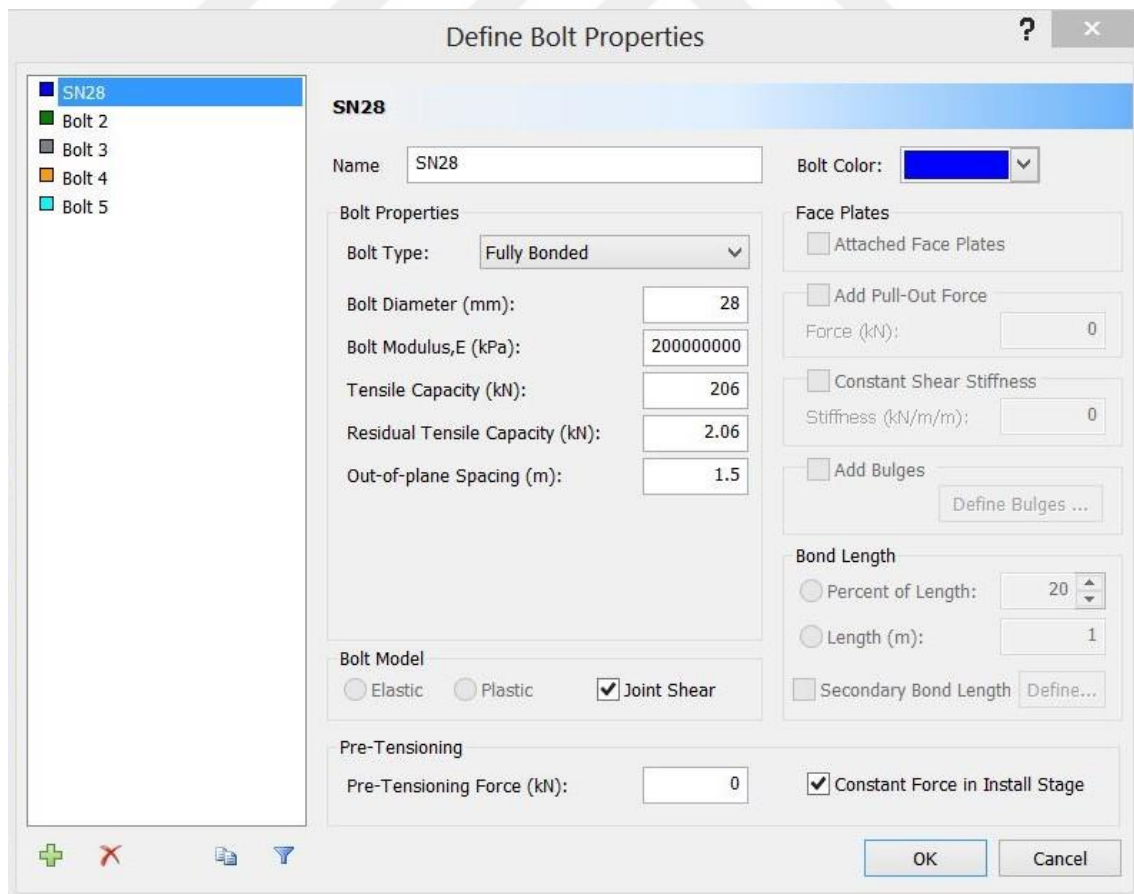
Şekil 3.2. AutoCAD Şev geometrisi çizimi genel görünümü



Şekil 3.3. RS² (Phase² v9.0) Zemin parametreleri belirleme arayüzü

Zemin parametreleri belirlenip tanımlaması yapıldıktan sonra destekleme elemanı seçimi ve tanımlaması yine zemin parametrelerini tanımlama da olduğu gibi PROPERTIES menüsü altında DEFINE BOLTS komutu kullanılarak yapılmıştır. Destekleme elemanı seçimini yaparken zeminin desteklemesiz davranışı incelenir ve uygun olan destekleme elemanı seçimi yapılır. Bu tez çalışması kapsamında farklı çap ($\text{Ø}26$, $\text{Ø}28$, $\text{Ø}30$, $\text{Ø}32$), uzunluk (8 m, 10 m, 12 m, 16 m) ve kareajlerde olan 64 farklı zemin çivisinin analizleri yapılarak en uygun destekleme elemanı belirlenmiştir.

Destekleme elemanı olarak tam dolu kesit elde edeceğimiz “fully bonded” destekleme elemanı seçilmiştir (Şekil 3.4.). Kullanacağımız zemin çivileri için açılan deliklerinin içerisi enjeksiyonla doldurulacağı için bu seçim yapılmıştır. Zemin çivisi için kullanacak donatının çapları programa girilmiştir. Standart donatı kullanılacağı için uygun olan elastisite modülü de programa girilmiştir. Donatının çekme kapasitesi değişkenlere bağlı olarak Denklem 3.6.’daki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Zemin çivisi yerleşimi ise yatayda ve düşeyde 1.5x1.5 m, 2.0x2.0 m, 3.0x3.0 m ve 4.0x4.0 m olacak şekilde kareaj olarak programa girilmiştir.



Şekil 3.4. RS² (Phase² v9.0) Destekleme elemanı tanımlama arayüzü

$$F_b = 0.80x \frac{\pi x D^2}{4} x F_{yu} x 1000 \quad (3.6.)$$

Burada;

F_{yu} : ST42 (S420) Donatının Çekmede Akma Dayanımı (420 N/mm²)

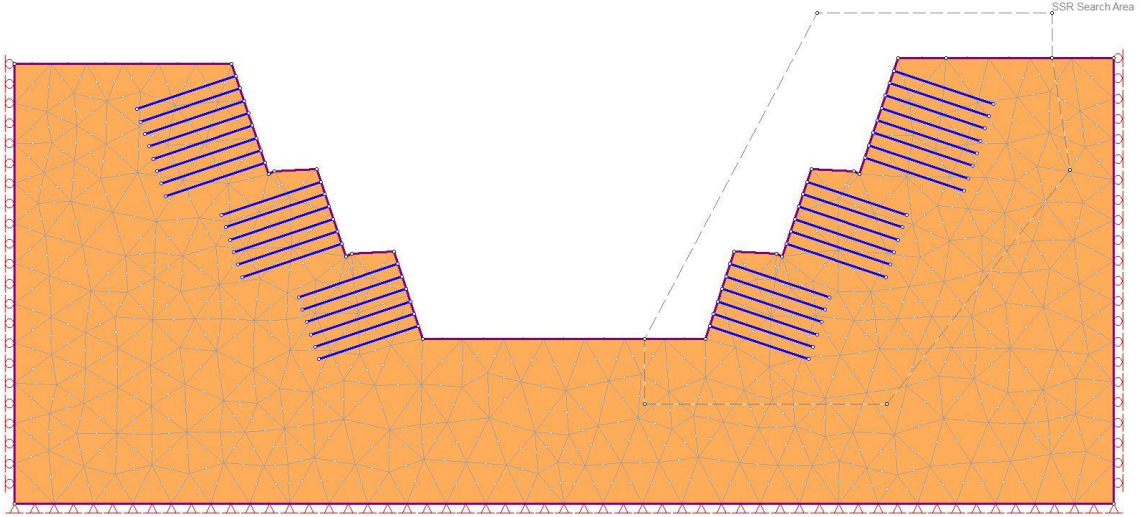
D: Donatı çeliğinin çapı (m)

F_b : Bulonun çekme dayanımı (kN)

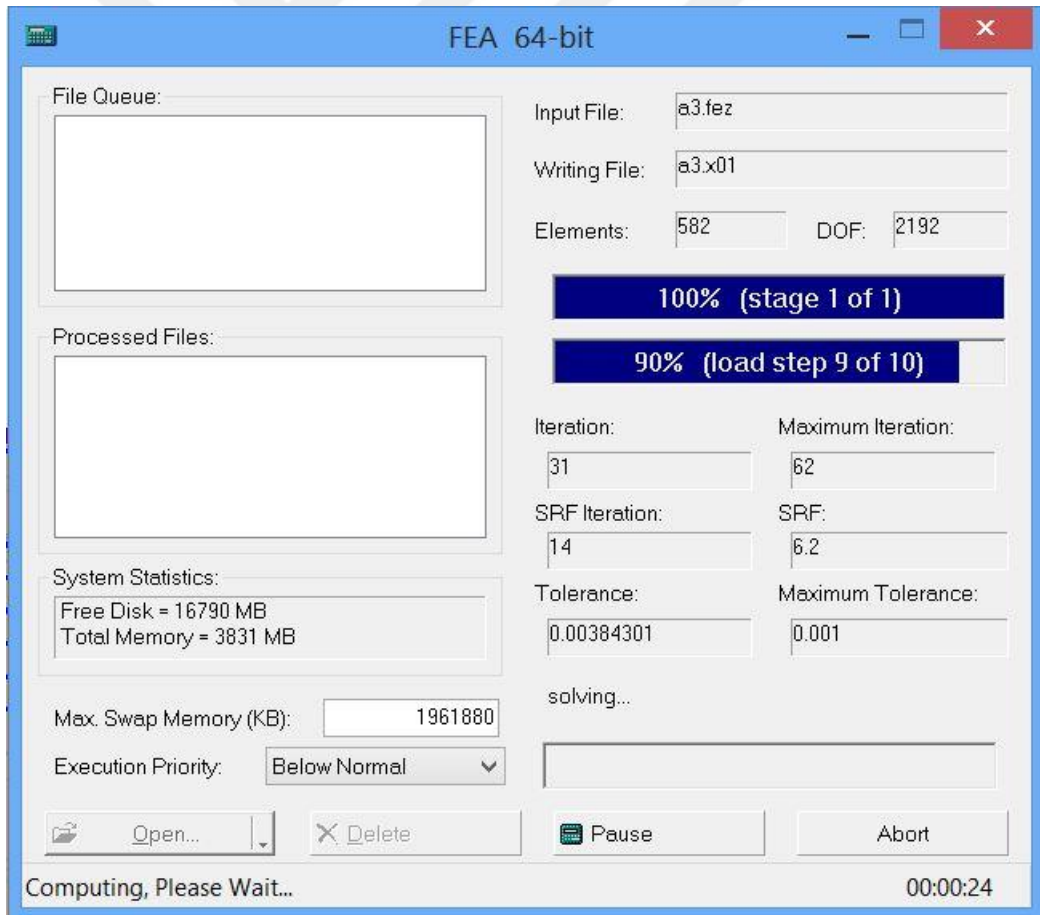
Destekleme elemanı tanımlaması da yapıldıktan sonra analiz yapılmak istenen geometriyi sistem olarak tanıtabilmek için MESH menüsü altında DISCRETIZE and MESH komutu kullanılarak üçgen model ve ağ ile modellenmiştir. Daha sonra serbest çalışacak olacak kısımlar yani hareket etmesi muhtemel olan yüzeyler hareketli mesnet olarak, asıl taşıyıcı olan ana kayaya yakın olan alt kısımlar ise sabit mesnet olarak tanımlanmıştır. Program analizleri bu mesnet durumlarını göz önünde bulundurarak yapmıştır. Daha sonra ise programın analiz yapması istenilen kritik olarak belirlenen kısımlar ANALYSIS menüsü altında yer alan DEFINE SSR (Shear Strength Reduction) SEARCH AREA (POLYGON) komutu kullanılarak belirlenmiştir. Bu komut ile kayma dayanımı azaltma yani gerilim azaltma faktörünün (SRF) belirlenmesi istenilen alan seçilmiştir (Şekil 3.5.).

Proje için belirlenmiş olan özellikler ANALYSIS menüsü altındaki PROJECT SETTINGS komutu içerisinde programa girilmiştir. Daha sonra ise projede analiz yaparken programın kullanmasını istenilen yükleri belirlemek için LOADING menüsü altında FIELD STRESS komutu içerisinde zeminin kendi içerisindeki yükler belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamındaki projede yeraltı suyu olmadığı için herhangi bir su tanımlaması yapılmamıştır. Bunlar dışında kazı şevlerine gelecek olan herhangi bir dış yük bulunmadığı için farklı bir yük tanımlaması da yapılmamıştır.

Tez çalışması kapsamında farklı çap, uzunluk ve karelaçlarda bulunan 64 farklı destekleme elemanları programa aynı komutları kullanarak tanımlanmıştır. Oluşturulan modelleri program içinde ayrı ayrı kaydedilerek COMPUTE komutu ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen dayanım azaltma faktörleri (SRF) karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 3.5. SSR (Shear Strength Reduction) alanı belirlenmiş ve üçgen ağ olarak modellenmiş geometrinin arayüzü



Şekil 3.6. RS² (Phase² v9.0) Compute (hesaplama) arayüzü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde Konya Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü bünyesinde yapım çalışmalarına başlanılan Ermenek-Mut devlet yolu üzerinde bulunan Çamlıca Köprüsünün giriş (Ermenek) temel kazı şevlerinde yapılan geoteknik araştırmalar sonucunda yapımına başlanılan şev destekleme elemanı seçimi ile ilgili yapılan analizler ve analiz sonuçları anlatılmış gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

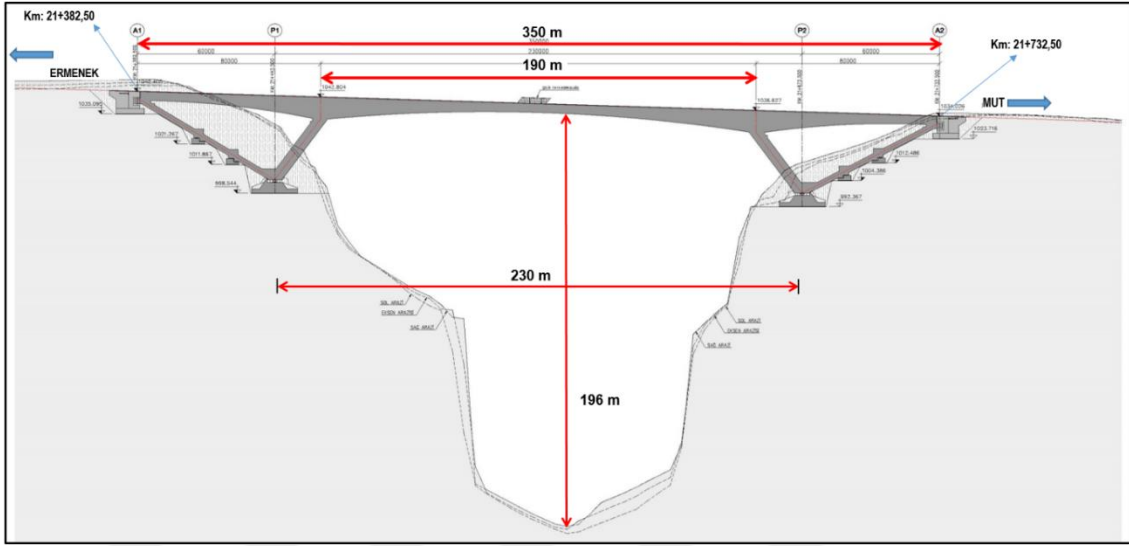
4.1. Ermenek-Mut Devlet Yolu Çamlıca Köprüsü

340-05 Kontrol Kesim Numaralı Ermenek – Mut Devlet Yolu üzerinde Eğik Ayaklı Konsol Köprü olarak projelendirilen Çamlıca Köprüsü, 190 metre orta açıklık ve 80'er metre kenar açıklıkları ile toplam 350 metre uzunluğunda olacaktır. Proje Kilometresi olarak Km: 21+382,50 – 21+732,50 arasındaki kesimde yapılacak ve geçilen vadi tabanından itibaren 196 metre yükseklikte inşa edilecek olan köprünün tamamlanmasıyla mevcut yola göre yaklaşık 2000 metre kısalma sağlanacaktır. Ermenek–Mut Devlet Yolunun Çamlıca Köprüsü geçişinde hâlihazırda kullanılmakta olan bu 2000 metre uzunluğundaki kesiminin % 8,37 olan boyuna eğimi, Çamlıca köprüsünün tamamlanmasıyla %3,25 mertebesine düşürülecektir.

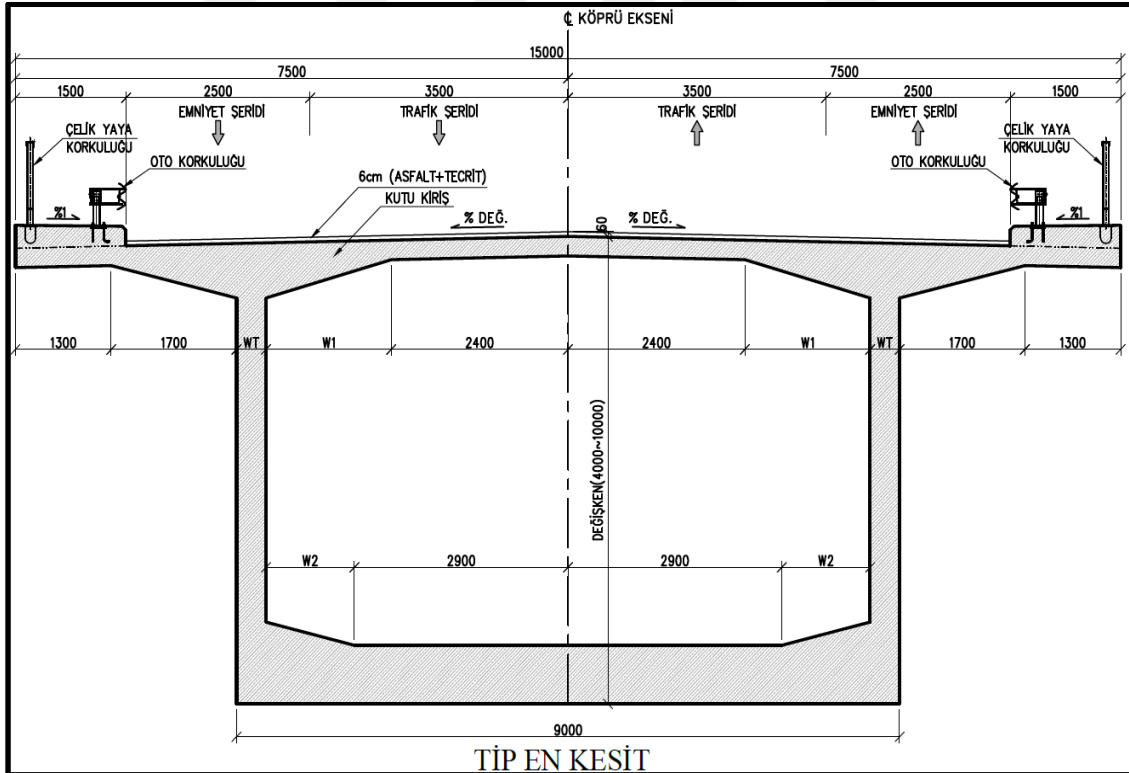
Mevcut yolun gerek yatay gerekse düşey geometrisinde trafik güvenliği ile sürüş emniyeti açısından önemli oranda standart artışı getiren ve Ülkemizde bu tarzda (Eğik Ayaklı Konsol Köprü) projelendirilerek yapımına başlanan ilk köprü olma özelliğinde olan Çamlıca Köprüsü, dünyada bu nitelikte yapılmış 2. ve geçilen 190 metre orta açıklık uzunluğu ile bu alanda 1. Sırada yer alacaktır.

Arazi ve geometrik koşullar dikkate alındığında Çamlıca Köprüsü için uygun olabilecek alternatif projeler arasından ardgermeli beton tabliye sistemine sahip “Eğik Ayaklı Konsol Köprü” tipi seçilmiştir. Bu tip ile geçilebilecek orta açıklık 190 metre olarak belirlenmiştir. Seçilen bu veya buna yakın bir açıklıkta, mevcut arazi koşulları nedeniyle klasik dengeli konsol köprünün uygun olmadığı görülmüş, bu sebepten ötürü ayakların eğik olması tercih edilmiştir. Bu şekilde belirlenen ayakların oturduğu temel eksenleri arası mesafe ise 230 metredir. İskele kalıp sistemi ile inşa edilecek 80'er metrelik kenar açıklıklarla birlikte toplam köprü boyu 350 metredir. Köprü güzergahında bordürler arası yol genişliği 12.0 metre olup, 2 adet 1.50 metre

genişliğinde bordürlerle birlikte toplam köprü eni ise 15.0 metre olarak belirlenmiştir. Köprü boyuna yönünde % 3.25 değerinde eğim vardır (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.).



Şekil 4.1. Çamlıca Köprüsü Boykesiti



Şekil 4.2. Çamlıca Köprüsü Enkesiti

Çamlıca Köprüsü yapım metodolojisine göre, öncelikli olarak temel kazı çalışmaları ve buna bağlı olarak gerek yan şevler gerekse arka şevlerdeki kazı destek imalatlarının tamamlanması gerekmektedir. A1 ve A2 kenar ayaklarındaki kaya ankrajlarının yapılmasından sonra A1, A2, P1 ve P2 temelleri 1. kademelerine kadar tamamlanacak ve bu aşamada her bir temel için öngörülen mesnetlerin montajının ardından arka-ön ayak birleşim bölgesi teşkili ile eğik ön ve arka ayak imalatlarına geçilecektir. Kenar açıklık ardgerme betonlarının imalatı için taşıyıcı çelik kalıp dikme ve kirişler ile gergi kuşaklarının montajı ile üçgen formundaki kenar çerçevelerin inşası bitirilecektir. Bu aşamadan sonra her iki taraftan eş zamanlı olarak kalıp arabaları kullanımıyla orta açıklığın yerinde dökme ardgerme beton imatları tamamlanıp kilit ano dökümü ile köprünün taşıyıcı sistem ardgermeli beton imatları son bulacaktır.

4.2. Çamlıca Köprüsü Giriş (Ermenek) Şevleri Geoteknik Proje Raporu Çalışmaları

Bu çalışmada, kamulaştırma problemlerinden ötürü 1/3 yarma şevi oranı ile açılmak durumunda kalınan ve birimin çok kırıklı - çatlaklı yapıda olması itibari ile kaya bulon destekleme sistemi önerilen köprü girişi yan şev yarmalarının geoteknik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu amaç ile yeni sondaj kuyuları açılmış ve laboratuvar deney verileri hazırlanmıştır. Ayrıca hesaplamalarda kullanılmak üzere; idealize kaya profili hazırlanmış, parametre seçimleri yapılmış ve uygun yarma şev oranları ile destek sistemleri önerilmiştir.

Arazi, laboratuvar ve bu kapsamdaki raporlama çalışmaları, LİMİT Teknik Araştırma, Proje, Uygulama, Müşavirlik Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarları kullanılarak yapılmıştır.

4.2.1. Köprü güzergahının yeri ve özellikleri

Projesi yapılacak olan Çamlıca Köprüsü girişi yan şev yarmaları, Karaman iline ait Ermenek ilçesi ile Mersin ili Mut ilçesi arasında D-340 karayolunun üzerinde planlanmaktadır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Proje alanının ülkemiz haritası üzerinde gösterimi

4.2.2. Arazi çalışmaları

4.2.2.1. Sondaj kuyuları

Çamlıca Köprüsü giriş yarması için toplam derinliği 217.0 m olan, SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4 No'lu sondaj kuyuları açılmıştır (Şekil 4.4. – Şekil 4.7.) (Çizelge 4.1.).

Enkesitlerde kullanılmak üzere daha önce açılmış olan sondaj kuyusu verilerinden de yararlanılmıştır.

Çizelge 4.1. Açılan sondaj kuyuları özet tablosu

KUYU NO	YERİ	DERİNLİK (m)	SAPMA (m)	KOORDİNATLAR (m)		KOT (m)
				KUZAY	DOĞU	
SK-1	Yaklaşım Yarması	55.00	18.95 Sol	4 054 317.22	501 400.02	1050.10
SK-2	Yaklaşım Yarması	50.00	12.76 Sol	4 054 318.46	501 459.12	1035.44
SK-3	Yaklaşım Yarması	55.00	18.29 Sağ	4 054 287.14	501 459.76	1036.41
SK-4	Yaklaşım Yarması	57.00	12.81 Sağ	4 054 294.86	501 473.76	1029.32
		217.00				



Şekil 4.4. SK-1 Sondaj kuyusu çalışmasından bir görüntü



Şekil 4.5. SK-2 Sondaj kuyusu çalışmasından bir görüntü



Şekil 4.6. SK-3 Sondaj kuyusu çalışmasından bir görüntü



Şekil 4.7. SK-4 Sondaj kuyusu çalışmasından bir görüntü

4.2.2.2. Araziden numune alınması

a) Örselenmiş numune alınması

Zemin tanımlaması amacı ile kullanılacak örselenmiş numuneler 2" dış çaplı ve 3/8" iç çaplı yarık numune alıcı ile alınmıştır. Alınan numunelerin doğal özelliklerini kaybetmemesi için numuneler iç içe geçmiş iki ayrı plastik torba içinde saklanmışlardır.

b) Karot numune alınması

Kaya sondajları sırasında, HQ çaplı Wireline karotiyer kullanılarak karot numuneler alınmıştır. Alınan karot numuneleri özel olarak hazırlanmış plastik sandıklarda muhafaza edilmiştir.

4.2.2.3. Eklem ölçümleri

Araziden alınan süreksizlik ölçümleri aşağıda listelenmiş (Çizelge 4.2. – Çizelge 4.6.) olup ileriki bölümlerde kinematik analizler yapılırken değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 4.2. 1 Nolu ölçüm yerinde yapılan gözlem sonuçları

Ölçüm Yeri No	Kilometre	Doğrultu Ve Eğimi	Tür
1	KM.21+360	K60D/90	Eklem
		K30B/90	Eklem
		K10B/10GB	Eklem
		K35B/79KD	Eklem
		K10B/80KD	Eklem
		K45B/29GB	Eklem
		K20B/73GB	Eklem
		K60D/15KB	Eklem
		K30D/72GD	Eklem
		K28B/52KD	Eklem
		K60D/79GD	Eklem
		K15B/54KD	Eklem
		KG/B20	Eklem

Çizelge 4.3. 2 Nolu ölçüm yerinde yapılan gözlem sonuçları

Ölçüm Yeri No	Kilometre	Doğrultu Ve Eğimi	Tür
2	KM.21+385	K10B/90	Eklem
		K35B/66	Eklem
		K20D/55GD	Eklem
		KG/76B	Eklem
		K40B/45KD	Eklem
		K54D/35GD	Eklem
		K70D/90	Eklem
		K60D/15GD	Eklem
		K30D/30GD	Eklem
		K10D/90	Eklem

Çizelge 4.4. 3 Nolu ölçüm yerinde yapılan gözlem sonuçları

Ölçüm Yeri No	Kilometre	Doğrultu Ve Eğimi	Tür
3	KM.21+400	K20B/70GB	Eklem
		K22B/80KD	Eklem
		K30D/75KB	Eklem
		K30B/10GB	Eklem
		K80D/74GD	Eklem
		K35B/66KD	Eklem

Çizelge 4.5. 4 Nolu ölçüm yerinde yapılan gözlem sonuçları

Ölçüm Yeri No	Kilometre	Doğrultu Ve Eğimi	Tür
4	KM.21+432	K5B/15KD	Eklem
		K71B/90	Eklem
		K73D/90	Eklem
		K25B/88GB	Eklem
		K20D/15GD	Eklem
		K20B/78KD	Eklem
		K25B/70KD	Eklem
		K80D/75GB	Eklem
		KG/90D	Eklem
		K70D/GD80	Eklem

Çizelge 4.6. 5 Nolu ölçüm yerinde yapılan gözlem sonuçları

Ölçüm Yeri No	Kilometre	Doğrultu Ve Eğimi	Tür
5	KM.21+440	DB/30G	Eklem
		DB/35G	Eklem
		K45B/45KD	Eklem
		K20B/53KD	Eklem
		K75B/70KD	Eklem
		K40B/69GB	Eklem
		DB/25G	Eklem
		K82B/54KD	Eklem
		K10D/90	Eklem

4.2.3. Çalışma yapılacak kesimin jeolojisi

4.2.3.1. Stratigrafi

Çalışma alanında üst Kretaseden - Eosene kadar geniş aralığa sahip Ofiyolitik melanj, Alt miyosen yaşlı Mut - Kösellerli formasyonu ile kuvaterner yaşlı yamaç molozu birimleri gözlenmektedir.

- **Ofiyolitik Melanj (Mof):**

Ofiyolitik melanj birimi, çalışma alanında yapılması planlanan köprü bitiminden yaklaşık 180 m uzaklıkta eksenin solunda dar alanda mostra vermektedir. Ofiyolitik melanj genel olarak siyahımsı gri, koyu yeşil, yeşilimsi kahve renkli, çok zayıf dayanımlı, çok - tamamen ayrılmış serpantinit biriminden oluşmaktadır.

- **Mut - Kösellerli formasyonu (Tm):**

Mut - Kösellerli formasyonu çalışma alanı ve civarında geniş yayılıma sahiptir. Proje alanında formasyon genel olarak kalın tabakalı kireçtaşlarından ve ara tabakalar halinde kiltası - kumtaşı - konglomera ardalanmasından oluşmaktadır. Konglomeralar formasyon içerisinde fazla yaygın değildir. Kireçtaşı birimi genel olarak grimsi, boz, bej renkli, orta derecede - çok ayrılmış, genellikle orta - iyi dayanımlı, çok kırıklı - çatlaklı, eklem yüzeyleri pürüzlü, dalgalı, çatlakları yer yer kalsit, yer yer de kil dolguludur. Bazı kesimlerde kumlu kireçtaşı birimi de gözlenmektedir. Kumtaşı - Kiltası - Konglomera birimleri yeşilimsi, yeşilimsi gri, koyu kahve renkli, zayıf - çok zayıf dayanımlı, orta derecede - çok ayrılmış, kırıklı - çatlaklı, yer yer killeşmiş, yer yer elle ufalanabilir

özelliğindedir. Kırık - çatlaklar mangan sıvımalı, dalgalı, pürüzlüdür. Formasyon kalın tabakalardan oluşmaktadır. Bu formasyon içerisinde alınan tabaka, eklem doğrultu ve eğimi aşağıda verilmiştir

- **Yamaç Molozu (Qym):**

Km:21+680' de projesi yapılan köprü bitiminden itibaren yamaç molozuna rastlanmaktadır. Yamaç molozu genel olarak açık kahve, grimsi, grimsi boz, yeşilimsi kahverenkli, bloklu, çakıllı, kumlu kil biriminden oluşmaktadır. Bloklar ve çakıllar köşeli, kumtaşı, kireçtaşı, konglomera, kiltası kökenlidir. Yamaç molozunun kalınlığı değişkenlik göstermekle beraber 10 m kadar ulaşan kalınlıkta olduğu gözlenmektedir.

4.2.3.2. Yapısal jeoloji ve tektonik

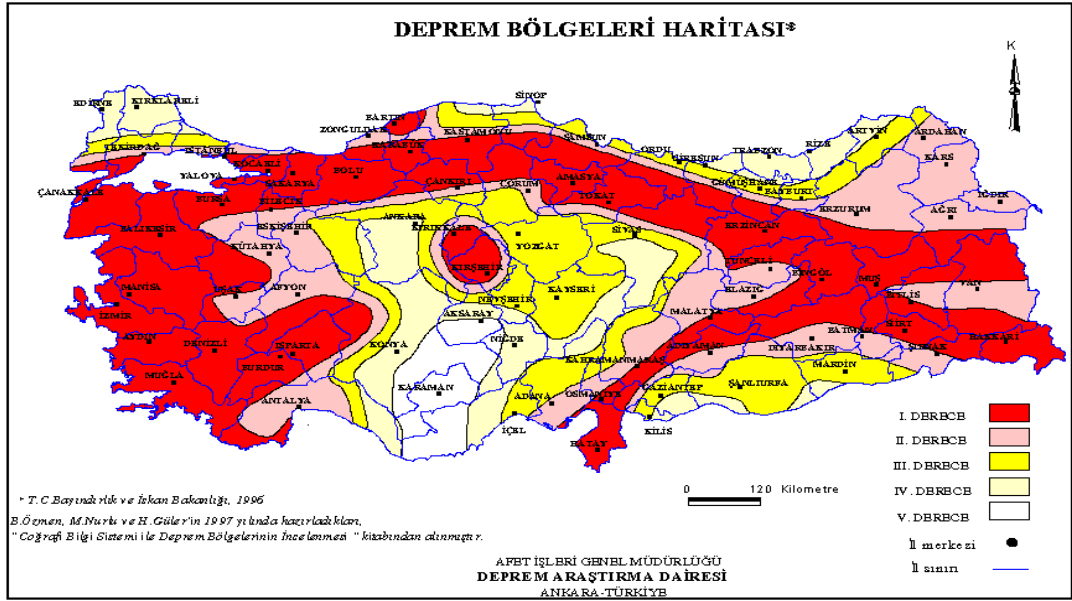
Konya ili Hadim ilçesi ve civarında, naplı-bindirmeli yapıların, Göksu Irmağı'nın açtığı derin vadi içlerinde aşındırılmaları sonucu, otokton konumlu kayalar açığa çıkar (Hadim Birliği). Otokton konumlu kayalar üzerinde yer alan naplı-bindirmeli yapılara "Göksu Napları" denilmiştir. Erken Alt Paleosen'den sonra gelişmeye başlayan sıkışmalı tektonik, özellikle ters faylarla, bindirmeli ve naplı yapıları oluşturmuştur. Kıvrımlanma gelişimlerine pek rastlanmaz.

4.2.3.3. Depremsellik

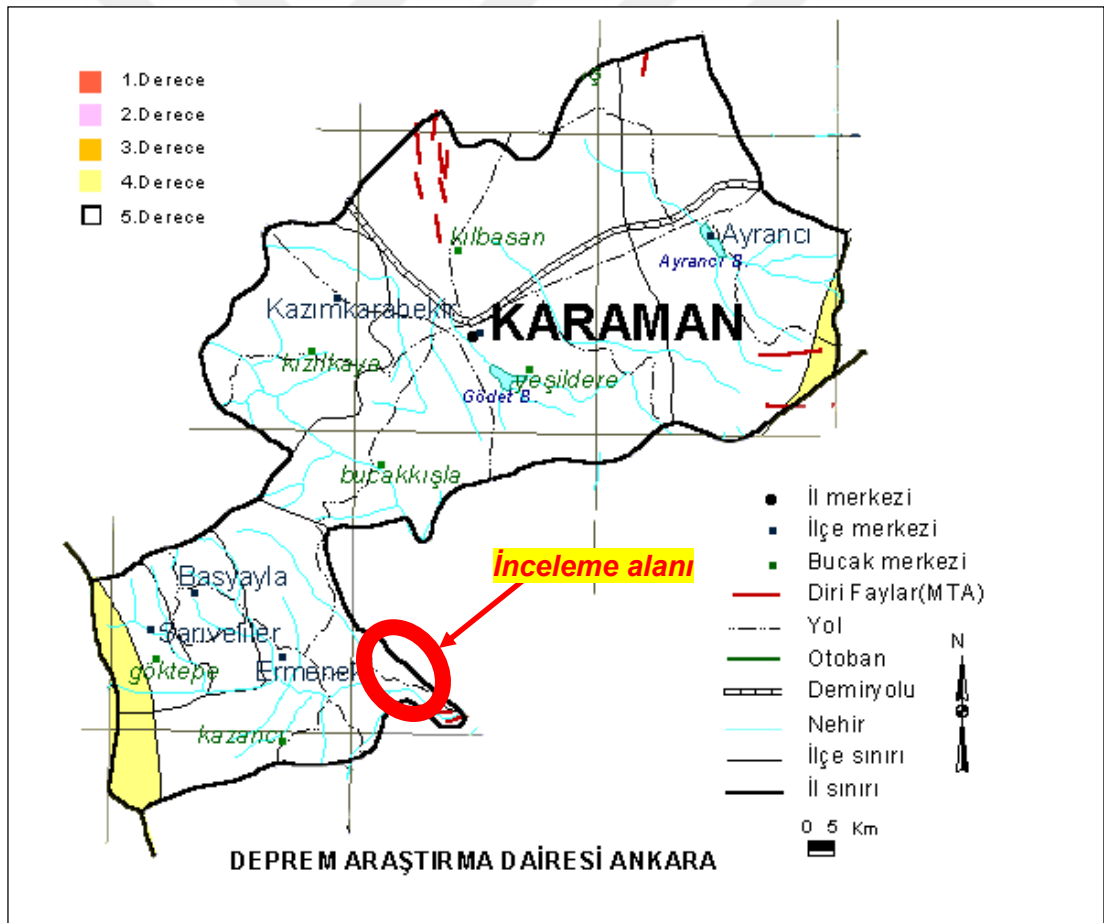
Proje güzergahı Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre 5. derece deprem bölgelerinde yer almaktadır (Şekil 4.8.(a)).

Buna göre, 5. derece deprem bölgeleri için etkin yer ivmesi 0.10 g alınabilir (Şekil 4.8.(b)).

Şev Stabilite Analizlerine Esas Yatay Deprem Katsayısının ise etkin yer ivmesinin yarısı 0.05 g olarak alınması uygun olacaktır.



(a)



(b)

Şekil 4.8. (a) Türkiye deprem haritası, (b) Karaman ili deprem haritası

4.2.4. Geoteknik değerlendirmeler

4.2.4.1. Kaya incelemesi

Çamlıca köprüsü temelleri ile yaklaşım yarmalarının oturacağı zemin parametrelerinin tespit edilmesi amacı ile SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4 no'lu sondaj kuyuları açılmıştır.

Kaya birimlerinin, eklemlili kaya kütlesi olması ve yenilme ölçütü olarak eğrisel bir yenilme izlemesi nedeni ile değerlendirilmesi, Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre modellenmesi gerekmektedir.

Bu nedenle kaya kütle parametrelerinin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile sondaj ve laboratuvar verileri göz önüne alınarak RMR, RMQR sınıflama sistemleri ve Hoek -Brown yenilme ölçütünün temel girdisi olan GSI değeri hesaplanmıştır.

- **Kireçtaşı**

Birim;

SK-1 no'lu sondaj kuyusunda, 1.60 – 8.80 ve 14.30 – 55.00 m'ler (kuyu sonu),

SK-2 no'lu sondaj kuyusunda, 0.00 – 50.00 m'ler (kuyu sonu),

SK-3 no'lu sondaj kuyusunda, 0.00 – 55.00 m'ler (kuyu sonu) ve

SK-2 no'lu sondaj kuyusunda, 0.00 – 57.00 m'ler (kuyu sonu) seviyelerinde tespit edilmiştir.

Birim; bej - krem renkli, genelde az ayrışmış – taze, yer yer orta derecede – çok ayrışmış, genelde çok sağlam – sağlam dayanımlı, yer yer orta derecede sağlam dayanımlı olarak tanımlanmıştır.

Birimden alınan numunelerde yapılan deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Birimin Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi için RMR, RMQR ve GSI sınıflama sistemleri ve kullanılan parametrelerin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

a) Süreksizlik Sayısı ve Devamlılığı

Çalışma alanındaki ölçüm lokasyonları ve karotlardaki çatlak eğimleri dikkate alındığında “dört takım ve gelişli güzel eklemler” olduğu gözlenmiştir.

Süreksizliklerin devamlılığı parametreleri ise yüzey ve sondaj karotları göz önüne alındığında ISRM sınıflamasına göre ortalama “1-3” aralığında olduğu görülmüştür. ISRM (1981)' e göre “Çok Düşük Devamlılık” sınıfında yer almaktadır.

Bu veriler doğrultusunda RMQR ve RMR sınıflama sistemlerindeki ilgili parametreler aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde eklem takım sayısı:

Dört eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler STS = 4

RMR sınıflama sisteminde süreksizlik uzunluğu:

1-3 m Puan= 4

b) Süreksizliklerin Pürüzlülük Durumu

Sondaj karotlarında ve sahada mostralarda yapılan incelemede korunabilmiş çatlak yüzeylerinin çoğunlukla “ Az Pürüzlü” yüzeylere sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu veriler doğrultusunda RMQR ve RMR sınıflama sistemlerindeki ilgili parametreler aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde eklem pürüzlülük sayısı:

Az Pürüzlü $R_{SDB} = 8$

RMR sınıflama sisteminde pürüzlülük durumu:

Az Pürüzlü Puan= 3

c) Süreksizlik Bozuşma Durumu

Yüzey gözlemlerinde çok bozunmuş olarak gözlemlenen süreksizlik duvarının, sondaj karotlarında ve sahada yapılan incelemelerde çoğunlukla çok bozunmuş olduğu görülmüştür.

Bu veriler doğrultusunda RMQR ve RMR sınıflama sistemlerindeki ilgili parametreler aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde eklem alterasyon sayısı:

İleri Derecede Bozunmuş BD = 3

RMR sınıflama sisteminde bozunma durumu:

Çok Bozunmuş Puan=0

d) Süreksizlik Açıklığı

Sahada yapılan incelemelerde süreksizlik açıklıklarının çoğunlukla > 5 mm arasında bulunduğu gözlenmiştir.

Buna göre RMR sınıflama sistemindeki ilgili parametre aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde süreksizlik açıklığı sayısı:

2.5-10.00 mm

$R_{SDA} = 2$

RMR sınıflama sisteminde süreksizlik açıklığı:

> 5 mm

Puan= 0

e) Dolgu Durumu

Sahadaki gözlemler ve sondaj verilerine göre, çatlaklarda çoğunlukla kil ve kalsit dolguya rastlanılmıştır.

Buna göre RMQR ve RMR sınıflama sistemindeki ilgili parametre aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde süreksizlik açıklığı sayısı:

İnce dolgu 1-10 mm

$R_{SDD} = 3$

RMR sınıflama sisteminde dolgu durumu:

Yumuşak dolgu < 5 mm

Puan= 0

f) Süreksizlik Aralığı

Sahada yapılan gözlemler ve sondaj karotları ve RQD değerleri incelendiğinde aralık değerinin, 60 - 200 mm olduğu belirlenmiştir. Bu aralık ISRM (1981)'e göre "Aralıklı" sınıfta yer almaktadır

Buna göre RMQR* ve RMR sınıflama sistemindeki ilgili parametre aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde süreksizlik açıklığı sayısı:

$75 > RQD \geq 35$

$R_{STS} = 4$

RMR sınıflama sisteminde süreksizlik aralığı:

60-200mm

Puan= 8

*RMQR sınıflama sisteminde aralık veya RQD değerlerinden sadece bir tanesi kullanılmaktadır.

g) Su Durumu

Saha çalışmalarının yapıldığı dönemde ve sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Ancak genel koşullar göz önüne alınarak “Nemli” olarak değerlendirme yapılmıştır.

Bu veriler doğrultusunda RMQR ve RMR sınıflama sistemlerindeki ilgili parametreler aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

RMQR sınıflama sisteminde yeraltı suyu sızma durumu:

Nemli YASD = 7

RMR sınıflama sisteminde yeraltı suyu durumu:

Genel koşullar, Nemli Puan= 10

j) Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Çalışma alanında yer alan araştırma sondaj kuyularından elde edilen ortalama RQD değeri; %74 olup bu değer çoğunlukla, “İyi Kaya” sınıfında yer almaktadır.

RMQR sınıflama sisteminde RQD

RQD=%74 R_{SA}=4

RMR sınıflama sisteminde yeraltı suyu durumu:

RQD=%50-75 Puan= 13

*RMQR sınıflama sisteminde aralık veya RQD değerlerinden sadece bir tanesi kullanılmaktadır.

k) Sağlam Kayanın Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Sondajlardan elde edilen karot numuneleri üzerinde yapılan Tek eksenli basınç dayanımı sonucu değerler; 23.41 MPa - 120.77 MPa arasında olup ortalama değer 77.62 MPa olarak belirlenmiş ve tasarımda bu değer kullanılmıştır (Çizelge 4.7. – Çizelge 4.8.- Çizelge 4.9.) (Şekil 4.9. – Şekil 4.10.).

Çizelge 4.7. Kireçtaşı birimine ait tek eksenli basınç dayanım değerleri

Birim	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (q _u) (Mpa)	RMR Puanı
Kireçtaşı	77.62	7

1) Süreksizliklerin Yönelimi

Sahada yapılan ölçümlerde çok sayıda süreksizlik seti olması ve eklem aralık ve devamlılıklarının çok düşük olmaları nedeni ile süreksizlik eğimlerinin şev açımında etkisi olmayacağı varsayılmıştır.

Çizelge 4.8. Kireçtaşı biriminin RMR sınıflandırılması

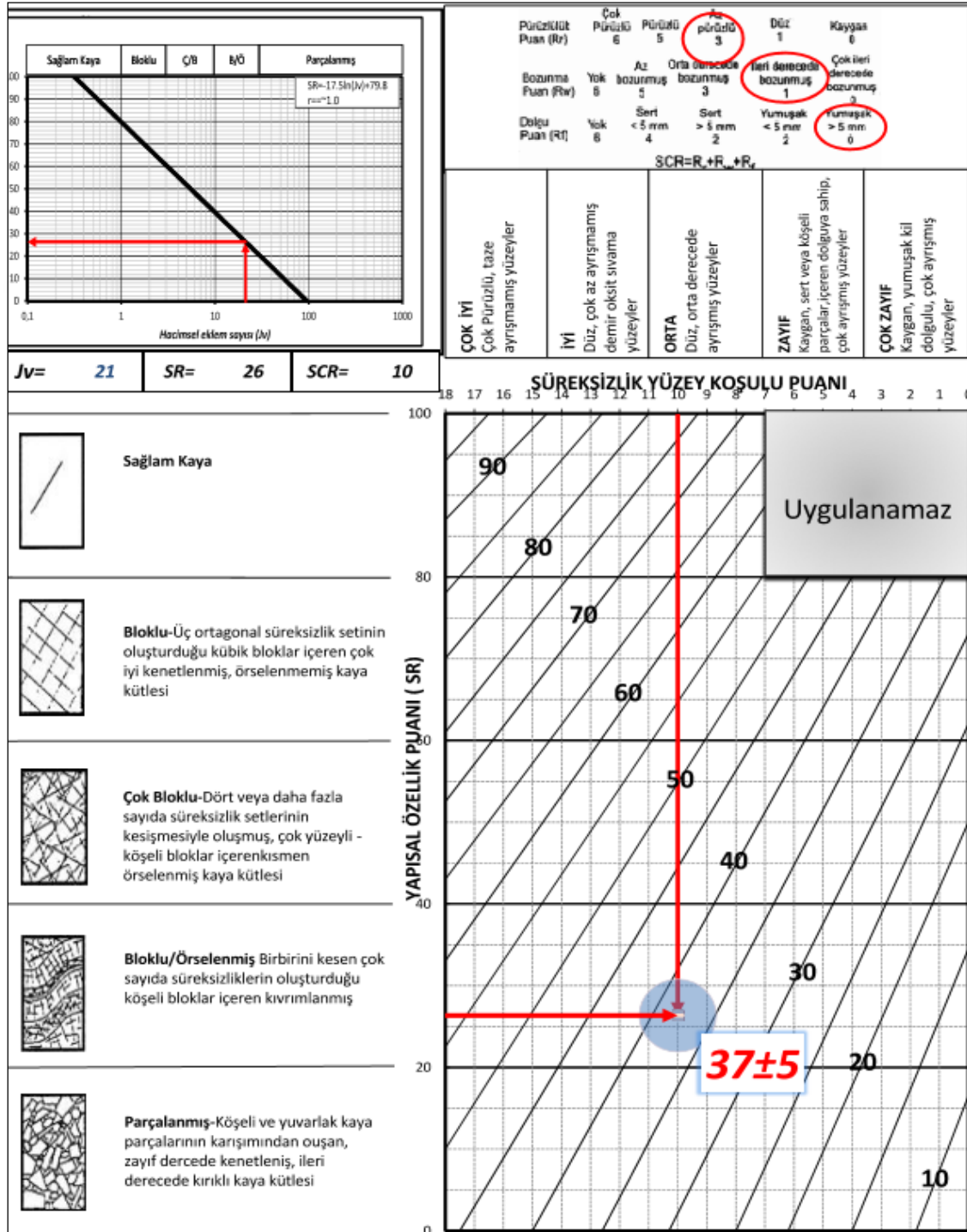
(a)

1	Kayaç Malzemesinin Dayanımı	Nokta Yüğü Dayanımı	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Düşük aralıklar için tek eksenli sıkışma dayanımı kullanılmalı		
		Tek eksenli dayanımı	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5- 25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
Puan			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Puan			20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2m	0.6-2m	200 – 600m m	60-200 mm	<60 mm		
Puan			25	15	10	8	5		
	Süreksizlik Uzunluğu		<1m	1-3m	3-10	10-20m	>20m		
Puan			6	4	2	1	0		
	Süreksizlik Açıklığı		Yok	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm		
Puan			6	5	4	1	0		
	Pürüzlülük		Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan		
Puan			6	5	3	1	0		
	Dolgu		Yok	Sert Dolgu		Yumuşak Dolgu			
				<5mm	>5mm	<5mm	>5mm		
Puan			6	4	2	2	0		
	Bozunma		Bozunmamış	Az Bozunmuş	Orta Derecede Bozunmuş	Bozunmuş	Çok Bozunmuş		
Puan			6	5	3	1	0		
	Tünelin 10 m lik kısmından gelen su Eklemdaki su basıncı / En büyük asal gerilim		Yok	<10 lt/dk	<25 lt/dk	Yok	<25 lt/dk		
5	Yeraltı suyu		0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	< 0.5		
	Genel Koşullar		Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
Puan			15	10	7	4	0		

Temel RMR₈₉=45

(b)

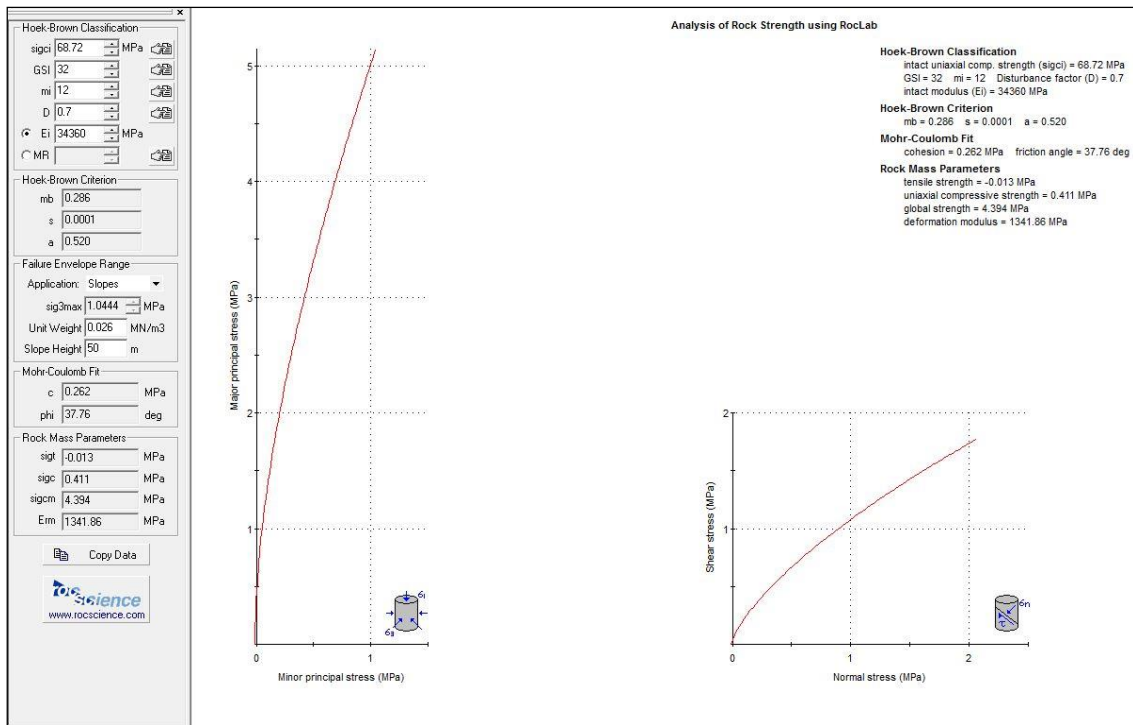
Sınıf No:	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi Kaya	İyi Kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	<20



Şekil 4.9. Kireçtaşı biriminin GSI sınıflandırılması

Çizelge 4.9. Kireçtaşı birimi RMQR sınıflandırması

Bozunma derecesi (BD)	Taze	Lekeli yüzey	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	İleri derecede bozunmuş	Tamamen bozunmuş				
Puan (R _{BD})	15	12	9	6	3	1-0				
Süreksizlik takımı sayısı (STS)	Yok (sağl am veya masif)	Tek takım + gelişigüzel	İki takım + gelişigüzel	3 takım + gelişigüzel	4 takım + gelişigüzel	Ezik veya paramparça olmuş				
Puan (R _{STS})	20	16	12	8	4	1-0				
Süreksizlik aralığı (SA) veya RQD (%)	Yok veya ≥ 24 m	24 > SA ≥ 6 m	6 m > SA ≥ 1.2 m	1.2 m > SA ≥ 0.3	0.3 m > SA ≥ 0.07	0.07 > SA				
Puan (R _{SA})	20	16	12	8	4	1-0				
Süreksizlerin durumu (SD)	Süreksizlik yok	Kaynaklı veya kesikli	Pürüzlü	Göreceli olarak düz ve sıkı	İnce dolgu veya ayrık kayadan yüzey (t > 5 mm)	Kalın dolgu veya ayrık yüzey (t > 10 mm)				
Puan (R _{SD})	30	26	22	15	7	1				
ve ya alternatif olarak, "Süreksizlik Yok" ve "Kaynaklı veya Kesikli" sınıflarına girmeyen yüzeyler için										
Süreksizlik koşulu (SD) R _{SD} = R _{SDA} + R _{SDD} + R _{SDP}	Açıklık	Kapanık veya Çok sıkı < 0.1 mm	0.1-0.25 mm	0.25-0.5 mm	0.5-2.5 mm	2.5-10 mm	< 10 mm			
	Puan (R _{SDA})	6	5	4	3	2	1			
	Dolgu	Dolgusuz	Sadece yüzey sıvaması	İnce sıvama < 1 mm	İnce dolgu 1 < t < 10 mm	Kalın dolgu 6 > t > 10 mm	Çok kalın dolgu veya makaslama zonu t > 60 mm			
	Puan (R _{SDD})	6	5	4	3	2	1-0			
Pürüzlülük	Tamimsal	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Düz dalgalı	Düz - düzlemsel	Kaygan	Makaslama bandı/zonu			
Puan (R _{SDP})	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1-0
Yeraltısuyu sızma durumu (YASD)	Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Sürekli su akışı	Su basması				
Puan (R _{YASD})	9	7	5	3	1	0				
Su emme durumu (R _{SED})	Su emmeyen	Kılcal etkiyle veya elektriksel su emme	Az su emen	Orta derecede su emen	Çok su emen	Aşırı su emip dağılan				
Puan (R _{SED})	6	5	4	3	2	1-0				
RMQR						31				



Şekil 4.10. Kireçtaşı biriminin Roclab değerlendirmesi

4.2.4.2. Yeraltı suyu durumu

Açılan sondaj kuyularında yapılan araştırmalar neticesinde yeraltı suyuna rastlanmamış olup yeraltı suyu durumu kuru olarak tespit edilmiştir.

4.2.4.3. İdealize kaya profili

İdealize kaya profili hazırlanırken, arazi gözlemleri, köprü alanında açılan sondaj kuyuları, laboratuvar deney sonuçları ve literatür verileri beraber değerlendirildiğinde olumsuz şartlar göz önüne alınarak, ideal kaya durumu ortaya konulması amaçlanmıştır. Hazırlanan idealize kaya profilinde; sadece kireçtaşı tabakalarının mevcut olduğu tespit edilmiştir.

4.2.5. Çamlıca köprüsü kazı şevlerinde stabilite analizleri

Stabilite açısından ortaya çıkabilecek sorunlar RS² (Phase² v9.0) kayma analiz programı ve bu tez çalışmasından önce kullanılan DIPS (Ver.5.04) kinematik analiz

programı kullanılarak incelenmiştir. Belirli kesitler üzerinde yapılan bu analizler sonucunda proje güzergâhında oluşturulacak uygun şevler belirlenmiştir.

4.2.5.1. Kinematik analiz değerlendirmesi

Şev duraylılığının incelenmesinde ve şev tasarımında ilk aşama şevde gelişmesi olası yenilme modellerinin belirlenmesidir. Eklemlili kaya kütleli ortamlarında süreksizlikler boyunca meydana gelebilecek duraysızlık riski, sağlam kayada gelişebilecek bir yenilme riskinden daha fazladır. Dolayısıyla bu tür ortamlarda duraysızlıkları denetleyen faktörlerin başında, süreksizliklerin yönelimi (uzaydaki konumları) ve bunların şev aynasının konumuyla olan ilişkileri gelmektedir. Süreksizliklerin yönelimleri, süreksizlik düzlemlerinin eğim ve eğim yönleriyle tanımlanmaktadır. Araziden derlenen çok sayıda yönelim verisi stereografik izdüşüm yöntemi ile değerlendirilerek çalışma alanındaki süreksizlikler için karakteristik (en fazla gözlenme olasılığı olan) yönelimler belirlenmektedir. Şev duraylılığının incelenmesine yönelik ayrıntılı analizlere (analitik veya nümerik) geçilmeden önce, kritik olabilecek şev yönelimlerinin saptanması amacıyla deterministik (geleneksel) kinematik analiz tekniği yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kohezyon, gözenek suyu basıncı, dış yükler vb. gibi faktörler dikkate alınmaksızın, sadece süreksizliklerin ve şevin yönelimleri ile süreksizliklerin içsel sürtünme açısı girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. Deterministik yöntem uygulanırken, süreksizlik kutuplarının stereografik izdüşüm netinde en fazla yoğunlaştığı noktayı temsil eden düzlemin yönelimi (egemen süreksizlik seti) esas alınmakta, aynı sete ait olmakla birlikte, egemen yönelimin etrafında dağılım gösteren noktalar ihmal edilmektedir. Dolayısıyla şev duraylılığının kinematik anlamda değerlendirilmesi amacıyla kullanılacak süreksizlik yönelimi olarak egemen düzlemlerin yönelimlerinin esas alınması, daha güvenilir bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte süreksizlik ölçüm bölgesinde en fazla sayıda gözlenmiş egemen yönelimlerin yanı sıra, daha az sayıda (düşük frekansta) gözlenen ve egemen yönelim değerinin etrafında dağılım gösteren yönelimler de bulunabilmekte ve daha düşük bir olasılıkla da olsa, bu yönelimdeki süreksizlikler de duraysızlıkların gelişmesinde rol oynayabilmektedir.

DİPS (Ver.5.04) programı kullanılarak daha önce yapılmış olan kinematik analizlerde, köprü girişi sağ ve sol yarmalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Araziden

alınan süreksizlik ölçümleri kullanılarak, açılacak şevlerin, düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme türü yenilmeleri kinematik olarak incelenmiştir.

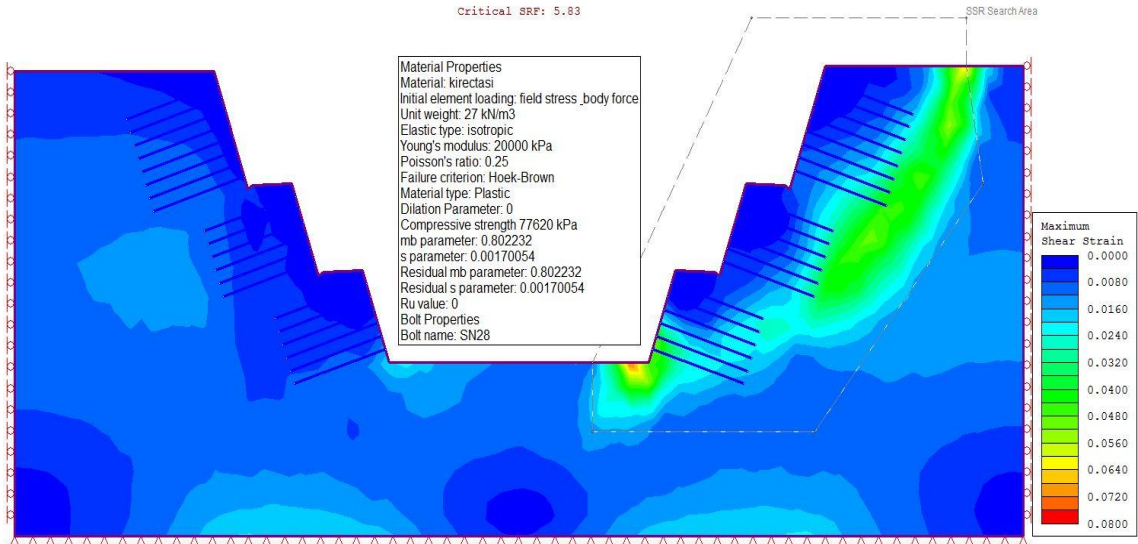
Kinematik analizler sonucunda beklenen kaymaları önlemek amacı ile yarma şevlerinin, kaya bulonları ile desteklenmesi uygun görülmüştür. Uygulanacak kaya bulonlarının boylarının seçiminde, arazide boyutları 8.00 - 9.00 m'yi bulan kireçtaşı bloklarının, gözlenmiş olması dikkate alınmıştır.

4.2.5.2. Stabilité analizi değerlendirmesi

Stabilité analizleri yapılırken oluşturulan idealize kaya profili ve kullanılan parametreler, analiz yapılan kilometreye en yakın yerde açılmış sondaj kuyusuna ait arazi verileri ile laboratuvar deney sonuçları, Hoek-Brown sınıflaması (Roclab programı analiz sonuçları) ve literatür verilerinden yararlanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

Temel olarak, sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sürekliliği, nod adı verilen noktalarla (düğüm noktaları) birleşen elemanlar ile tanımlar. Sınırları belirlenmiş, analizlerin gerçekleşeceği ortam farklı doku seçenekleri ile ağ elemanlarına bölünür. Limit - denge analizlerinin aksine, hesaplar sadece kayma düzleminin üstündeki alan için dilimlere bölünerek değil, tüm modeli kapsayan ağ elemanları içerisinde gerçekleştirilir. Bu çalışmadaki modeller, 3 adet düğüm noktasına sahip, homojen dağılım gösteren 75 adet ağ elemanına bölünerek nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.

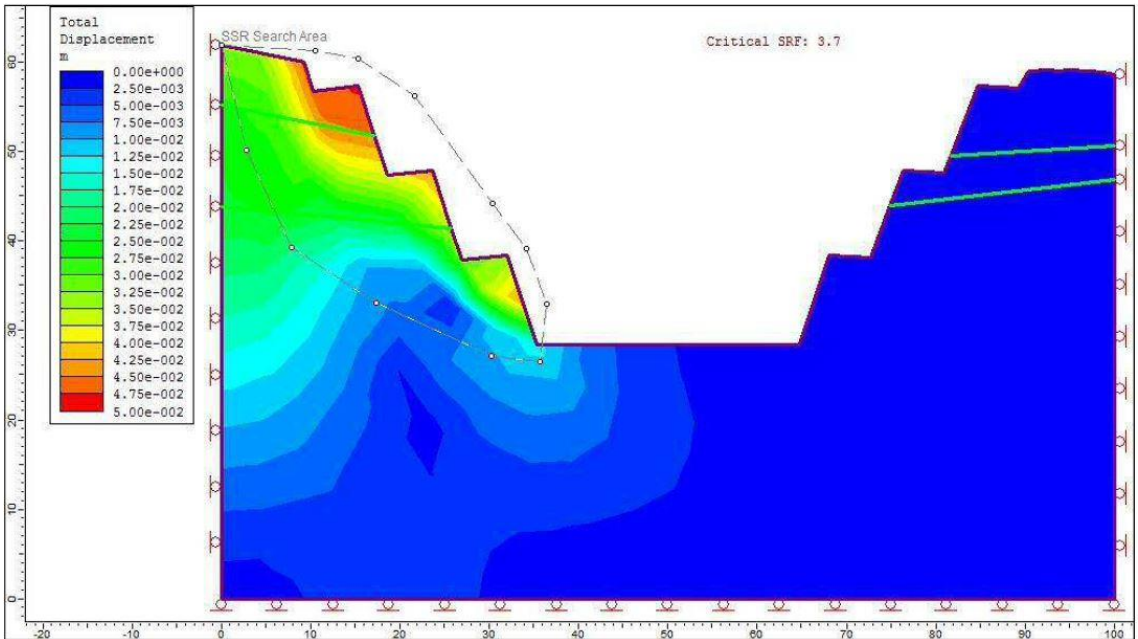
Sonlu elemanlar yönteminde şevin kritik yenilme koşulunu temsil eden dayanım azaltma faktörü (SRF) veya güvenlik katsayısı değerlerini hesaplayan, kayma dayanımı indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre sonlu eleman modelinde tanımlanmış bütün materyallerin kesme dirençleri SRF ile indirgenir. SRF değeri ile elde edilen FS (Güvenlik Sayısı) Bishop, Janbu ve Spencer yöntemleri ile büyük benzerlik göstermektedir. O nedenle bu çalışmada yapılan analizlerde SRF 1.5 kritik değeri baz alınmıştır. Kaya kütlelerinin yenilme kriterleri eklemli kayalar için önerilen Hoek - Brown yenilme ölçütü seçilmiş ve kaya kütleleri bir önceki bölümlerde hesaplanan kaya kütleleri sınıflama sistemleri, laboratuvar deneyleri birlikte değerlendirmeye alınmıştır. Çamlıca köprüsü giriş (Ermenek) yan kazı şevi enkesitlerinde stabilité analizi değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Destekleme elemanı seçiminden sonra analiz sonuçları

Elde edilen parametreler doğrultusunda yapılan stabilite analizinde kullanılan kazı enkesitinde 1/3 şev oranında sol şev yüksekliği 31.55 m ve sağ şev yüksekliği 32.16 m olarak belirlenmiştir.

Çamlıca köprüsü giriş kazı şevi enkesitlerinde yapılan analizlere göre şevlerin desteksiz olarak duraylı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.12.). Ancak 1/3 şev eğimi ile önerilen bu şevler için uzun dönem dökülmelere karşı ve trafik güvenliği için destekleme elemanına ihtiyaç duyulmuştur.



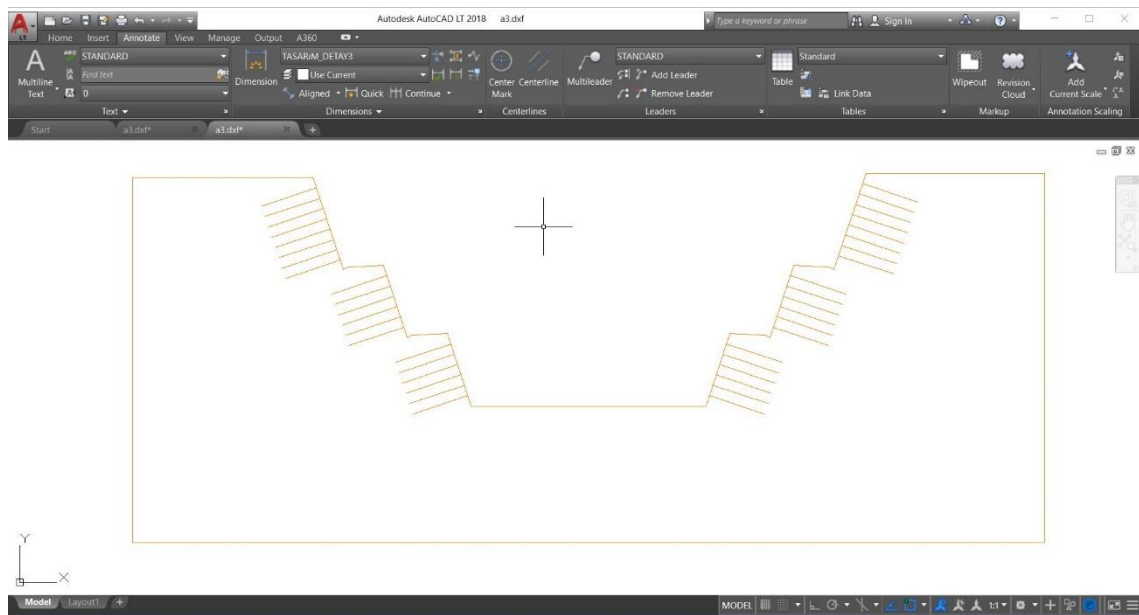
Şekil 4.12. Giriş Şevlerinin desteksiz olarak analiz sonuçları

Bu tez çalışmamız kapsamında 1/3 şev eğiminde yapılacak olan kazılar için destekleme elemanı belirlemede RS² (Phase² v9.0) programı üzerinde zemin çivisi donatısı çapı Ø26, Ø28, Ø30 ve Ø32 mm olarak destekleme elemanları ayrı ayrı tanımlanmıştır. Tanımlanan çaplardaki zemin çivilerinin uzunlukları her bir çapta L=8.0 m, L=10.0 m, L=12.0 m ve L=16.0 m olmak üzere boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan zemin çivileri ise her çap ve her uzunluk için yine ayrı ayrı 1.5x1.5 m, 2.0x2.0 m, 3.0x3.0 m ve 4.0x4.0 m karelajlerde şev kesitine yerleştirilerek 64 ayrı analiz yapılmak suretiyle destekleme elemanı seçimi yapılmıştır. Yapılan analizlerin arayüzleri ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Değişken parametrelere göre RS² (Phase² v9.0) programı üzerinde mukavemet azaltma metodu ile 64 adet farklı durum için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler benzer şartlar altında sadece parametrelerin değişkenliğini içermekte olup örnek olarak sadece 2 analiz bu kısımda detaylı olarak açıklanmıştır.

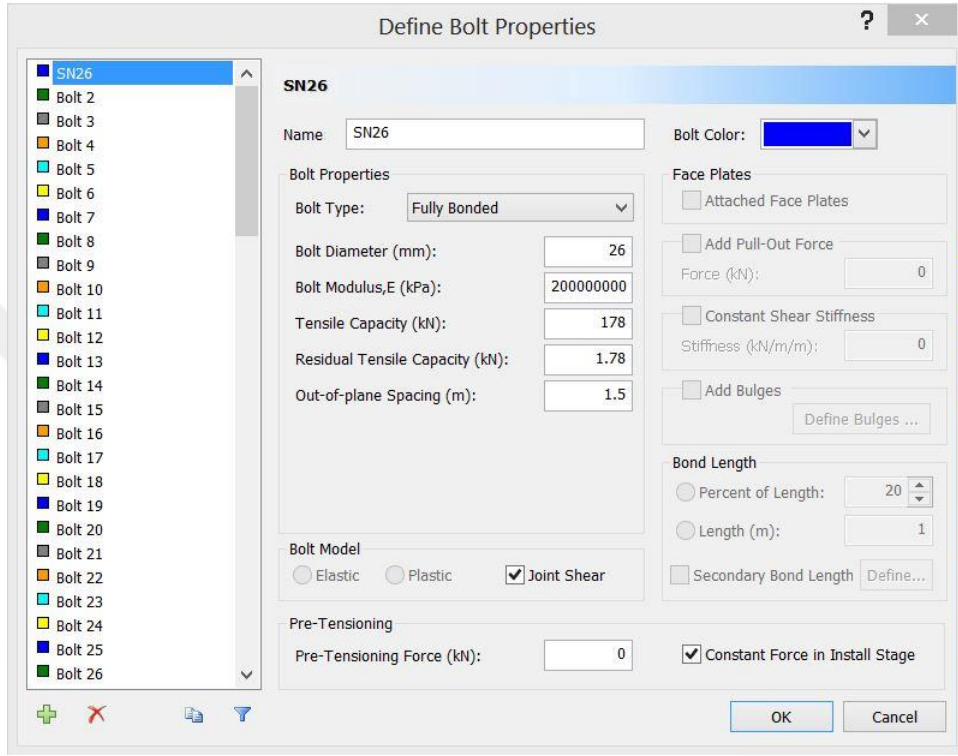
4.2.5.2.1. Ø26 mm / L=8.0 m / 1.5x1.5 m karelaj özelliklerine sahip zemin çivisi için analiz

İlk olarak AutoCAD programı kullanılarak L=8.0 m uzunluğunda ve 1.5x1.5 m karelaj ile zemin çivileri oluşturulmuştur (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. AutoCAD programı ile L=8.0 m ve 1.5x1.5 m karelaj ile zemin çivilerinin oluşturulması

Daha sonra oluşturulan geometri RS² (Phase² v9.0) programı ile paylaşılarak işlemlere devam edilmiştir. Program üzerinde materyal ve destekleme elemanlarını tanımlama amacıyla Ø26 mm çapındaki destekleme elemanı için (Şekil 4.14.) ve kireçtaşı birimi için (Şekil 4.15.) bilgi girişleri yapılmıştır. Kireçtaşı birimi diğer analizlerde herhangi bir değişiklik olamayacağı için bir kez tanımlanmıştır.



Şekil 4.14. RS² (Phase² v9.0) programında Ø26 mm çapında destekleme elemanı tanımlama arayüzü

Define Material Properties

Name: Material Colour:

Initial Element Loading: Unit Weight: (kN/m3):

Elastic Properties

Elastic Type:

Young's Modulus (kPa): Poisson's Ratio:

E1 (kPa): E2 (kPa): Ez (kPa):

v12: v1z: v2z:

Strength Parameters

Failure Criterion: Material Type:

Intact Comp. Strength (kPa): Dilation Parameter:

mb Parameter (peak): mb Parameter (resid):

s Parameter (peak): s Parameter (resid):

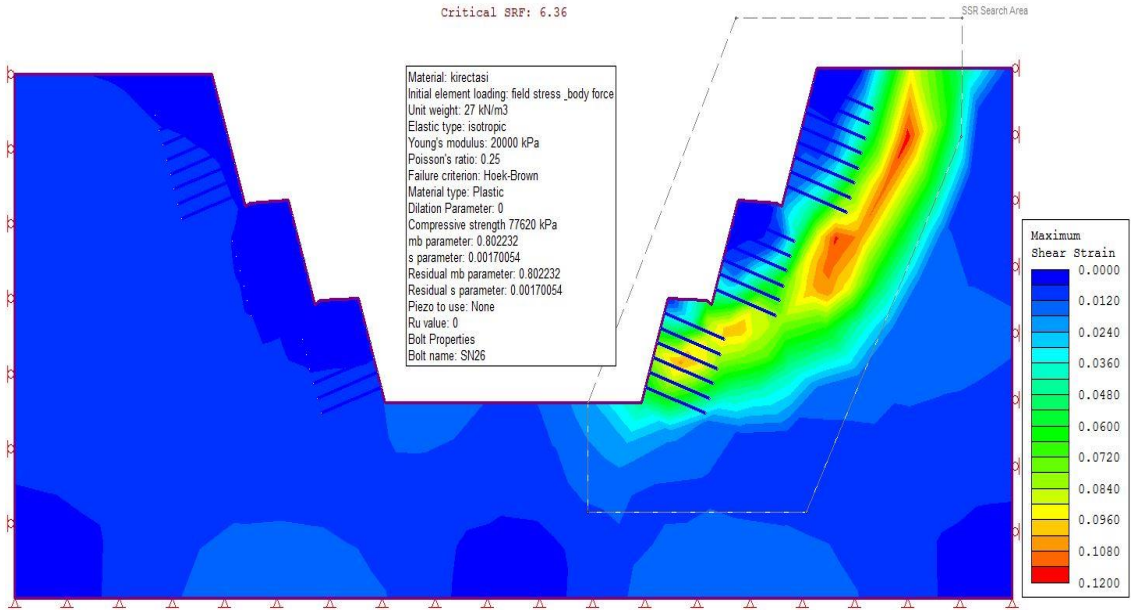
Stage Properties Datum Dependent Unsaturated Shear Strength

Phi b: Air Entry (kPa):

Show only properties used in model

Şekil 4.15. Kireçtaşı birimi parametreleri tanımlama arayüzü

RS² (Phase² v9.0) programı üzerinde daha önce Bölüm 3.2.2.'de detaylı olarak anlatılan işlemler gerçekleştirilerek ve ilk tasarım (Tasarım 1) için dayanım azaltma faktörü (SRF) elde edilmiştir (Şekil 4.16.). Tasarım 1 için SRF = 6.36 elde edilmiştir.



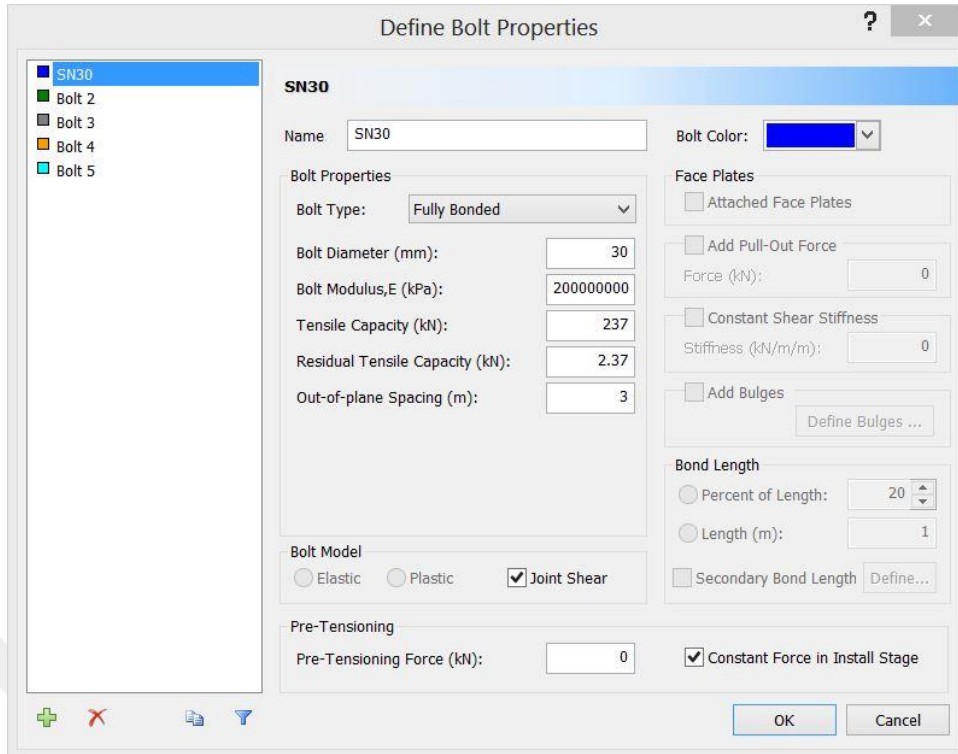
Şekil 4.16. Tasarım 1 için analiz sonucunda elde edilen SRF değeri ve maksimum deplasmanlar

4.2.5.2.2. Ø30 mm / L=8.0 m / 3.0x3.0 m karelaj özelliklerine sahip zemin çivisi için analiz

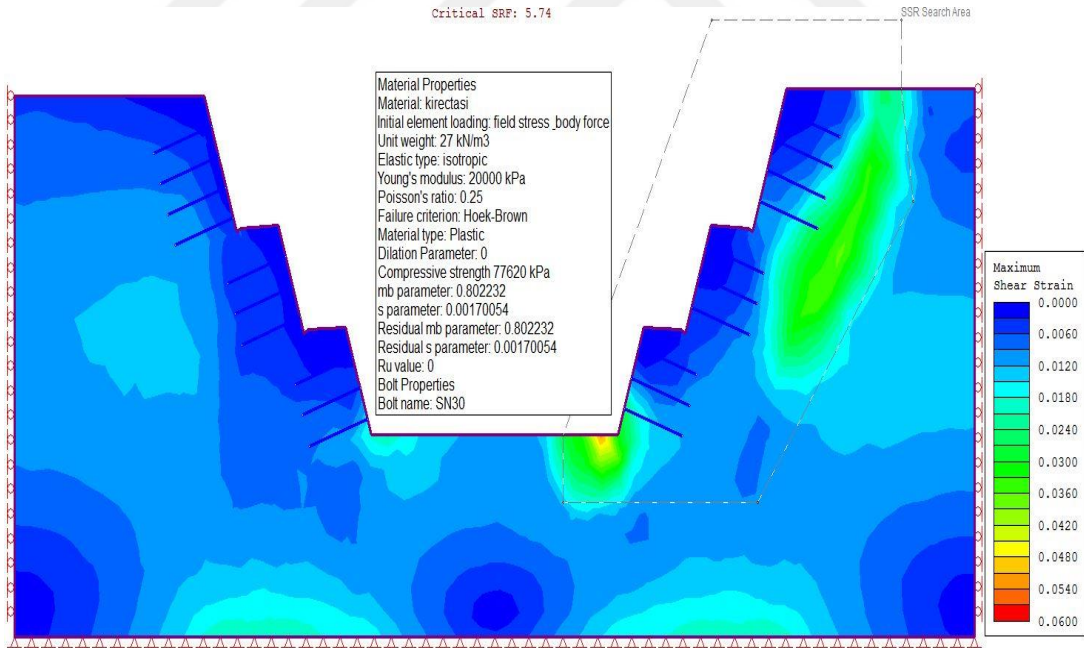
İlk olarak L=8.0m ve 3.0×3.0m karelaj özelliklerine sahip zemin çivileri AutoCAD programı üzerinde çizilerek bu çizimler RS² (Phase² v9.0) programına import edilmiştir.

Program üzerinde destekleme elemanlarını tanımlama amacıyla Ø30 mm çapındaki destekleme elemanı için bilgi girişi yapılmıştır (Şekil 4.17.). Diğer tüm analizlerde kireçtaşı biriminde herhangi bir değişiklik olmadığı için Şekil 4.14.'te verilen tüm bilgiler bu zemin çivisi tasarımı için de geçerlidir.

RS² (Phase² v9.0) programı kullanılarak Bölüm 3.2.2.'de anlatıldığı şekliyle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda bu tasarım için kullanılan zemin çivileri için dayanım azaltma faktörü (SRF) değeri 5.74 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.18.).



Şekil 4.17. RS² (Phase² v9.0) programında Ø30 mm çapında destekleme elemanı tanımlama arayüzü



Şekil 4.18. Analiz sonucunda elde edilen SRF değeri ve maksimum deplasmanlar

4.2.5.2.3. 64 farklı zemin çivisi tasarımı için yapılan analiz sonuçları

Destekleme elemanının seçimi için yapılan toplam 64 farklı analiz için elde edilen SRF değerlerinin sonuçları Çizelge 4.10.'da toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Destekleme elemanının seçimi için yapılan 64 adet analiz için SRF değerleri

Şev Eğimi	Bulon Çapı	Bulon Boyu	Karelaj	SRF değeri
1/3	Ø26	8	1.5X1.5	6,36
1/3			2.0X2.0	6,35
1/3			3.0X3.0	5,87
1/3			4.0X4.0	5,72
1/3	Ø26	10	1.5X1.5	5,74
1/3			2.0X2.0	5,74
1/3			3.0X3.0	5,75
1/3			4.0X4.0	5,73
1/3	Ø26	12	1.5X1.5	5,69
1/3			2.0X2.0	5,65
1/3			3.0X3.0	5,67
1/3			4.0X4.0	5,66
1/3	Ø26	16	1.5X1.5	5,85
1/3			2.0X2.0	5,84
1/3			3.0X3.0	5,81
1/3			4.0X4.0	5,85
1/3	Ø28	8	1.5X1.5	6,44
1/3			2.0X2.0	6,36
1/3			3.0X3.0	5,76
1/3			4.0X4.0	5,82
1/3	Ø28	10	1.5X1.5	5,79
1/3			2.0X2.0	5,79
1/3			3.0X3.0	5,81
1/3			4.0X4.0	5,81
1/3	Ø28	12	1.5X1.5	5,83
1/3			2.0X2.0	5,79
1/3			3.0X3.0	5,80
1/3			4.0X4.0	5,80
1/3	Ø28	16	1.5X1.5	5,78
1/3			2.0X2.0	5,76

1/3			3.0X3.0	5,74
1/3			4.0X4.0	5,75
1/3	Ø30	8	1.5X1.5	6,19
1/3			2.0X2.0	6,39
1/3			3.0X3.0	5,74
1/3			4.0X4.0	5,72
1/3	Ø30	10	1.5X1.5	5,79
1/3			2.0X2.0	5,79
1/3			3.0X3.0	5,74
1/3			4.0X4.0	5,73
1/3	Ø30	12	1.5X1.5	5,68
1/3			2.0X2.0	5,66
1/3			3.0X3.0	5,67
1/3			4.0X4.0	5,66
1/3	Ø30	16	1.5X1.5	5,79
1/3			2.0X2.0	5,76
1/3			3.0X3.0	5,74
1/3			4.0X4.0	5,74
1/3	Ø32	8	1.5X1.5	6,54
1/3			2.0X2.0	6,48
1/3			3.0X3.0	5,73
1/3			4.0X4.0	5,72
1/3	Ø32	10	1.5X1.5	5,75
1/3			2.0X2.0	5,74
1/3			3.0X3.0	5,76
1/3			4.0X4.0	5,73
1/3	Ø32	12	1.5X1.5	5,69
1/3			2.0X2.0	5,66
1/3			3.0X3.0	5,68
1/3			4.0X4.0	5,66
1/3	Ø32	16	1.5X1.5	5,78
1/3			2.0X2.0	5,77
1/3			3.0X3.0	5,75
1/3			4.0X4.0	5,74

Ermenek-Mut devlet yolu üzerinde yapımı devam eden Çamlıca köprüsünün olduğu güzergah incelenmiş, köprünün giriş (Ermenek) yarma şevleri güzergah durumu, kamulaştırma sınırları ve trafik can ve mal güvenliği açısından 1/3 şev eğimi ile

projelendirilmiştir. Daha önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmış olan geoteknik çalışmalar neticesinde 1/3 olarak eğimlendirilen şevlerde herhangi bir stabilite problemi beklenmemesine rağmen köprü tamamlanıp trafiğe açıldıktan sonra zeminin çatlaklı ve eklemlili yapısı da göz önünde bulundurularak açılan şevlerin desteklenerek kaplama yapılmasına karar verilmiştir.

Şevlerin desteklenmesi için yapılan çalışmalar öncesinde destekleme elemanı için parametreler daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz şekilde belirlenmiştir. Bu parametreler RS² (Phase² v9.0) şev stabilitesi analiz programı üzerinde analiz edilmiştir.

Destekleme yapılacak olan şevleri oluşturan zemin profiline bağlı olarak belirlenen zemin çivisi uzunluğuna bağlı olarak SRF değerleri incelendiği zaman ise aynı çaptaki destekleme elemanı ve karelajlere göre belirlenmiş SRF değerleri ortalaması alındığı zaman uzunluğa bağlı olarak değerlerin azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın nedeni olarak zemin çivilerinin yerleştirilmesi için açılan deliklerin uzunluğunun artması ile beraber mevcut zemin yapısının daha derinlere kadar bozulması ve daha boşluklu bir zemin yapısı oluşturulması gösterilebilir. Bu durum aynı zamanda ekonomik bir çözüm üretme açısından incelendiği zaman avantajlı bir durum söz konusu olmaktadır.

Fakat yerinde yapılan sondaj çalışmaları ve laboratuvar deneyleri neticesinde zemin yapısının daha değişken olması ve kireçtaşı biriminin 8.00-9.00 m derinlikleri bulması sebebiyle uzunluk olarak belirlenen L=8.00 m, L=10.00m, L=12.00 m ve L=16.00 m parametrelerden L=8.00 m ve L=10.00 m uzunluklarının zemin çivilerinin kireçtaşı birimine soketlenebilmesi durumu açısından yetersiz kalacağı belirlenmiştir. L=16.00 m uzunluğun ise hem SRF değerleri bakımından hem de toplam kazı şevinin alanı da göz önünde bulundurularak ekonomik bir çözüm olmayacağı yapılan analiz ve fiyatlandırmalar neticesinde tespit edilmiştir. En uygun ve ekonomik zemin çivisi uzunluğu olarak L=12.00 m kullanılmasına karar verilmiştir.

Uygulama yapılacak şev yüzeyinin durumu göz önünde bulundurularak oluşturulacak karelaje (yatay ve düşey yerleştirme aralığı) göre SRF değerleri değerlendirildiğinde ise aynı çap ve uzunluktaki zemin çivilerinin yerleşimlerine göre daha sık olması durumunda SRF değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Daha sık karelajde teşkil edilecek olan zemin çivilerinin uygulama yüzeyinde daha güvenli bir stabilite alanı oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak ise zemin yapısından dolayı dik şev eğimi ile açılacak olan şevlerde yüzeyin daha çok sayıda destekleme

elemanı ile kaplanması ve buna bağılı olarak kayma direncinin artmasıdır. Kayma direncinin artması ile birlikte SRF (dayanım azaltma faktörü) değeri de artmaktadır.

Köprü giriş (Ermenek) yarma şevlerinde yapılan sondajlar neticesinde belirlenen zemin profili çatlaklı ve eklemli bir yapıya sahip olduğu için zeminde kaymalar devrilmeler ve kopmalar beklenmektedir. Bu durumda ise destekleme elemanının yatay ve düşeyde daha sık olarak teşkil edilmesinin şev stabilitesi ve buna bağılı olarak trafik altında trafik can ve mal güvenliği için uygun olacağı belirlenmiştir. Uygulama aralığı olarak belirlenen karelajlerden hem daha güvenli olması hem de diğer sebeplerden dolayı 1.5x1.5 m aralığın uygulanmasına karar verilmiştir.

Yine Çizelge 4.10. incelendiği zaman SRF (dayanım azaltma faktörü) değerlerinin destekleme elemanı olarak belirlenen zemin çivilerini oluşturan çelik donatı çubuğunun çapı ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun muhtemel sebebi ise zemin çivilerinin dolu kesit olarak imal edilmesinden dolayı enjeksiyonlanmış olan deliklerin çaplarının artması ile beraber etki alanının genişlemesi olarak değerlendirilebilir. Donatı çubuğunun çaplarının artması çekme kapasitesinin de artması anlamına gelmektedir. Böylelikle zemin-destekleme elemanı etkileşimi de artar. Daha önce belirlenen parametreler ile birlikte değerlendirildiği zaman L=12.00 m ve 1.5x1.5 m karelaj deki SRF değerleri dikkate alındığında Ø28 mm çapındaki destekleme elemanı donatı çubuğunun kullanılması uygun görülmüştür.


Destekleme elemanı olarak arazi şartları ve yapım kolaylığı da göz önünde bulundurularak Ø28 çapında L=12.0 m uzunluğunda zemin çivisi uygulaması uygun görülmüştür. Zemin yapısının çatlaklı ve eklemli olması sebebiyle ilerleyen yıllarda şevlerde meydana gelebilecek kopma, kayma ve düşmelere engel olmak amacıyla 1.5x1.5 m karelaj olacak şekilde zemin çivilerinin yerleştirilmesine karar verilmiştir.

Ayrıca destekleme yapısının güvenliği, şev stabilitesinin sağlanması ve kazı yüzeyinin tamamen güvenli olarak kapatılması için 20 cm püskürtme beton, tek kat hasır çelik (Ø221/221) uygulanması önerilmiştir.

4.2.5.3. Destekleme sistemlerinin detayları

Destekleme elemanı olarak, L=12.00 m boyunda 28 mm çapında zemin çivisi, 20 cm püskürtme beton ve Ø221/221 tek kat hasır çelik kullanılması önerilmiştir (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. Tasarımda kullanılan zemin çivisinin özellikleri

Bulon Adı	Renk	Tipi	Bulon Çapı (mm)	Elastisite Modülü (kPa)	Çekme Kapasitesi (kN)	Aralık (karelaj) (m)	Ön Germe Kuvveti (kN)	Uygulama Sırasında Sabit Kuvvet	Ortak Kayma	Arttırılmış Çekme Dayanımı (kN)
SN28		Tam Dolu Bulon	28	2x10 ⁸	206	1.5	0	Evet	Evet	2.06

Uygulanacak kaya zemin çivilerinin boylarının seçiminde arazide boyutları 9.00 m'yi bulan kireçtaşı blokları dikkate alınmıştır.

Buna göre;

- Kullanılacak nervürlü çubuk : ST42 ve çapı 28mm
 Kullanılacak Başlık Plakası : 200*200*10mm
 Hasır çelik : 150*150*6.5 mm, (Ø 221-221) tek kat
 Püskürtme Beton : C20/25 olarak tasarlanmıştır.

$$F_b = 0.80x \frac{\pi x D^2}{4} x F_{yu} x 1000 \text{ bağıntısını kullanarak;}$$

$$F_{yu}=420 \text{ MPa (Çekmede akma dayanımı)}$$

$$D= 0,028 \text{ m}$$

$$F_b=\text{Bulonun güvenilir çekme dayanımı}$$

$$F_b=0.80x \frac{\pi x (0,028)^2}{4} x 420 x 1000$$

$$F_b=206 \text{ kN olarak elde edilmiştir.}$$

Enjeksiyon ve kayaç arasında oluşacak birim sıyrılma dayanımı değerleri, FHWA,1999'a göre; $q_s= 0.55 - 1 \text{ MPa}$ arasında yer almaktadır. Kayaçın ayrışmış olması ve çatlak yüzeylerinin yer yer kaygan olması gibi faktörler göz önüne alındığında, bu değerlerin alt sınırı olan 0.55 MPa değerinin kullanılması uygun olacaktır.

Bulon delik çapı d_{hole} ise; bulon delik çapının, bulon çapına olan oranı ($d_{\text{hole}} / d_{\text{bulon}}$) olarak kullanılmaktadır.

Kılıç ve Anıl (1999)'a göre; zayıf kayaçlar ile ince taneli kayaçlarda bulon yenilmeleri dolgu - delik yüzeyi arasındaki sıyrılmadan kaynaklandığı için *delik çapı/bulon çapı* oranının arttırılması (daha geniş çaplı deliklerin delinmesi) ile daha

yüksek bulon çekme dirençleri elde edilebilir. Bu oran Wyllie (1999) tarafından; $d_{hole}/d_{bulon} = 1.5 - 2.5$ aralığında verilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi zayıf kayalar için üst sınırı kullanmak daha doğrudur. Bu nedenle zemin çivisi uygulamasında farklılık olması durumu da göz önüne alınarak $d_{hole}/d_{bulon} = 2$ oranı alınması uygun olacaktır. Buna göre; $d_{hole} = 2 \times 28 = 56$ mm olarak hesaplanmıştır. Tasarımda kullanılması uygun olan temel proje elemanları aşağıda topluca gösterilmektedir;

Düşey zemin çivisi aralığı, S_v	: 1.50 m
Yatay zemin çivisi aralığı, S_h	: 1.50 m
Zemin çivisi boyu, L	: 12.00 m
Püskürtme Betonu Kalınlığı, d_s	: 20 cm
Drenaj Deliği Boyu, L_d	: 12.00 m
Düşey drenaj aralığı, S_v	: 3.00 m
Yatay drenaj aralığı, S_h	: 3.00 m
Zemin çivisi delik çapı, D	: Minimum 56 mm
Zemin çivisi çapı, d	: 28 mm (\emptyset 28)
Zemin çivisinin yatayla yaptığı açı, α	: Uygulandığı şev eğimine dik
Donatı çubuğunun çekmede akma dayanımı, F_y	: 420 MPa (ST IIIa)
Püskürtme betonu basınç dayanımı, f'_c	: 20 MPa (C20/25)
Dayanma plakası boyutları	: 200mm x 200mm x 10mm
Hasır Çelik	: 150mmx150mmx6,5mm
(\emptyset 221/221) (Tek Kat)	
Hasır Çelik Minimum Bindirme Boyu	: 2 göz, 30 cm

Destekleme elemanı olarak belirlenen ve daha önceki bölümlerde tasarımı yapılan zemin çivileri karayolu literatüründe uygulama olarak benzerlik gösteren kaya bulonları ile birlikte de anılmaktadır. Kaya bulonları sadece şev destekleme de değil aynı zamanda tünellerin desteklenmesi, şevlerde bulunan kütle kayaların durabilitesini artırmak için yerinde sabitleme yapılması gibi birçok karayolu yapısında da uygulama alanı bulmaktadır. Zemin profilinin kireçtaşı olduğu bu uygulamada da kaya bulonu malzeme ve uygulama metotlarından yararlanılması gerekliliği ortaya çıkmış olup malzeme ve uygulama yöntemine bağlı bu uygulama metotlarından zemin yapısına uygun olanı seçilmiştir.

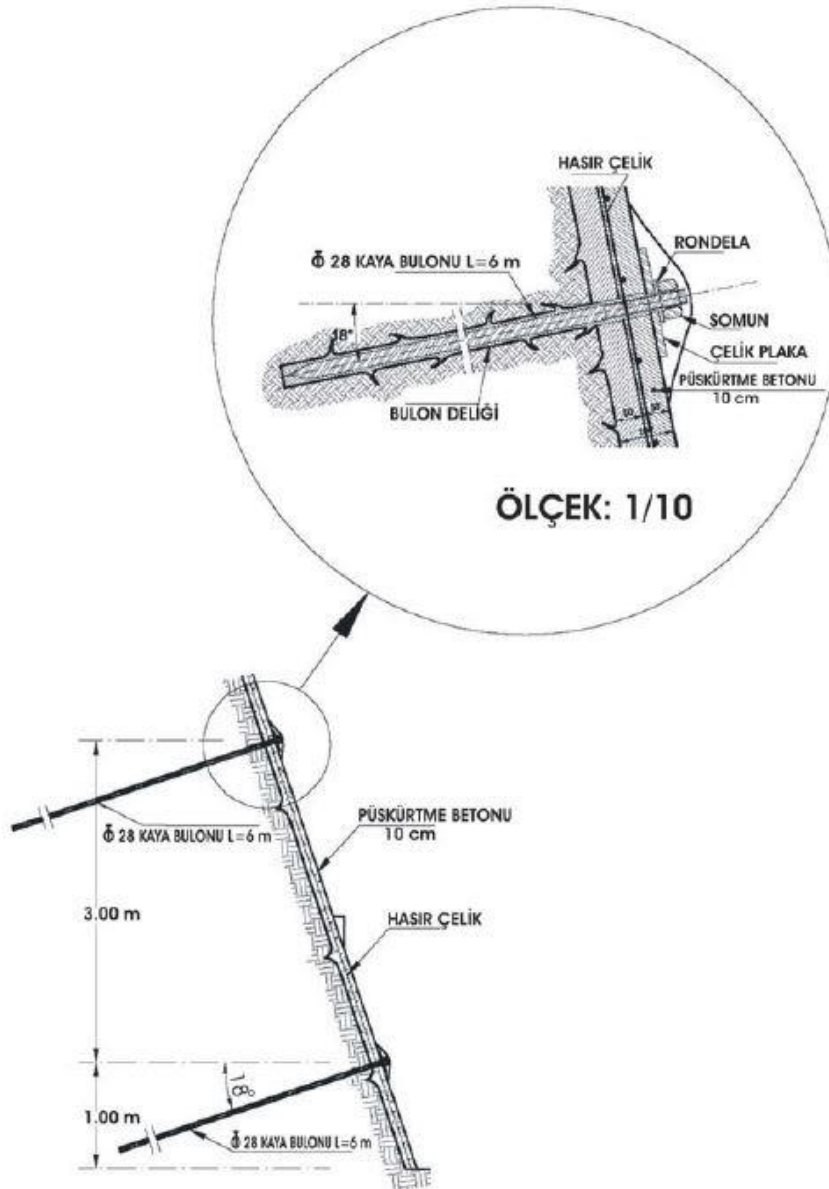
Malzeme ve uygulama yöntemi olarak kaya bulonları farklılık göstermektedir. Bunlar SN bulonlar, PG bulonlar, IBO bulonlar ve Swellex bulonlar olarak adlandırılmaktadır (KTŞ, 2013).

SN bulonları adını ilk defa kullandıkları “Stone Norfors” çukurundan almaktadırlar. SN bulonlarda ilk olarak delgi yapılır, delik tüm delme artıklarından, çamurdan ve döküntüden temizlendikten sonra delik tamamen dolu olacak şekilde enjeksiyon harcı ile doldurulmaktadır. Doldurulan deliğe belirtilen özelliklerdeki nervürlü çelik donatılar yerleştirilmektedir. Donatı yerleştirme işleminden sonra ankraj plakasından yeterli bir kuvvet elde edecek şekilde somunları kalibrasyonlu bir tork anahtarı ile en geç 12 saat içerisinde sıkıştırılmaktadır (KTŞ, 2013). Çalışma alanının sınırlı olması ve bulon boylarının çok uzun olması durumunda çelik donatılar için manşonlu birleştirme yapılacaktır. SN bulonlar özellikle kendini tutabilen, döküntü durumu olmayan zeminlerde uygulama alanı bulmaktadır.

PG bulonlar SN bulonlardan farklı olarak kendini tutamayan, delik içerisinde dökülme olan böylelikle mukavemet kaybına sebebiyet verecek zeminlerde uygulanmaktadır. PG bulonların uygulamasında delgi yapıldıktan sonra delik içerisinde olası dökülmelerin delik içerisinde kalmasını engellemek amacıyla nervürlü çelik donatı çubuğu ile beraber bu donatıya bağlanmış enjeksiyon hortumu ve delik içerisindeki havayı dışarıya atmaya yarayacak ilave bir hortum ile birlikte delgisi yapılan delik içerisine delik tabanına gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Yerleştirilen enjeksiyon hortumu ile enjeksiyonlama işlemi gerçekleştirilip, delik içerisindeki hava ise diğer hortum vasıtasıyla dışarı atılmaktadır (KTŞ, 2013). Ermenek-Mut devlet yolu Çamlıca köprüsü giriş şevlerinde geoteknik rapor ile belirlenmiş zemin profili de dikkate alınarak zeminin kırıklı, çatlaklı, eklemlili bir yapıda olması nedeniyle delik içerisinde dökülmeler beklendiği için PG bulon yapım tekniği ile destekleme yapımı uygulanmasına karar verilmiştir.

IBO bulonlar ise neredeyse hiç delgi yapılamayan, delik içerisinde tamamen göçme söz konusu olan zeminlerde uygulanırlar. Deliklerin tamamen göçmesi söz konusu olduğu için bu uygulamada hem delgi, hem donatı yerleştirme hem de enjeksiyonlama işlemi aynı anda yapılmaktadır. Diğer bulonlardan farklı olarak bu bulonlar, kendisine özel iç kısmı boş bir donatı çubuğu ve bu donatı ile birlikte hareket ederek delgi yapabilen bir başlıktan oluşmaktadır. Donatı çubuğunun içerisinde boş olma sebebi ise delgi yapılarak donatı yerleştirilirken bir taraftan da enjeksiyonlamanın yapılabilmesine olanak sağlaması içindir (KTŞ, 2013).

Swellex bulonlar mekanik olarak katlanmış çelik tüplerden oluşmaktadır. Bu bulonlar ise zemin içerisinde aşırı su bulunması durumunda suyun enjeksiyonlama işlemini zorlaştırdığı kesimlerde uygulanmaktadırlar. Diğer bulonlarda olduğu gibi açılan delikler içerisine yerleştirilen bulonlar tavsiye edilen şekilde genişletilmekte ve genişletme işleminden sonra delik içerisine bulunan su dışarı atılmaktadır.



Şekil 4.19. SN ve PG bulon uygulaması örnek kesiti (KTŞ, 2013)

4.3. amlıca Koprusu Giriş (Ermenek) Kazı Şevleri Zemin Çivisi Uygulaması Aşamasından Fotoğraflar

Ermenek-Mut devlet yolu üzerindeki Çamlıca koprusu Karaman ili Ermenek ilçesine bağlı Çamlıca Mahallesi mevkiinde yaklaşık olarak 190 m derinliğinde bir vadi üzerine projelendirilen 190 m orta açıklıklı toplam 350 m uzunluğunda Eğik Ayaklı Konsol Kopru yapım metodunda yapılacak olan bir koprudur (Şekil 4.20.).

Kopru tamamlandığında ise hem ülkemizde bu yapım metodu ile yapılan ilk kopru hem de 190 m orta açıklığı ve 80 m'lik kenar açıklıkları ile bu tip yapım yöntemiyle yapılan koprulere dunyada en uzun açıklıklı kopru olma özelliğine sahip olacaktır (Şekil 4.21.).

Yapım çalışmalarına ilk olarak projenin sahaya aplikasyonu ile başlanılmıştır. Proje aplikasyonu yapıldıktan sonra koprunun eğik ayaklarının oturacağı ve tez çalışmamız bünyesinde de bahsettiğimiz giriş ve çıkış yarma şevlerinin kazıları için gerekli hazırlıklar yapılarak çalışmalara başlanılmıştır (Şekil 4.22.). Kazılar projede belirlenen 1/3 şev eğimine uygun bir şev yüzeyi elde edilecek şekilde yapılmaktadır.



Şekil 4.20. amlıca Koprusünün yapılacak vadinin genel görünümü



Şekil 4.21. Çamlıca Köprüsü tamamlanmış hali (animasyon)



Şekil 4.22. Kazı çalışmalarından bir fotoğraf

Şev yüzeylerinde destekleme elemanı olarak projede belirlenen zemin çivilerinin uygulanabilmesi için kazılar belirli kotlara kadar yapıldıktan sonra zemin çivilerinin uygulanacağı noktalar işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalarda delgi makinesi olan “rock”

vasıtasıyla şev eğimine dik olacak şekilde delgiler yapılmıştır (Şekil 4.23.). Delgilerin şev eğimine dik olarak yapılmasındaki amaç şevin yüzeyinden oluşturulacak kaplama için stabilitenin sağlanması ve zemin içerisinde oluşabilecek olası kayma yüzeyine mümkün olduğunca dik bir destekleme yapılmasıdır. Delgiler yapılırken zeminin yapısı deliklerin stabilite durumları sürekli gözlenmiş, açılan zemin çivisi deliklerinde herhangi bir göçme durumu olup olmadığı yerinde incelenmiştir.



Şekil 4.23. Zemin çivisi delgi çalışmalarından bir fotoğraf

Destekleme elemanı olan zemin çivilerini oluşturan ana unsurlardan biri olan çelik donatı çubukları projesinde belirlenen uygun çap ve uzunlukta uygulama sahasında hazırlanmıştır. Hazırlanan donatıların bir tarafına plaka montajından sonra yapılacak olan somunlama işlemi için yiv açılmış, zeminin yapısından dolayı deliklerde dökülmeler olduğu için bulon yapım metotlarından PG bulon uygulanmasına karar verildiği için çelik donatı çubukları ile birlikte enjeksiyon hortumu, yeterli ve dolu enjeksiyon kesiti elde etmek için merkezleyiciler de hazırlanmıştır (Şekil 4.24.).



Şekil 4.24. Uygulamaya hazırlanmış zemin çivileri

PG bulon yapım sistemi ile yapılan zemin çivilerinin yapım metodolojisi gereği delgisinden sonra donatı ve donatıya bağlanan diğer unsurlar ile birlikte delik içerisine yerleştirilmiştir. Donatı yerleştirme işleminden sonra enjeksiyon hortumu vasıtasıyla enjeksiyonlama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.25.).

Delgileri yapılarak donatı yerleştirme işlemleri gerçekleştirilen zemin çivileri arasında ise yine projesine uygun karelajde zemin içerisinden veya dışardan gelebilecek zemin veya yağmur sularının drenajını sağlamak amacıyla drenaj elemanı olarak uygun deliklere sahip PVC borular yerleştirilmiştir (Şekil 4.26.). Boruların dışarıda kalan kısımları şev içerisinden gelebilecek sular için akışın kolay ve şev yüzeyinden uzağa olabilmesi için şev yüzeyinden bir miktar dışarıda bırakılmıştır.

Delgisi yapıp donatısı ve drenaj elemanları yerleştirilen zemin çivilerinin ilk kat püskürtme betonlaması yapılmıştır. Daha sonra projesinde belirtilen kriterleri sağlayacak hasır çelik kaplama elemanı yerleştirilmiştir (Şekil 4.27.). Hasır çeliklerin yerleştirilmesinden sonra zemin çivilerinin baş kısımlarına plaka montajı ve somunlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra destekleme yapılan şev yüzeyi tamamen ikinci kat püskürtme beton ile kaplanmıştır (Şekil 4.28.).



Şekil 4.25. Zemin çivisinin yerleştirilmesi ve enjeksiyonlanması



Şekil 4.26. Drenaj sisteminin tesis edilmesi



Şekil 4.27. Kaplama amaçlı son kademe püskürtme beton öncesi hasır donatı döşenmesi



Şekil 4.28. Kaplama amaçlı püskürtme beton yapılması

Yukarıda belirtilen bu yapım metodolojisini takip ederek (kazı-destekleme-kaplama) projesinde belirtilen kot ve koordinatlara uygun olarak çalışmalar yürütülerek Ermenek-Mut devlet yolu Çamlıca köprüsü giriş (Ermenek) yarma şevlerinde kazı destekleme işlemleri büyük ölçüde tamamlanmıştır (Şekil 4.29.).



(a)



(b)

Şekil 4.29. amlıca köprüsü giriş (Ermenek) şev kazılarında fotoğraflar (a,b)



(c)



(d)

Şekil 4.29. Çamlıca köprüsü giriş (Ermenek) şev kazılarında fotoğraflar (c,d)

Dünya üzerinde Eğik Ayaklı Konsol Köprü olarak yapılmış olan tek örnek ise Ekvador'da bulunan ve orta açıklığı 170 m olan Chiche köprüsüdür (Şekil 4.30.).



(a)



(b)

Şekil 4.30. Dünyada eğik ayaklı konsol köprü olarak yapılmış tek örnek olan Chiche köprüsü (Ekvador)
(a,b)



(c)



(d)

Şekil 4.30. Dünyada eğik ayaklı konsol köprü olarak yapılmış tek örnek olan Chiche köprüsü (Ekvador) (c,d)



Şekil 4.30. Dünyada eğik ayaklı konsol köprü olarak yapılmış tek örnek olan Chiche köprüsü (Ekvador)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şev göçmelerini engellemek ve tedbir alabilme adına güvenliğinin araştırılması ve gerekli tedbirlerin alınması geoteknik mühendisliğinin başlıca ilgi alanları arasında yer almaktadır. Bu nedenle zemin parametrelerinin belirlenmesi, analiz yöntemleri ve zemin ile yapının etkileşimini uygulama sahasında daha gerçekçi ortaya koyabilen çalışmaların yapılması önemli olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında şevlerin hareketlerine bağlı olarak meydana gelebilecek deplasmanları da hesaba katarak analiz yapabildiği bir yaklaşıma gerek duyulduğu için sonlu elemanlar analiz yöntemi ile hesap yapabildiği RS² (Phase² v9.0) programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Dayanım Azaltma Yöntemi (SRM) olarak ifade edilen ve zeminin kendi mukavemet parametrelerini kademeli olarak azaltma esasına dayanan tekniğin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılması ile kayma yüzeylerinin oluşum mekanizmasının kademeli olarak kaydını yapma esasına dayanan bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile farklı boyut ve çaplardaki destekleme elemanları için analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar içerisinde en uygun olanı için arazide uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Kritik şev kayma yüzeyinin kayma derinliğinin tam olarak belirlenmesi yapılacak olan güvenlik yöntemlerinin getireceği maliyetler bakımından önemlidir. Bu sebeple daha önce yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde belirlenmiş kritik kayma dairesi üzerinde dayanım azaltma yönteminin esas alındığı sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak RS² (Phase² v9.0) programında dik kazı şevlerinin destekli durumları için analizler yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerden elde ettiğimiz 64 farklı parametre için elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen vaka analizinde Ermenek-Mut devlet yolu üzerinde bulunan Çamlıca Köprüsünde kamulaştırma problemlerinden ötürü 1/3 yarma şevi oranı ile açılmak durumunda kalınan ve birimin çok kırıklı - çatlaklı yapıda olması nedeniyle kaya bulon destekleme sistemi (zemin çivisi) önerilen köprü girişi yan şev yarmalarının geoteknik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çamlıca Köprüsünün inşa edileceği alanda köprü ayaklarının oturacağı kısımlarda 4 adet sondaj kuyusu açılarak toplam uzunluğu 217.0 m sondaj çalışması yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.

Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre, proje güzergahı 5. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Buna göre, 5. derece deprem bölgeleri için etkin yer ivmesi 0.10 g alınmalıdır. Hesaplamalarda şev stabilite analizlerine esas yatay deprem katsayısı etkin yer ivmesinin yarısı 0.05 g olarak alınmıştır. Hazırlanan idealize kaya profiline göre; yarmalar genel olarak kireçtaşı birimlerinde açılmaktadır. Fakat hesaplamalarda, kazı esnasında kırıklı çatlaklı bir yapı söz konusu olduğu için farklı birimlerle karşılaşılma ihtimali de göz ardı edilmemiştir.

Gerek birimlerin özellikleri gerekse de yarma yükseklikleri dikkate alındığında, serbest şevlendirmeler ile açılacak yarmalarda, herhangi bir stabilite problemi beklenmemekle beraber, stabilite analizlerinin yanı sıra yapılan kinematik analizler sonucu sol yarmada düzlemsel kayma, kamasal kayma ve devrilme tipi kayma, sağ yarmada ise kamasal ve devrilme tipi kaymanın olabileceği belirlenmiştir.

Kinematik analiz sonuçlarına göre şevlerin desteklenmesi uygun görülüp, destekleme elemanı olarak 64 farklı çözüm arasından zemini oluşturan birimin derinliği de göz önünde bulundurularak en ideal uzunluk olarak $L=12.00$ m boy, çekme kapasiteleri ve delik çapları da dikkate alındığında donatı çubuğu çapı 28 mm olan zemin çivisi kullanımının uygun olacağına karar verilmiştir. Yüzeylerin çatlaklı ve eklemlili olması sebebi ile mümkün olduğunca sık destekleme yapılabilmesi için yatayda ve düşeyde 1.5×1.5 m karelajde zemin çivisi uygulamasının yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca yüzeylerde boşluklardan herhangi bir beklenmeyen dökülme olmaması için yüzeyin 20 cm püskürtme beton ve $\emptyset 221/221$ çift kat hasır çelik ile kaplanması önerilmiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen ve destekleme elemanı olarak seçilen zemin çivisi delgisinin arazi şartlarında ve uygulama esnasında karşılaşılabilecek sorunlar neticesinde yapılamadığı veya deliğinin kendiliğinden kapandığı kesimler için daha önce belirlenen ve uygulaması devam eden yöntemden farklı uygulama yöntemlerinin kullanılması uygun olacaktır. Bu yöntemlerden hangi yöntemin uygun olduğuna yerinde yapılacak incelemeler sonucunda karar verilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI, 2011, Building Code Requirements for Structural Concrete, *American Concrete Institute*, Amerika, 318-11.
- ASTM, 1987, "American Society of Testing and Materials Standards Specification Publication, Annual Book of ASTM".
- Biot, M. A., 1956, Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid, I. Low-Frequency Range, *Shell Development Company*, RCA Building, New York.
- Bishop, A. W., 1955, The Use Of Slip Circle In The Stability Analysis.
- Bishop, A.W., Morgenstern N., (1960), Stability Coefficient for Earth Slopes, *Geotechnique*, Vol.10, No.4, pp.129-150.
- Bjerrum, L. 1963, "Allowable Settlement of Structures," Proc., European Conf. on Soil Mech. and Found. Engr., Weisbaden, *Almanya*, Vol. 3, pp. 135-137.
- Bromhead, E. N., 1986, The Stability of Slope. Surrey University press, A.B.D.
- Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlang, C., ve Ueblacker, G., 1998. Manual for Design and Construction of Soil Nail Wall, FHWA-SA-96-069R, *Federal Highway Administration*, Washington, D.C.
- Coduto, D. P., 2006, Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamaları, *Gazi Kitabevi*, Ankara.
- CSA, 2004, Design of concrete structures, *Canadian Standarts Association*, 23.3, Kanada.
- Demiryürek, Ü., A., 2002, "Şev Kayma Potansiyelinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Duncan, J.M. ve Dunlop P., 1969, *Slopes in stiff fissured clay and shales*, Proc, ASCE 25, GT2, 467-492.
- Elias, V., Juran, I., 1991. Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations, *Federal Highway Administration*, Washington, D.C., FHWA-RD-89-198,
- EN 1992-1-2, 2004, Eurocode 2, Design of concrete structures, Part 1-2: General rules - Structural fire design.
- FHWA-0-IF-03-017, 2003. *Geotechnical Engineering Circular No.7, Soil Nail Walls*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

- Giam, S.K., ve Donald, I.B., 1988, *Determination of critical surfaces for slopes via stress-strain calculations*. In Proceedings of the Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Sydney, pp. 461-464.
- Goodman, R.E. ve J.W. Bray., 1976, Toppling of Rock slopes Proc. ASCE Conf. Rock Eng. for Foundations and Slopes, Boulder.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, *Pergamon Press*, Oxford, 211 p.
- Janbu, N., 1957, "Stability Analysis of slopes with dimensionless parameters", D.Sc. Thesis, *Harward University*.
- Kılıç, A. ve Anıl, M., 1999, "Zemin özelliklerinin bulon kapasitesine etkisi", *16. Madencilik Kongresi*, Türkiye, 189-196.
- Krahn, J., 2004, Stability modelling with SLOPE/W, printed in Canada.
- KTŞ, 2013, Karayolları Genel Müdürlüğü, "Karayolu Teknik Şartnamesi", Ankara.
- Morgenstern, N., R., ve Price, V., E., 1965, The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces, *Geotechnique*, XV, *Nonlinear Failure Criteion International Journal*. 79-93.
- Öz, E., 2007, "Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Petterson, K. E., 1955, The early history of circular sliding surfaces, *Geotechnique*, Volume 5, pp, 275-296
- Siyahi, G., B., 1994, "Deprem Etkisindeki Sevlerde Stabilitenin İncelenmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Skempton, A. W., 1964 Long-term Stability of Clay Slopes, Rankine Lecture, *Geotechnique* , 14, pp.77-101.
- Snitbhan, N., and Chen, W.F., 1976, Elastic-plastic large deformation analysis of soil slopes, *Computers and Structures*, 9, 567-577.
- Springman, S., 2002, <http://geotip.igt.ethz.ch/>
- Ugai K, Leshchinsky D., 1995, Three dimensional limit equilibrium and finite element analysis, a comparison of results, *Soil Found*, 35 (4), 1-7.
- Ulusay, R., 2001, Assesment of slope deformations and redesign studies at Himmetoğlu open pit Proc. EUROCK, *Helsinki*, 1-873
- Üstündağ, Ö., 2003, Zemin çivisi ile şev stabilitesi ve derin kazıların desteklenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17-31.

Varnes, D.J, 1978, Landslides, Analysis and Control, Special Report 176, pp 20-47, R.L. Scuster and R.J. Krizek, Ed., Transportation Research Board, Highway Research Council.

Wyllie, D., 1999, Foundations on Rock, *E&FN Spon.*, Londra, 190.

Zienkiewicz, O.C. ve Taylor, R.L., 1989, The finite element method. 4th edition Volume 1, *McGraw-Hill Book company*, Inc., New York.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah BİRER
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya/1989
Telefon : 0(530) 923 74 45
Faks : -
E-Posta : ins.muh.abdullahbirer@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel Enderun Fen Lisesi	Karatay	KONYA	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği			2012
Yüksek Lisans:	Konya Teknik Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü			Devam ediyor.
Doktora	: -			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2013	Seha Yapı A.Ş.	Saha Mühendisi
2013-	T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü	Tünel Yapım Kontrol Mühendisi

UZMANLIK ALANI

-

YABANCI DİLLER

İngilizce (Orta Düzey)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

YAYINLAR

-