T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEBECİ TAŞ OCAKLARINDAKİ YÜKSEK ŞEVLERİN DURAYLILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ramazan Haslet DİLLİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

II. DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 10.10.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Deniz TUMAÇ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Ailemize yeni katılan yeğenim
Léonard Karl DURAND ‘ a

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete' de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği programında "Cebeci Taş Ocaklarındaki Yüksek Şevlerin Duraylılıklarının Değerlendirilmesi" konulu yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Danışman hocam olmayı kabul eden ve tez konusunda ilgi, yönlendirme ve desteklerini esirgemeyen, öğrencisi olmaktan onur duyduğum hocam Sayın Prof. Dr. Atiye TUĞRUL'a, sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmamda ve tez dışındaki her türlü konuda bana yardımcı olan, benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve benim için aynı zamanda bir abi olan, değerli hocam ve ikinci danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ'a teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İnce kesitler üzerinde petrografik analizlerin yapılması sırasında bilgi ve tecrübesi ile katkıda bulunan hocam Sayın Doç. Dr. Namık AYSAL'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Sayısal analizlerin yapılması sırasında ofisini kullanma fırsatı sağlayan, sayısal analizlerin değerlendirilmesi ve yorumlanması ile ilgili yönlendirmelerde bulunan İnşaat yüksek mühendisi Sayın Bora ARSLAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sayısal analizler için nasıl model kurulacağından nasıl değerlendirileceğine kadar tüm bildiği mesleki deneyimini büyük bir sabırla benimle paylaşan, jeoloji mühendisi Sayın Cemal SAMUR'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve Laboratuvar çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarından dolayı Sayın Dr. Selman ER'e, Arş. Gör. Erdi Avcı'ya, Arş. Gör. Doğacan ÖZCAN'a ve Arş. Gör. Murat BEREN'e teşekkürlerimi iletirim.

Tez çalışmalarım sırasında bana yardımları ve destekleri olan, jeoloji yüksek mühendisi Aykut Eke'ye jeoloji mühendisi Anıl ATAKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans hazırlık döneminde tanıştığım ve her birinden çok fazla şey öğrendiğim, özellikle tez çalışmamın bitmesi süresinde bana olan manevi desteklerinden dolayı sevgili arkadaşlarım,

Berkan KAYNAK’a, İ. Göksel HIZLI’ya, Çağla ÖZCAN’a, Nurdan CÖMERT’e ve Sinem AKGÜN’e teşekkürlerimi iletirim.

Tez çalışmalarım sırasında çok fazla görüşemediğim hatta bazı günler ekmek zorunda kaldığım, ama tezimi yazmam konusundaki çeşitli desteklerinden dolayı can dostlarım Çağkan Doğan TÜZÜN’e, Utku RAİMOĞLU’na, Oğuzhan EKER’e ve Cem ŞAHİN’e özürlerimi ve teşekkürlerimi iletirim.

Tez çalışmam sırasında bana olan yardımları ve desteklerinden dolayı Taylan Baran GÖYBULAK’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans yapmam konusunda ve meslek yaşamımda lisans yıllarımdan itibaren yardımlarını esirgemeyen jeoloji yüksek mühendisi Bilge BULGURLULAR’a içten teşekkürlerimi iletirim.

Tüm yaşam ve çalışmalarımın bir parçası olan, her konuda benden desteklerini esirgemeyen aileme sevgilerimi ve en içten teşekkürlerimi iletirim.

Ekim 2019 Ramazan Haslet DİLLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xvi**
ÖZET ..... **xviii**
SUMMARY ..... **xx**
1. GİRİŞ **1**
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI 1
1.1.1 İnceleme Alanının Yeri ve Konumu 2
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
2.1.1 Araştırma Bölgesi ile ilgili Çalışmalar 3
2.1.2 Araştırma Konusu ile İlgili Çalışmalar 4
3. MALZEME VE YÖNTEM **8**
3.1 BÜRO ÇALIŞMALARI 8
3.2 ARAZİ ÇALIŞMALARI 8
3.3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 9
4. BULGULAR **10**
4.1 BÖLGESEL JEOLOJİ 10
4.2 İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ 13
4.2.1 Trakya Formasyonu (Ct) 14
4.2.1.1 Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi (Ctc) *16*
4.2.1.2 Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi (Ctg) *17*
4.2.2 Belgrat Formasyonu (Tmpb) 19
4.2.3 Alüvyonlar (Qal) 22
4.3 İNCELEME ALANININ YAPISAL JEOLOJİSİ 22
4.4 İNCELEME ALANININ DEPREMSELLİĞİ 26
4.5 İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİSİ 27

4.6 İNCELENEN KAYAÇLARIN MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ 29
4.6.1 Kumtaşları İçin Yapılan Petrografik Analizler 29
4.6.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Petrografik Analizler 30
4.7 İNCELENEN KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ 31
4.7.1 Kumtaşları İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri 31
4.7.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri 35
4.7.3 Süreksizliklerin Dayanım Parametreleri İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri 39
4.8 SÜREKSİZLİKLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ 39
4.8.1 Kumtaşlarındaki Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri 40
4.8.2 Kireçtaşlarındaki Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri 41
4.8.3 Sayısal analizlerde kullanılan Süreksizlikler 42
4.9 DURAYLILIK ANALİZLERİ ÖLÇÜTLERİ 43
4.9.1 Hoek ve Brown Yenilme Kriteri 43
4.9.2 Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri 44
4.10 KAYA KÜTLELERİNİN VE SÜREKSİZLİKLERİN TASARIM PARAMETRELERİ 44
4.10.1 Girdi Parametreleri 44
4.10.1.1 Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü, Birim Ağırlığı ve Poisson Oranı 45
4.10.1.2 Süreksizliklerin Dayanım Parametreleri 45
4.10.1.3 Jeolojik Dayanım İndeksi 45
4.10.1.4 Hoek ve Brown Sabiti (m_i) 47
4.10.1.5 Örselenme Faktörü 49
4.10.2 Kaya Kütlesi Tasarım Parametreleri 51
4.10.2.1 Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülü 51
4.10.2.2 Kaya Kütlesinin poisson oranı 52
4.10.2.3 Kaya Kütlesi için Hoek-Brown Sabitleri (m_b, s ve a) 52
4.10.2.4 Kaya Kütlesinin Mohr-Coluomb Dayanım Parametreleri 53
4.11 YERİNDE GERİLME DURUMLARI 53
4.12 DURAYLILIK ANALİZLERİ 56
4.12.1 Kumtaşları İçin Yapılan Sayısal Analizler 63
4.12.1.1 Kumtaşları İçin Yapılan Toplam Yer Değiştirme (Deplasman) Analizleri 63
4.12.1.2 Kumtaşları İçin Yapılan Güvenlik Sayısı Analizleri 66

4.12.1.3 Kumtaşları İçin Yapılan Depremli Güvenlik Sayısı Analizleri.....68
4.12.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Sayısal Analizler 71
4.12.2.1 Kireçtaşları İçin Yapılan Toplam Yer Değiştirme (Deplasman) Analizleri.....71
4.12.2.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Güvenlik Sayısı Analizleri 74
4.12.2.3 Kireçtaşları İçin Yapılan Depremli Güvenlik Sayısı Analizleri 77
4.12.3 Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri İle Yapılan Doğrulama Analizleri.....79
4.12.3.1 Plaxsis 2D Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri ile Yapılan Analiz Sonuçları 79
4.12.3.2 Plaxsis 2D Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri İle Hardering Soil Modeli Analiz Sonuçları 81
4.12.3.3 RS2 (Phase) Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri ile Analiz Sonuçları 82
TARTIŞMA VE SONUÇ 84
KAYNAKLAR.....88
EKLER 93
ÖZGEÇMİŞ 94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. 1: İnceleme alanının yeri ve konumu 2

Şekil 4. 1: İnceleme alanının Türkiye'nin tektonik birlikleri haritasındaki konumu (Okay ve Tüysüz, 1999). 10

Şekil 4. 2: İnceleme alanı ve yakın çevresinin Aysal ve Gözübol (2008) tarafından hazırlanan jeoloji haritası. 12

Şekil 4. 3: İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojik dikme kesiti Aysal ve Gözübol (2008) değiştirilerek alınmıştır. 13

Şekil 4. 4: İnceleme alanında bulunan kireçtaşları ile onu uyumsuzluk ile örten Neojen yaşlı Belgrat Formasyonu arazide görünümü (konum: 4° 7' 2.60" K 28° 52' 40.22" D). 14

Şekil 4. 5: İnceleme alanında bir ocak sahasında gözlenen diyabaz türü dayk görünümü (konum: 41° 7' 22.62" K ve 28° 52' 21. 89" D). 15

Şekil 4. 6: İnceleme alanında bulunan Cebeciköy kireçtaşı üyesinin mostra görünümü (Cebeci köy güneyi, konum: 41° 7' 12.58"K ve 28° 53' 4.35"D). 16

Şekil 4. 7: İnceleme alanında bulunan Cebeciköy kireçtaşı üyesinin mostra görünümü (Cebeci köy güneyi, konum: 41° 7' 14.29" K ve 28° 52' 55.58" D). 16

Şekil 4. 8: İnceleme alanında bulunan Gümüşdere Silisli Şeyl - Grovak üyesinin Cebeci köy Kuzeyinde verdiği mostra görünümü (konum: 41° 7' 34.16" K ve 28° 52' 51.67" D). 17

Şekil 4. 9: İnceleme alanında bulunan bir taş ocağındaki kumtaşı merceklerinin arazideki görünümü. 18

Şekil 4. 10: İnceleme alanında bulunan silisli şeyl - grovak ardalanmasının taş ocağındaki görünümü. 19

Şekil 4. 11: Cebeci köy güneyinde Belgrat formasyonu'na ait kil, kum ve az tutturulmuş kumtaşı ve kiltaşı düzeylerinden genel bir görünüm (konum: 41° 7'42.16"K ve 28°52'36.00"D). 19

Şekil 4. 12: Belgrat Formasyonuna ait kil, kum ve ince taneli çakılların arazide yeni kazılmış bir bölgedeki genel bir görünümü (konum: 41° 7' 41.61" K ve 41° 7' 41.61" K). 20

Şekil 4. 13: Belgrat formasyonu'na ait kil, kum ve ince taneli çakılların genel bir görünüm (konum: 41° 7' 41.61" K ve 41° 7' 41.61" K). 21

Şekil 4. 14. Cebeciköy kuzey fayı. 22

Şekil 4. 15. Cebeciköy kuzey fayı. 22

Şekil 4. 16. Cebeciköy güney fayı. 23

Şekil 4. 17. Cebeciköy güney fayı. 23

Şekil 4. 18: Kireçtaşlarında gelişmiş listrik normal fay düzlemi ve fay aynası. 23

Şekil 4. 19: Kireçtaşlarında gelişmiş listrik normal fay düzlemleri. 24

Şekil 4. 20: Kireçtaşlarında gelişmiş fay aynaları. 24

Şekil 4. 21: Kireçtaşlarında gelişmiş küçük ölçekte antiklinal ve senklinal şeklindeki kıvrımlar. 25

Şekil 4. 22: Kireçtaşlarında gelişmiş antiklinal şeklindeki kıvrım. 25

Şekil 4. 23: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi). 26

Şekil 4. 24: İnceleme alanında bir kireçtaşı ocağında yüzey akışı ve yer yer süreksizliklerden süzülen sular nedeni ile oluşmuş gölet. 28

Şekil 4. 25: Cebeciköy kireçtaşı içerisinde gelişmiş karstik boşluklar. 28

Şekil 4. 26: KMT-1 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol). 29

Şekil 4. 27: KMT-2 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol). 30

Şekil 4. 28: KÇT-1 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol). 30

Şekil 4. 29: KÇT-2 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol). 31

Şekil 4. 30: Fiziksel ve mekanik deneyler için hazırlanan karot örnekleri. 31

Şekil 4. 31: Kumtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflaması. 34

Şekil 4. 32: Kireçtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflaması. 37

Şekil 4. 33: Kaya kütlelerinde süreksizliklerin karakteristikleri ve kaya kütlelerini tanımlayan parametreler (Wyllie, 1999). 40

Şekil 4. 34: İnceleme alanında Kumtaşlarında ölçülen süreksizliklerin dağılımı ve hakim süreksizlik takımlarının tespiti. 41

Şekil 4. 35: İnceleme alanında Kireçtaşlarında ölçülen süreksizliklerin dağılımı ve hakim süreksizlik takımlarının tespiti. 42

Şekil 4. 36: Kaya malzemesinden kaya kütlesine geçişi gösteren kesit (Hoek, 1995). 46

Şekil 4. 37: Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Hoek ve diğ., (1995). 46

Şekil 4. 38: Kumtaşlarında yapılan üç eksenli deney sonuçlarına göre (m_i) tahmini. 48

Şekil 4. 39: RocData programı kullanılarak kumtaşları için Kaya malzemesi (m_i) tahmini. 48

Şekil 4. 40: Kireçtaşlarında yapılan üç eksenli deney sonuçlarına göre (m_i) tahmini. 49

Şekil 4. 41: RocData programı kullanılarak kumtaşları için Kaya malzemesi (m_i) tahmini. 49

Şekil 4. 42: Örselenme faktörü tahmini. 50

Şekil 4. 43: Kaya kütlesi ile teknik bir girişime maruz kalmış kaya kütlesi (Hoek, 2012). 50

Şekil 4. 44: Genel şev açısı, yol arası açı ve palye geometrisi arasındaki ilişkiyi gösteren tipik açık ocak şev geometrisi (Wyllie ve Mah, 2004). 58

Şekil 4. 45: Kumtaşları için mevcut geometri kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler). 59

Şekil 4. 46: Kireçtaşları için mevcut geometri kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler). 60

Şekil 4. 47: Kumtaşları için kazı geometrisi kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler). 61

Şekil 4. 48: Kireçtaşları için kazı geometrisi kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler). 62

Şekil 4. 49: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları 64

Şekil 4. 50: Kumtaşları için tasarım geometrisinde de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları. 65

Şekil 4. 51: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları. 67

Şekil 4. 52: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları. 68

Şekil 4. 53: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları. 69

Şekil 4. 54: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları. 70

Şekil 4. 55: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları (örselenme zonlu). 72

Şekil 4. 56: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları (örselenme zonu olmadan). 73

Şekil 4. 57: Kireçtaşları için tasarım geometrinde yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları. 74

Şekil 4. 58: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları. 75

Şekil 4. 59: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları. 76

Şekil 4. 60: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları. 78

Şekil 4. 61: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları. 79

Şekil 4. 62: Plaxsis 2D programı ile Mohr-Coluomb yenilme kriteri yer değiştirme analiz sonuçları. 80

Şekil 4. 63: Plaxsis 2D programı ile Mohr-Coluomb yenilme kriteri güvenlik sayısı analiz sonuçları. 80

Şekil 4. 64: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan yer değiştirme analiz sonuçları. 81

Şekil 4. 65: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları. 82

Şekil 4. 66: RS2 (Phase) programı ile Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri kullanılarak yapılan yer değiştirme analizi sonuçları. 83

Şekil 4. 67: RS2 (Phase) programı ile Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri kullanılarak yapılan güvenlik sayısı analizi sonuçları. 83

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4. 1: Deprem Büyüklüğüne Göre İvme değerleri. 27

Tablo 4. 2: Kumtaşları için Birim Ağırlık, Tek Eksenli Basınç, Elastisite Modülü ve Poisson Oranları deney sonuçları özet Tablosu. 32

Tablo 4. 3: Kumtaşları için üç eksenli basınç dayanımı deneyleri özet Tablosu. 34

Tablo 4. 4: Kireçtaşları için Birim Ağırlık, Tek Eksenli Basınç, Elastisite Modülü ve Poisson Oranları deney sonuçları özet Tablosu. 35

Tablo 4. 5: Kireçtaşları için üç eksenli basınç dayanımı deneyleri özet Tablosu.....38

Tablo 4. 6: Kayada kesme kutusu deneyleri özet Tablosu.....39

Tablo 4. 7: İnceleme alanında Kumtaşlarında belirlenen hakim süreksizliklerin genel özellikleri. 41

Tablo 4. 8: İnceleme alanında Kireçtaşlarında belirlenen hakim süreksizliklerin genel özellikleri. 42

Tablo 4. 9: Sayısal analizlerde kullanılan şevin en duraysız olacağı düşünülen durumdaki süreksizlikler ve yönelimleri. 43

Tablo 4. 10: Kumtaşları ve kireçtaşlarının girdi parametreleri olarak kullanılan değerleri. 45

Tablo 4. 11: İnceleme alanı için önerilen GSI ve GSI_r değerleri.....47

Tablo 4. 12: Patlatma sonrası meydana gelen örselenme kalınlığı (T) (Hoek, 2012). 51

Tablo 4. 13: Kumtaşları ve kireçtaşları için hesaplanan doruk ve rezidüel kaya kütlesi deformasyon modülleri.....52

Tablo 4. 14: Kumtaşları ve kireçtaşları için hesaplanan kaya kütlesi poisson oranları. 52

Tablo 4. 15: Kumtaşları için hesaplanan m_b, s ve a malzeme sabitleri. 52

Tablo 4. 16: Kireçtaşları için hesaplanan m_b, s ve a malzeme sabitleri.....53

Tablo 4. 17: Kireçtaşları için hesaplanan doruk ve rezidüel Mohr-Coluomb Dayanım Parametreleri.....53

Tablo 4. 18: Terzaghi ve Richart (1952) tarafından önerilen k değerleri. 54

Tablo 4. 19: Sheorey (1994) tarafından önerilen k değerleri.....54

Tablo 4. 20: Hoek ve Brown (1978) tarafından önerilen sınır k değerleri. 54

Tablo 4. 21: Lim ve Lee (1995) tarafından önerilen düşey gerilme ve k oranları.....55

Tablo 4. 22: Herget (1987) tarafından önerilen minimum, maksimum ve ortalama k oranı değerleri.....55

Tablo 4. 23: Pine ve Kwakwa (1989) tarafından önerilen düşey gerilme ve k oranları. 56

Tablo 4. 24: Sayısal analizlerde kullanılan k değerleri.....56

Tablo 4. 25: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).....63

Tablo 4. 26: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analizi sonuçları (örselenme zonu olmadan). 64

Tablo 4. 27: Kumtaşları için tasarım geometrisinde de yapılan toplam yer değiştirme, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analizi sonuçları. 65

Tablo 4. 28: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları.....66

Tablo 4. 29: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.....67

Tablo 4. 30: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.....69

Tablo 4. 31: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları. 70

Tablo 4. 32: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).....71

Tablo 4. 33: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonu olmadan). 72

Tablo 4. 34: Kireçtaşları için tasarım geometrisin de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).....73

Tablo 4. 35: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları.....75

Tablo 4. 36: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları. 76

Tablo 4. 37: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları. 77

Tablo 4. 38: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.....78

Tablo 4. 39: Plaxsis 2D programı ile mohr-coluomb yenilme kriteri analiz sonuçları. 80

Tablo 4. 40: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan analiz sonuçları. 81

Tablo 4. 41: RS2 (Phase) Programı İle Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri Analiz Sonuçları. 82

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

α : Yatay maksimum yer ivmesinin ortalama değeri (cm/sn^2)
γ : Birim ağırlık
ν : Poisson oranı
ν_{rm} : Kaya kütlesi poisson oranı
φ : içsel sürtünme açısı
σ_h : Yatay gerilme
σ_n : Normal gerilme
σ_v : Düşey gerilme
σ_1 : En büyük asal gerilme
σ_3 : En küçük asal gerilme
σ_{ci} : Masif kayanın tek eksenli basınç direnci
σ_{cm} : Kaya kütlesinin tek eksenli basınç direnci
τ : Makaslama Gerilmesi

Kısaltmalar **Açıklama**

a : Hoek & Brown yenilme ölçütündeki üssel ifade
c : Kohezyon
cm : Santimetre
Ct : Trakya Formasyonu
Ctc : Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi
Ctg : Gümüşdere Silisli Şeyl - Grovak Üyesi
D : Örselenme faktörü
E_i : Masif kayanın elastisite modülü
E_m : Kaya kütlesinin deformasyon modülü
FoS : Güvenlik sayısı
g : Yerçekimi ivmesi (gal)
GPa : Gigapascal
GSI : Jeolojik dayanım indeksi
GSI_r : Residüel jeolojik dayanım indeksi

H : Örselenme kalınlığı

k : Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı

KÇT : Kireçtaşı

km : kilometre

KMT : Kumtaşı

L : Boy

m : Metre

m_b : Modifiye edilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütünde kaya kütlesine ait boyutsuz malzeme sabiti

m_i : Kaya malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti

MPa : Megapascal

MTA : Maden Tetkik ve Arama

m_w : Moment büyüklüğü

Qal : Alüvyon

R : Çap, Fay kırığı ile incelenen alan arasındaki en kısa mesafe (km)

s : Hoek-Brown yenilme ölçütünde boyutsuz malzeme sabiti

SMR : Şev Kütle Puanlaması

SRF : Gerilme azaltma faktörü

S-SRF : Depremli gerilme azaltma faktörü

SSPC : Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi

T : Örselenme Kalınlığı

Tmpb : Belgrat Formasyonu

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEBECİ TAŞ OCAKLARINDAKİ YÜKSEK ŞEVKLERİN DURAYLILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ramazan Haslet DİLLİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış olan bu çalışma da, İstanbul Cebeci bölgesinde yer alan taş ocaklarının yer yer 300 metreyi bulan dike yakın şevlerinin duraylılıkları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında inceleme alanında bulunan Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu'nun jeolojik, petrografik ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Duraylılık analizleri için Hoek-Brown yenilme mekanizması modeli kullanılmıştır. Hoek-Brown yenilme modeli için kaya kütlesinin tasarım parametreleri belirlenmiştir. Duraylılık analizleri RS2 (Phase) programı kullanılarak iki boyutlu sonlu elamanlar yöntemi ile yapılmıştır.

Trakya Formasyonu geçirdiği orojenezler ile çok fazla kırıklı, çatlaklı, faylı bir yapı sunmaktadır. Şev duraylılığında etkili parametre olan bu süreksizlikler, analizlerde göz önünde bulundurularak süreksizliklerin etkileri de sayısal analizlerde değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda iki farklı litolojik birim (kumtaşları ve kireçtaşları) için 6 farklı "k" oranı ile analizler yapılmış "k" oranındaki değişimin analiz sonuçları üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Ekim 2019, 116 sayfa.

Anahtar kelimeler: Şev Duraylılığı, k oranı, Sayısal Analiz, Trakya Formasyonu,

SUMMARY

M.Sc. THESIS

ASSESSMENT of STABILITIES of STEEP SLOPES in CEBECİ ROCK QUARRIES

Ramazan Haslet DİLLİ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Murat YILMAZ

This study, which was prepared as a master's thesis at Istanbul University-Cerrahpaşa Graduate Education Institute, evaluates the stability of the steep slopes of the quarries in the Cebeci district of Istanbul up to 300 meters. Within the scope of this research the geological, petrographic and engineering properties of the Carboniferous Thrace Formation in the study area were determined.

For stability analysis, the Hoek-Brown failure mechanism model was used. The design parameters of the rock mass for the Hoek-Brown failure model were determined.

Stability analysis was performed by using RS2 (Phase) program and two dimensional finite elements method. Thrace Formation presents a very fractured, cracked and faulted structure

with its orogenesis. These discontinuities, which are effective parameters for slope stability, and their effects were considered in the numeric analysis.

As a result of the studies, 6 different "k" ratios were analyzed for two different lithological units (sandstones and limestones) and the effects of the change in the “k” ratio on the results of the analysis were evaluated.

October 2019, 116 pages.

Keywords: Slope Stability, "k" ratio, Numerical Analysis, Thrace Formation

1. GİRİŞ

Gelişen ve değişen ekonomik, sosyal ve politik koşullar, temel yerleşim birimlerimiz olan şehirlerimiz üzerinde etkilerini hissedilir biçimde göstermektedir. Şehirlerimizin büyümesi ve gelişmesi, ekonomik, sosyal, yaşamsal sorunları meydana getirmektedir. Şehirlerimizin önlenemeyen büyümesi ve coğrafik koşulları, yerleşim alanlarını daraltmaktadır. Bununla birlikte agrega alanları ya yerleşim yerlerine uzak ya da yerleşim alanları içinde kalmaktadır. Yerleşim alanları içinde kalan agrega sahalarını iş güvenliği bakımından ve ekonomik olarak mühendislik bakış açısıyla çözüm üretmek gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Üretilecek olan mühendislik çözümleri doğrultusunda agrega üretim alanlarının projelendirilmesi ve üretime tabi tutulması vazgeçilmez olmaktadır.

Yerleşim sorunlarından en önemlilerinden biri olan konut başta olmak üzere, kültürel ve sosyal yapılar ile buna bağlı olarak ulaşım ve ulaşımı sağlayan yollar, köprüler ve benzeri yapılardır. Söz konusu bu yerleşim yapılarının temel girdisi olan malzemelerin varlığı, temini, yapı alanına nakliyesi ve mali değeri önem kazanmakla birlikte ciddi bir mühendislik problemi olarak toplumsal içerik kazanmaktadır. Bu kapsamda yapı malzemelerinin ana unsurlarından olan agrega temini ve bu doğrultudaki mühendislik çalışmaları ile karşılaşılan mühendislik problemleri temel konumuzu teşkil etmektedir. Bu kapsamda taş ocaklarının işletilmesi ve işletme sürecinde teknik olarak karşılaşılan şev duraylılık problemleri ve çözümleri mühendislik uygulamalarının yaratıcı bir şekilde hayata geçirilmesinin temelini oluşturmaktadır.

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI ve KAPSAMI

Bu yüksek lisans tezi çalışması için İstanbul ili Sultangazi ilçesi cebeci bölgesinde de bulunan taş ocakları seçilmiştir. Çalışma alanının bu bölgede seçilmesinin nedeni mevcut durumdaki taş ocaklarında yer yer 300 metreyi bulan dike yakın derin şevlerin bulunmasıdır.

Aynı zamanda bu bölgede yer alan Trakya Formasyonu geçirdiği orojenezler nedeni ile kaya ortamı çok fazla kırıklı, çatlaklı, faylı ve kıvrımlı bir yapı sunmaktadır. Kaya kütlelerinde Faylar, eklem takımları ve tabakalanma gibi yapısal unsurlarla birlikte kayaçların mekanik ve

fiziksel özellikleri de şev duraylılıklarını etkilemektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak iki farklı litolojik birim için aynı geometrik tasarım modeli kullanılarak modeller kurulup sayısal analizlerin yapılması hedeflenmiştir.

Bu tez kapsamında kayaçların hem mühendislik özelikleri hem de jeolojik özelliklerinin etkilerini araştırmak için iki farklı litolojik birim olan kumtaşı ve kireçtaşı şevleri aynı geometri ile sonlu elemanlar yöntemi kullanarak modellenmiş, toplam yer değiştirme, güvenlik sayıları ve depremli güvenlik sayıları bulunarak karşılaştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca şev duraylılığına etki edeceği düşünülen parametrelerden biri olan "k oranı" (düşey gerilmenin yatay gerilmeye oranı) değişimi aynı geometride farklı jeolojik koşullar için uygulanmış toplam yer değiştirme, güvenlik sayıları ve depremli güvenlik sayıları miktarları karşılaştırılması hedeflenmiştir.

1.1.1 İnceleme Alanının Yeri ve Konumu

İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde İstanbul ili, Sultangazi ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanı kuzeyinde devlet ormanı, doğusunda Alibeyköy Barajı, Kuzey doğusunda Hasdal-Kemerburgaz Yolu, Güneyinde Sultangazi İlçesi, güneybatısında Cebeci mahallesi, kuzeybatısında ise Arnavutköy-Habipler yolu bulunmaktadır (Şekil 1. 1).



Şekil 1. 1: İnceleme alanının yeri ve konumu.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmaların anlaşılır olması bakımından; Araştırma bölgesi ve araştırma konusu olarak iki bölümde sunulmuştur. Araştırma bölgesi ile ilgili çalışmalar başlığı altında, araştırma bölgesinde daha önceden yapılan jeolojik, mineralojik ve petrografik çalışmalar derlenmiş ve değerlendirilmiştir. Araştırma konusu ile ilgili önceki çalışmalar bölümünde ise şev duraylılığı, sayısal analizler ve mühendislik jeolojisi ile ilgili çalışmaları derlenmiş ve değerlendirilmiştir.

2.1.1 Araştırma Bölgesi ile ilgili Çalışmalar

Yalçınlar (1951); Çalışmasında İstanbul'un Paleozoik dönemine ait Cebeciköy kireçtaşının Vizeen yaşında olduğunu tespit etmiştir. Yanı sıra Trakya Formasyonu'nun yaş bakımından Karbonifer zamanında oluşabileceğini söylemiştir.

Baykal ve Kaya (1963); İstanbul bölgesinde bulunan Karboniferin genel stratigrafisi adlı çalışmalarında Trakya Formasyonunun Vizeen-Karbonifer yaşında olduğunu belirtmişlerdir.

Önalan (1981); İstanbul'da Paleozoyik yaşlı birimlerin özellikle çökelme ortamı ve çökelme özelliklerini incelemiş ve bu birimler arasında herhangi bir uyumsuzluğun olmadığını, bütün bu birimlerin birbiriyle uyumlu olduğunu belirtmiştir. Birimlerin ise transgresif bir seriden oluşturduğunu söylemiştir.

Ketin ve Güner (1989); Yaptığı çalışmada Trakya Formasyonunun İki defa farklı doğrultularda tektonik deformasyon geçirmesi ile çok yönlü bir kırılma sisteminin geliştiğini belirtmiştir. Birinci tektonik deformasyon Hersiniyen orojenezi döneminde oluşmuş (250-300 milyon yıl önce) Doğu-Batı yönlü sıkışma sonucunda çok fazla çatlak yüzey ve farklı kayma düzlemleriyle kırılmış, kıvrılmış, devrilmiş ve parçalanmıştır. İkinci tektonik deformasyon ise Alpin Orojenezi döneminde gerçekleşmiş (~100 milyon yıl önce) Kuzey-Güney doğrultulusunda etkiyen kuvvetler ile ikinci kez kırılmış, faylanmış ve bindirmeli-naplı bir yapı kazanmıştır.

Okay vd. (1994); Yapmış oldukları çalışmada İstanbul Paleozoyik istifinin Karbonifer-Permiyen döneminde deformasyon geçirdiğini belirtmişlerdir. Paleozoyik istifin İstanbul'un bazı kesimlerinde Triyas çökel istifiyle uyumsuz olarak örtüldüğünü söylemişlerdir.

Gutsuz ve diğ. (2008); İstanbul Paleozoyik istifinde yaptıkları çalışmalarında istifin yapısal ilişkilerle birlikte litoloji-yapı ilişkilerine dayanarak, karboniferden başlayarak miyosen sonrasına kadar olan beş farklı dönemde beş kez deformasyon geçirdiğini belirlemişlerdir.

Özgül (2011); İstanbul Paleozoyik istifinin bazı stratigrafik ve yapısal özellikleri çalışmasında İstanbul'da Erken Paleozoyik-Kuvaterner zaman aralığını kapsayan kaya birimlere yer vermiş ve kaya birimleri arasındaki tektonik ilişkileri belirtmiştir.

Aysal ve diğ. (2015); İstanbul Zonundaki dayk kompleksinin izotop sistematiğini, jeokimyasını ve jeokronolojisini araştırdıkları çalışmalarında İstanbul Zonundaki dayklarının Üst Kretase yaşlı olduğunu ve yaş aralığını yaklaşık olarak 72.49 ± 0.79 - 65.44 ± 0.93 milyon yıl aralığında olduğunu ortaya koymuşlardır.

2.1.2 Araştırma Konusu ile İlgili Çalışmalar

Muller (1959); Yaptığı çalışmada süreksizliklerin (çatlak, tabaka, fay vb.) kaya kütlesinin davranışını etkilediğini ve kaya kütlelerinin davranışı incelenirken süreksizliklerin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Griffiths ve Lane (1999); Yaptıkları araştırmada bilgisayar destekli sonlu elemanlar yönteminin geleneksel limit denge analizlerine alternatif olarak güvenilir ve doğru bir yöntem olduğunu tespit etmişler ve şevlerin güvenlik sayısının belirlenmesinde bilgisayar destekli sonlu elemanlar metodunun analizlerinde etkili sonuçlar sağlayabileceğini vurgulamışlardır.

Tuncay ve Ulusay (2000); Yaptıkları çalışmada, şev duraylılığını değerlendirme de deterministik kinematik analiz ile olasılığa dayalı kinematik analiz yöntemini karşılaştırmışlardır. Yaygın olarak kullanılan deterministik (geleneksel) kinematik yöntemde dış yükler, kohezyon, gözenek suyu basıncı gibi faktörler göz ardı edilirken, süreksizlikler, şevin yönelimleri, litolojinin içsel sürtünme açısı gibi parametreler kullanılmaktadır. Olasılığa dayalı kinematik analiz yöntemini ile şev duraylılığına düşük frekansa sahip süreksizliklerin de duraylılığa etkisi değerlendirilebilmekte olduğunu belirlemişlerdir.

Loring ve Varona (2001); Yaptıkları çalışmada başlangıçta yatay gerilmeler ne kadar fazla ise yatay elastik yer değiştirmelerin o kadar fazla olacağını söylemişlerdir. Ancak elastik yer değiştirmelerin şev duraylılığı incelemelerinde, özellikle önemli olmamasından dolayı, bunun bir yararı olmadığını belirtmişlerdir.

Gözübol ve Aysal (2008); Cebeciköyde kireçtaşı ocağında yapılan yapısal ve litolojik özelliklerin kaya kalitesi ve işletme şartlarına etkilerinin incelediği çalışmada; Çeşitli fay düzlemelerinin olduğu doğu ocakta kayacın mukavemetinin ve malzeme kalitesinin düşmesine yol açan dolomitleşme ve MgO oranında artış olduğu gözlenmiş. Kuzeyden güneye doğru kumtaşlarından kireçtaşlarına geçiş zonunun gözlemlendiği ve bu zonun faylanma ile oluştuğu, Batı ocakta ise yine agrega kalitesini olumsuz etkileyen SiO_2 oranının artışı ve CaO oranın düşüşü tespit edilmiştir.

Read ve Keeney (2009); Yazarlar yaptıkları çalışmada başlangıçtaki gerilme durumunun sayısal analizlerde girdi olarak kullanılmasından dolayı ölçülmesinin önemli olduğunu ve açık ocak işletmelerinde artan derinlikte yer altındaki gerilmelerin kayaçların dayanımından daha yüksek olacağı düşünüldüğü durumlarda muhakkak ölçülmesi gerektiğini belirtmiştirler.

Hoek ve diğ. (2009); Yerinde gerilmelerin açık ocak tasarımına etkisi isimli çalışmalarında farklı k oranları kullanılarak mohr-columb yenilme kriteri ile gerçekleştirdikleri analizlerde k oranı arttıkça yer değiştirme miktarlarının arttığı ancak güvenlik sayılarının değişmediğini ortaya koymuşlardır.

Özvan ve diğ. (2010); Orta-Üst Eosen yaşlı Hoya Formasyonuna ait dolomitik kireçtaşları ile Alt-Orta Oligosen yaşlı Gaziantep Formasyonuna ait killi kireçtaşlarının bulunduğu bir bölgede yol güzergâhı şevleri üzerinde çalışmışlardır. Farklı kireçtaşlarından oluşan kaya kütle özelliklerinin şev tasarımı üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir. Dolomitik kireçtaşlarından oluşan Hoya Formasyonunda açılan şevler daha yüksek açılarda duraylı durumda iken, Gaziantep Formasyonunun killi kireçtaşlarında açılan şevler daha düşük açılarda duraylı durumda kalabilmektedir. Bu çalışma; şev duraylılığı için jeolojik tanımlamanın önemini göstermiştir.

Can (2012); Taşlıtepe açık işletmesinde yapılan şev duraylılık çalışmasında, oluşturulacak şevlerin jeolojik ve jeoteknik faktörler ile jeomekanik parametrelerin göz önünde bulundurularak incelenmesi gerektiği savunulmuştur. Çalışma alanında meydana gelen kaymaların geriye dönük analizleri yapılmış ve elde edilen veriler makaslama dayanım parametreleri ile karşılaştırılmıştır.

Kömürlü (2012); Kaya ve taneli malzemelerde yanal gerilmelerin tahkimat tasarımı üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında tünellerde yanal gerilmelerin düşey gerilmelere olan oranı

arttıkça tavan-taban bölgesinde, azaldıkça yan duvarlar hizasında yenilme bölgesi (plastik zon) kalınlığının arttığını belirtilmiştir.

Karaman (2013); İki farklı şevde, kinematik analiz ile Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi (SSPC) ve Şev Kütle Puanlaması (SMR) yöntemlerini kullanarak şev duraylılıklarını karşılaştırmıştır. Kinematik analiz yönteminden elde edilen veriler, çalışılan şevlerde devrilme türü, düzlemsel ve kama tipi yenilmelerin oluşamayacağını göstermiştir. Olasılıksal Şev Duraylılığı Sınıflandırma Sistemi ile yapılan çalışmalarda, birinci şevde kayma türüne % 100, devrilme türüne > % 95 duraylıdır. İkinci şev ise kayma ve devrilme türüne > % 95 duraylıdır. Şev Kütle Puanlaması yöntemine göre ise birinci şev, kısmen duraylı iken ikinci şev duraysız olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma sonucunda, kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde çeşitli yöntemlerin birlikte ele alınmasının daha güvenli olacağını görmüşlerdir.

Soren ve diğ. (2014); Tipik bir açık ocak işletmesinde şev duyarlılık analizi için sayısal analiz yöntemi uygulanmıştır ve FLAC / Slope modelleme yönteminin açık ocak şevlerinin benzer jeo-madencilik koşullarındaki davranışlarını çok daha iyi anlamak için kullanılabileceğini ve karmaşık yenilme mekanizmalarının daha kolay tespit edilebileceği ortaya konmuştur.

Taşkıran ve diğ. (2015); Şev duraylılığını iki ve üç boyutlu analiz programları kullanılarak çözümlemeyi, programlar arasında kıyaslama yaparak bulmayı amaçlamışlardır. Bir şev örneğinde iki ve üç boyutlu programlarda yaptıkları analizlerde elde ettikleri sonuçları kıyaslamışlar ve üç boyutlu şev modeli ile elde edilen güvenlik sayısı değerinin iki boyutlu şev modeli ile elde edilen değerden daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır.

Hack ve diğ. (2017): Deprem esnasında şevlerin potansiyel duraylılığını analiz etmek için, farklı analiz yöntemlerinin farklı vaka çalışmaları çerçevesinde karşılaştırıldığı çalışmalarında yazarlara göre; her ne kadar deprem esnasındaki şev davranışlarının kolay anlaşılabilir olduğu düşünülse de, doğal malzemelerde sismik dalgaların karmaşık ve büyük ölçüde bilinmeyen davranışları üç boyutlu şev analizlerinde problemler yaratmaktadır. Yine deprem esnasındaki gerçek hareket verilerinin eksikliği ile bu sismik dalgaların bilinmeyen davranışları şev duyarlılığı hakkında güvenilmez tahminlere yol açmaktadır. Üç boyutlu model göstermiştir ki basit bir geometri için bile ivme paterni çok karmaşıktır, bu nedenle basit bir şev analiz yöntemi ile yapılan duyarlılık tahminleri anlamsız olmaktadır.

Er ve diğ. (2017); Cebeci Taş ocaklarındaki diyabaz daykları ve kumtaşlarının kazılabilirliği, aşındırıcılığı ve duraylılığı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda**,** kumtaşı ve diyabazın kazılabilirlikleri kolay kazılabilir-zor kazılabilir arasında değişmektedir. Karbonatlı kumtaşlarının kazılabilirliği kolay kazılabilir, silisli şeyl-gri kumtaşı ve diyabaz ise zor kazılabilir sınıfındadır. Aşındırıcılık seviyelerine göre ise, kumtaşı ve diyabaz hafif aşındırıcı-çok aşındırıcı arasında, karbonatlı kumtaşı hafif aşındırıcı, silisli şeyl ve gri kumtaşı ise yüksek aşındırıcı sınıfındadır. Ayrıca bu çalışma esnasında şev duyarlılığı açısından tespit edilen 5 riskli alan için kaya düşmesi engelleri, tel örgü gibi destek önlemleri de önerilmiştir.

Sepehrı ve diğ. (2017); Çalışmada, yeraltı açıklıklarında oluşturan rahatlama bölgelerin gelişimi ve yayılımı üzerinde yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranının (k değeri) etkisini araştırmak için bir takım sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre k değerinin gevşeme ve rahatlama bölgelerinin gelişimi ve yayılımı üzerine önemli bir etkisi olduğunu ve k değerinin yeraltı madenlerinde belirsiz bir parametre olduğu için, duraylılık analizi sonuçlarının şev duraylılığı ile ilgili risk analizlerini ilerletmek için kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sogore (2018); Mali, Sadiola Açık altın işletmesinde yapılan kaya şev duraylılığı ile ilgili yüksek lisans tezinde, söz konusu ocaktaki şevlerin duraylılıklarını değerlendirmiştir. Yapılan tez çalışmasında Bishop metodu ve Fellenius metodu karşılaştırılmıştır. Bishop metodunun Fellenius metoduna kıyasla hesaplananlardan daha düşük güvenlik sayısı değerleri verdiği belirlenmiş ve bu nedenle de özellikle duraylılık sınırında hesaplamalarda Bishop metodunun kullanılması önerilmiştir.

Yılmaz ve diğ. (2018); Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, yüksek kaya şevlerinin duraylılığını değerlendirmek amacıyla sayısal olarak modellemişlerdir. Yaptıkları çalışmada hâkim süreksizlik takımlarını tespit etmişler ve bu süreksizlikleri de kullanarak sayısal analizler yapmışlardır. Süreksizliklerin hakim çatlak sistemini etkilediğini ve maden atıklarından kaynaklanan ek yüklerin duraylılığı olumsuz etkilediğini ortaya koymuşlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Cebeci bölgesindeki taş ocaklarında yüksek şevklerin duraylılıklarının değerlendirilebilmesi için kullanılan yöntemler, bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Bu çalışmalar; genel başlıklar halinde arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarını kapsamaktadır. Aşağıdaki bölümlerde bu başlıklar detaylı olarak anlatılmıştır

3.1 BÜRO ÇALIŞMALARI

Bu çalışma için İstanbul ili, Sultangazi ilçesinde bulunan Cebeci Taş Ocakları Bölgesi seçilmiş ve tez konusu belirlenmiştir. Tez konusunun belirlenmesinin ardından literatür derleme çalışmaları başlamış ve tez çalışması boyunca da devam etmiştir. Bölgede daha önce farklı amaçlar için yapılan çalışmalar derlenmiş, tez konusu ile ilgili benzer ulusal ve uluslararası yayınlar taranarak değerlendirilmiştir.

Büro çalışmaları ile arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen tüm veriler bir arada değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda ortaya çıkan veriler ışığında kaya kütlesinin mühendislik özellikleri ortaya konmuş ve kaya kütlesi tasarım parametreleri belirlenmiştir. Kaya kütlesi özellikleri değerlendirildiğine duraylılık analizleri için Hoek ve Brown yenilme kriterinin yenilme ölçütü olarak seçilmesine karar verilmiştir. Bu belirlenen veriler ışığında duraylılık analizleri yapılmış ve ortaya çıkan sonuçlar; tartışma ve sonuç bölümünde anlatılmıştır.

Çalışma sırasında duraylılık analizleri RS2 (Phase) programı kullanılarak iki boyutlu sonlu elamanlar yöntemi ile yapılmıştır. Sadece yapılan analizleri doğrulamak ve bir fikir oluşturması adına Plaxsis 2D programı ile de birkaç model analiz edilmiştir.

3.2 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları, önceki çalışmaların rehberliğinde başlamış ve çalışma alanının jeolojisi gözden geçirilmiştir. Arazi çalışmaları 12 Haziran 2017 - 18 Ağustos 2017 tarihleri arasında sürdürülmüştür. Bu çalışmalarda öncelikle bölgenin jeolojisi genel olarak incelenmiş, daha sonra taş ocaklarında ayrıntılı mühendislik jeolojisi araştırmaları yapılmıştır. Bu araştırmalar

sonucunda faylar, tabaklalar ve eklem takımları gibi ve süreksizliklerin mühendislik özellikleri ortaya konarak, çalışma alanının jeolojisini kapsayacak şekilde ayrıntılı olarak çalışılmıştır.

Ayrıca, saha çalışmaları sırasında kaya ortamını temsil edecek şekilde örnekleme yapılmış, kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için taş ocaklarında bulunan kayalardan blok örnekleri alınmıştır. Bu örnekleme yapılırken alınan blokların kaya ortamını en iyi temsil edecek şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir.

3.3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için taş ocaklarından alınan kaya bloklarından İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa numune hazırlama laboratuvarında karotiyer yardımıyla karot örnekleri hazırlanmıştır. Daha sonra karot örnekleri çaplarının boylarına oranı L = 2R olacak şekilde uçları düzeltilerek hazırlanma süreci tamamlanmıştır.

Hazırlanan karot örnekleri ile kaya mekaniği deneyleri kapsamında, birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ISRM 1985 ve TS 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

İnceleme alanında farklı süreksizlik yüzeylerini temsil edecek şekilde üç farklı yerden blok örnekler alınmıştır. Bu örnekler laboratuvarda kesilerek kayada kesme kutusu deneyi için hazırlanmıştır. Süreksizlik yüzeylerinin kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesi için kayalarda kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

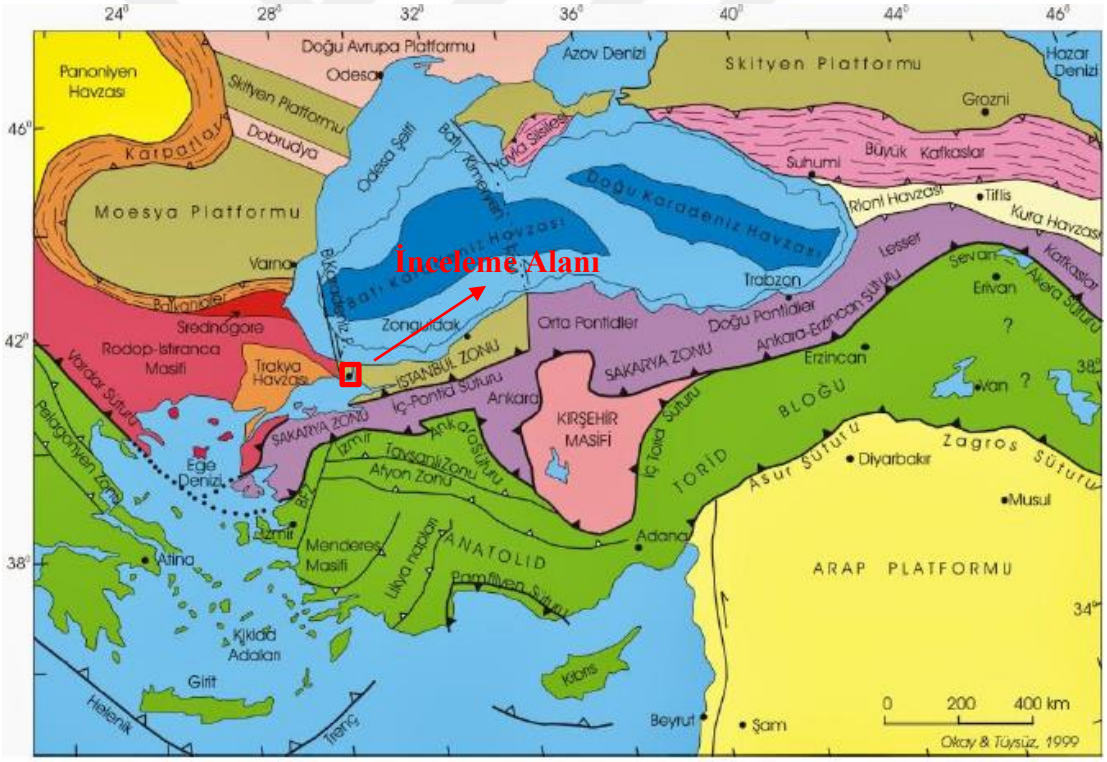
Alınan örneklerden jeolojik ince kesitler hazırlanmış ve hazırlanan kesitler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji - Petrografi Anabilim Dalı'nda bulunan Leitz Ortoplan araştırma mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde inceleme alanının; bölgesel jeolojisi, inceleme alanının jeolojisi, inceleme alanındaki kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri, incelenen kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri, kaya kütlesi tasarım parametreleri ve duraylılık analizleri anlatılmıştır.

4.1 BÖLGESEL JEOLOJİ

İnceleme alanı; Okay ve Tüysüz (1999) tarafından İstanbul Zonu olarak tanımlanan alan içerisinde kalmaktadır. İstanbul Zonu; batıdan Istranca Masifi ve kalın bir Tersiyer çökel havza ile Güneyden Sakarya Zonu (Armutlu Yarımadası) ve İzmit Körfezi'nden geçen Kuzey Anadolu Fayı'yla sınırlanır. Buradaki sınır da tektonik olup Orta Pontitler'den ayrılır. (Şekil 4.1)



Şekil 4. 1: İnceleme alanının Türkiye'nin tektonik birlikleri haritasındaki konumu (Okay ve Tüysüz, 1999).

İstanbul Zonu yaklaşık olarak 70 km genişliğinde ve 400 km uzunluğunda küçük bir kıta parçasıdır (Okay ve Tüysüz, 1999). İstanbul Zonunun temelini Neoproterozoyik yaşlı bir metamorfik temel oluşturmuştur (Okay ve diğ., 2008). Bu temel Ordovisyen-Karbonifer yaşlı, İstanbul Paleozoyik istifi olarak adlandırılan, sedimanter bir istif olan, pasif kıta kenarı çökelleri

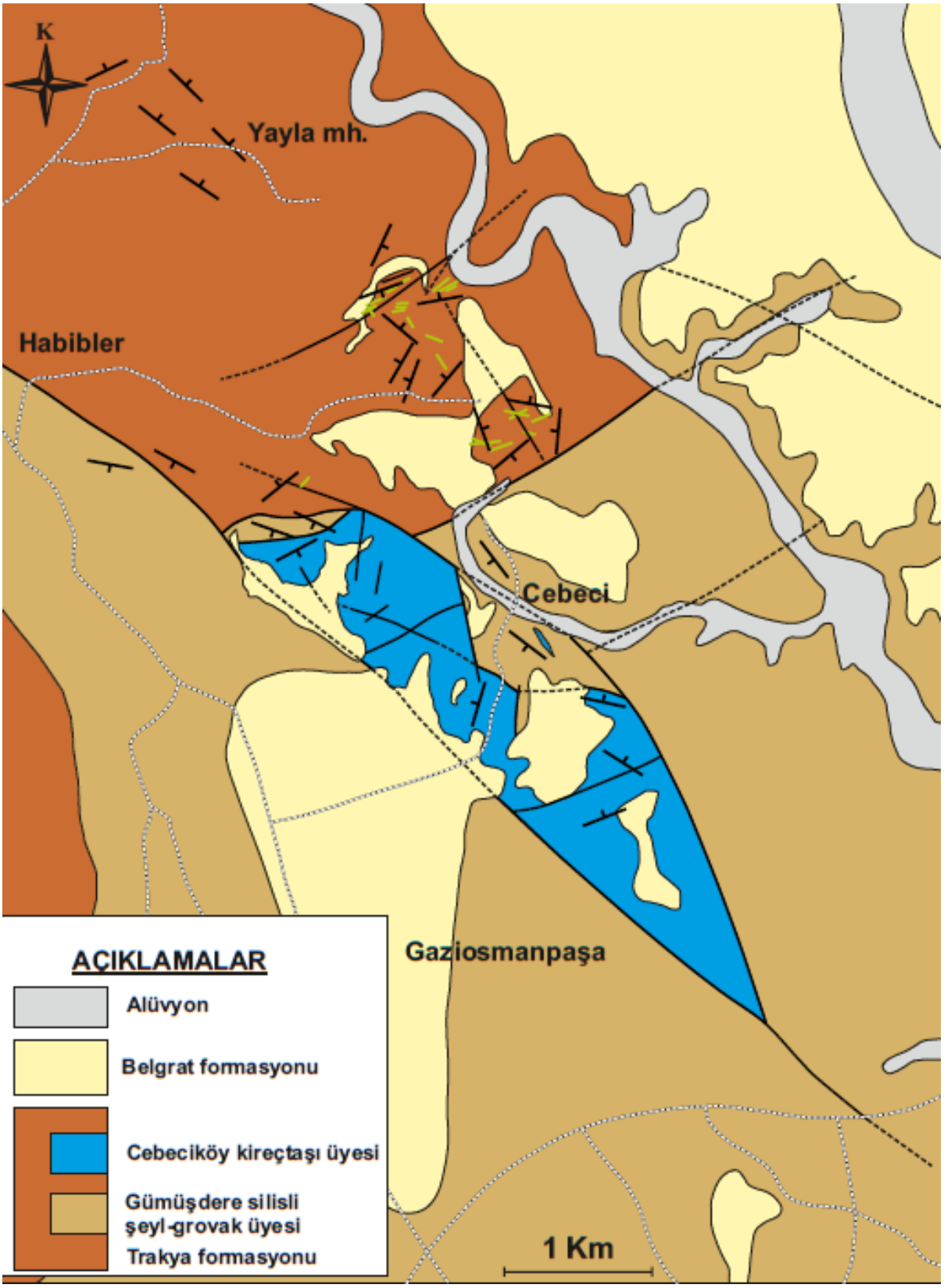
tarafından uyumsuz olarak örtülür (Görür ve diğ., 1997). İstanbul Zonunu lito-stratigrafik olarak Pontidlerin diğer bölümlerinden ayıran en önemli özellik, bu metamorfik temel üzerinde bulunan Paleozoyik yaşlı kesintisiz bir çökel istifin bulunması (Önalan, 1981) ve bu çökel istifin bir transgresif seriden oluşmuş olmasıdır (Görür ve diğ, 1997). Transgresif serinin İstanbul'un doğusundan batısına doğru gidildikçe ortamın daha derin deniz koşullarında olduğu görülmektedir (Okay ve diğ., 2008).

İstanbul Zonunun aksine İstanbul'un Avrupa yakası ve İstanbul Boğazı yaklaşık olarak sınır olmak üzere stratigrafik açıdan değerlendirildiğinde karbonifer yaşlı birimler ile başlayıp kuvaterner yaşlı güncel çökeller ile son bulmaktadır. Özellikle İstanbul'un batıya doğru Trakya tarafı Senozoik yaşlı (Tersiyer ve Kuvaterner) çökellerden meydana gelmiştir (Özgül ve diğ., 2011).

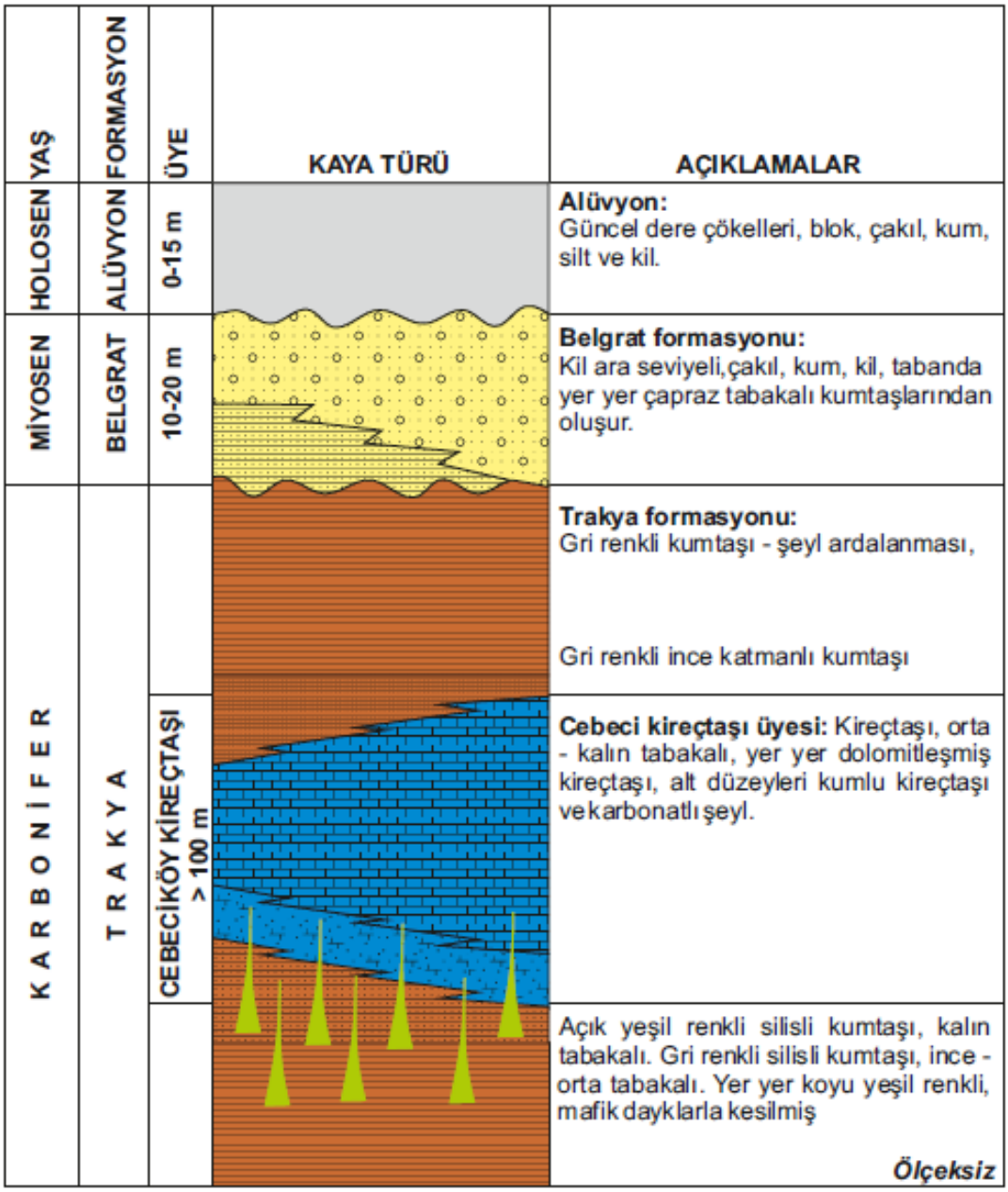
İnceleme alanı için yapılan jeolojik tanımlamalar MTA Genel Müdürlüğü'nün 1:100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları İstanbul - F21 ve G21 (Kısmen) paftasından ve çalışma alanında yapılan jeolojik incelemelerden elde edilen bilgiler ışığında yapılmıştır. İnceleme alanı, 1/100.000 ölçekli İstanbul F21, 1/25.000 ölçekli İstanbul F21C1, C2, C3 ve C4 numaralı pafta alanları içinde yer almaktadır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Çağlayan ve Yurtsever (2002) tarafından ayırtlanan formasyonlar yaşlıdan gence doğru; Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu ve Güngören Formasyonu, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Belgrat Formasyonu çökelleri ile Kuvaterner yaşlı Alüvyonlardır. İnceleme alanı ve yakın çevresinin Aysal ve Gözübol (2008) tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Bölgesel Jeoloji Haritası Şekil 4. 2' de, gösterilmiştir. Bölgenin Genelleştirilmiş Stratigrafik Sütun Kesiti ise Şekil 4. 3' te sunulmuştur.

Trakya Formasyonu, Hersiniyen orojenezi döneminde Doğu-Batı yönlü sıkışma ve Alpin orojenezi döneminde Kuzey-Güney yönlü basınçların etkisi ile şiddetli deformasyona uğramıştır. Formasyon farklı doğrultularda çatlamış, kırılmış, kıvrılmış deformasyon yönüne bağlı olarak parçalanmıştır. Bu nedenle de inceleme alanında da çok sayıda fay düzlemi ve kıvrım bulunmaktadır.



Şekil 4. 2: İnceleme alanı ve yakın çevresinin Aysal ve Gözübol (2008) tarafından hazırlanan jeoloji haritası.



Şekil 4. 3: İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojik dikme kesiti Aysal ve Gözübol (2008) değiştirilerek alınmıştır.

4.2 İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

İnceleme alanımız olan Cebeciköy Taş Ocakları'nın yer aldığı saha, Alt Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu'na ait Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi ve Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi ile onu yer yer örten Neojen yaşlı Belgrat Formasyonundan oluşmaktadır (Şekil 4. 4).



Şekil 4. 4: İnceleme alanında bulunan kireçtaşları ile onu uyumsuzluk ile örten Neojen yaşlı Belgrat Formasyonu arazide görünümü (konum: 4° 7' 2.60" K 28° 52' 40.22" D).

4.2.1 Trakya Formasyonu (Ct)

İnceleme alanında bölgesel temel kayayı, Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu oluşturur. "*Trakya Formasyonu, kısmen transgresif, üst kısımları regresif ve türbidit oluşuklarının yaygın olduğu batiyal bir ortamda çökelmiştir*" (Kaya 1971).

Trakya Formasyonu ilk kez Kaya (1971) tarafından adlandırılmıştır. Trakya formasyonunun tipik yeri ve tipik kesiti İstinye-Ayazağa-Cebeciköy doğrultusundadır (Kaya, 1971). Trakya Formasyonu inceleme alanında geniş bir yayılım göstermektedir.

Birimin kalınlığı 600-1700 metre arasında değiştiği söylenmektedir (Çağlayan ve Yurtsever 2002). İstinye-Ayazağa-Cebeciköy kesitinde Kaya (1971) birimin ölçülen kesit kalınlığını 510 metre, birimin tüm kalınlığını ise 1000 metre olduğunun söylemiştir. Kaya ve Lys (1980) birimin kalınlığının 2000 metreyi aşkın olduğunu ileri sürmüşlerdir.

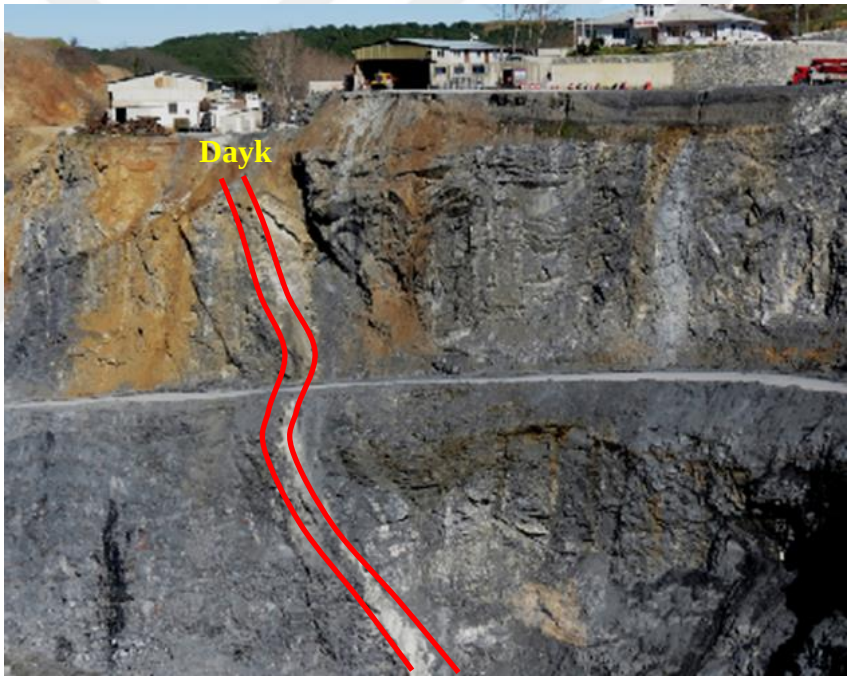
Trakya Formasyonu göreceli olarak alttan-üste doğru; Acıbadem üyesi, Balıklıhavuz çakıltaşı üyesi, Küçükköy kumtaşı üyesi, Çamurluhan şeyl üyesi, Cebeciköy kireçtaşı, Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak üyesi olmak üzere başlıca altı üyeden oluşmaktadır.

Birimin tabandan tavana litolojik özelliği; gri, koyu gri renkli, ince tabakalı, sert, bol eklemli ve bitki izli silisli şeyl üzerine, sarımsı gri ve mavimsi gri renkli orta kalın tabakalı oldukça

ayrışmış mikalı kumtaşları oluşturur. En üstte birimin ana istifini oluşturan mavimsi gri renkli laminalı ince tabakalı ince taneli levhamsı, sert yer yer kireçli ve kireçtaşı mercekli miltaşı ve ince taneli kumtaşı ara seviyeli şeyllerden oluşur (Çağlayan ve Yurtsever, 2002).

Birim Alt Karbonifer yaşlı Baltalimanı Formasyonu ile tedrici geçişlidir. Üzerinde ise Senozoyik yaşlı kaya birimleri diskordans ile gelir (Kaya 1971).

İnceleme alanında Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu'nu, bazı bölgelerde, kalınlıkları 0.10-1.00 metre arasında değişen diyabaz daykları ile kesilmiştir (Aysal vd., 2017) (Şekil 4. 10). Buradan, sığ sokulum kayaçlarının Alt Karbonifer'den sonra bölgeye yerleştikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 5: İnceleme alanında bir ocak sahasında gözlenen diyabaz türü dayk görünümü (konum: 41° 7' 22.62" K ve 28° 52' 21. 89" D).

İncelme alanında mostra veren ve bölgedeki taş ocaklarında üretimi yapılan, Trakya Formasyonun iki farklı üyesi bulunmaktadır. Bu kaya-stratigrafi birimlerinden Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi inceleme alanının güney kesiminde Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi ise kuzey kesiminde yer almaktadır.

Trakya formasyonunu; (Penck, 1919; Paeckelman, 1925); Trakya Serisi olarak, Haas (1968), "Ober Thrazische Serie" olarak, Kaya (1971), Önalan (1981), Aksay (2004: Tüysüz vd., 2004 de), Özgül (2005) ve Gedik vd., (2005) Trakya formasyonu olarak kullanmıştır.

4.2.1.1 Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi (Ctc)

Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi ilk kez Baykal ve Kaya (1963) tarafından adlandırılmıştır. Cebeciköy Kireçtaşı Üyesinin Cebeciköy dolayında verdiği yüzlekler aşağıda Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4. 6: İnceleme alanında bulunan Cebeciköy kireçtaşı üyesinin mostra görünümü (Cebeci köy güneyi, konum: 41° 7' 12.58"K ve 28° 53' 4.35"D).

Birim adını tipik yeri olan Cebeci köyden almıştır. Üyenin kalınlığı, Kaya (1971) tarafından 160.00 metre, Gözübol ve Aysal (2008) tarafından ise 350.00-400.00 metre ve Özgül vd., (2011) tarafından 100.00 metre olarak ifade edilmiştir. İnceleme alanında mevcut ocaklarda gözlenen yaklaşık derinlik ise 300 metre civarıdır.



Şekil 4. 7: İnceleme alanında bulunan Cebeciköy kireçtaşı üyesinin mostra görünümü (Cebeci köy güneyi, konum: 41° 7' 14.29" K ve 28° 52' 55.58" D).

Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi, gri, mavimsi koyu gri, siyahımsı gri renkli, inceden kalına kadar değişen tabakalı ve yer yer masif kireçtaşları ile karbonatlı şeyl, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, ikincil dolomitik kireçtaşları ve çörtler ile tanımlanır. (Kaya, 1971). İkincil Dolomitleşmeler inceleme alanında, ana fay düzlemeleri boyunca gözlenmektedir (Gözübol ve Aysal 2008). Üst seviyelerde ayrışma nedeni ile rengi kahverengi-kızıl kahve, sarımsı ve bozdur.

Cebeciköy kireçtaşı üyesi alttan Çamurluhan şeyl üyesi ile üstten Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak üyesi ile geçişlidir (Çağlayan ve Yurtsever, 2002). Fakat Kaya ve Lys (1980) göre Cebeciköy kireçtaşı üyesinin Gümüşdere silisli şeyl üyesi ile dokanağı diskordanslıdır. Birim içerisinde içerisin de brakyopoda ve gonitites fosilleri gözlenmektedir (Kaya, 1971). Yalçınlar (1951) Cebeciköy kireçtaşının Vizeen yaşında olduğunu tespit etmiştir.

Cebeciköy kireçtaşı üyesi; Tchihatcheff (1864) Devoniyen kireçtaşı, Kaya (1971) Heybeliada kireçtaşı üyesinin farklı ortamda çökelmiş yanal yöndeki devamı olduğunu belirtmiştir.

4.2.1.2 Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi (Ctg)

Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi Yurtsever (2002) tarafından Trakya formasyonun en üst üyesi olarak adlandırılmıştır. Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesinin verdiği yüzlekler aşağıda Şekil 4. 8 ve Şekil 4. 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 4. 8: İnceleme alanında bulunan Gümüşdere Silisli Şeyl - Grovak üyesinin Cebeci köy Kuzeyinde verdiği mostra görünümü (konum: 41° 7' 34.16" K ve 28° 52' 51.67" D).

Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi, Trakya Formasyonunun en üst fasiyesidir. Alt seviyelerde silisli şeyl, üstte ise grovak, konglomera ve şeyllerden oluşur. Yer yer grovak ve silisli şeyl seviyelerinin içerisinde farklı boyutlarda kumtaşı mercekleri mevcuttur (Kaya, 1971). Aşağıda Şekil 4.9' da inceleme alanında gözlemlenen kumtaşı merceklerinin ocak sahasındaki görünümü verilmiştir.

Grovaklar, kötü iyi boylanmış, yer yer feldispatça zengin, yer yer laminalı, yer yer tabakalı bir yapı sunar. Konglomeralar ise orta boylanmış ve kalınlıkları değişkendir. (Yurtsever, 2002). Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 500 metre civarındadır (Kaya, 1971). İçerdiği bitki fosillerinden dolayı yaşı Üst Vizeen olarak önerilmiştir (Kaya, 1971).



Şekil 4. 9: İnceleme alanında bulunan bir taş ocağındaki kumtaşı merceklerinin arazideki görünümü.

Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi alttan Cebeciköy kireçtaşı üyesi ile dereceli, Çamurluhan şeyl üyesi ile keskin dokanak sunar. Üstten ise Erikli Formasyonu ile uyumsuz olarak örtülür (Yurtsever ve Çağlayan, 2002). Üye, güneyde yani Cebeciköy civarında sığ, kuzeyde ise aşınma ile derin bir şelf ortamında çökelmiştir. (Kaya, 1971).

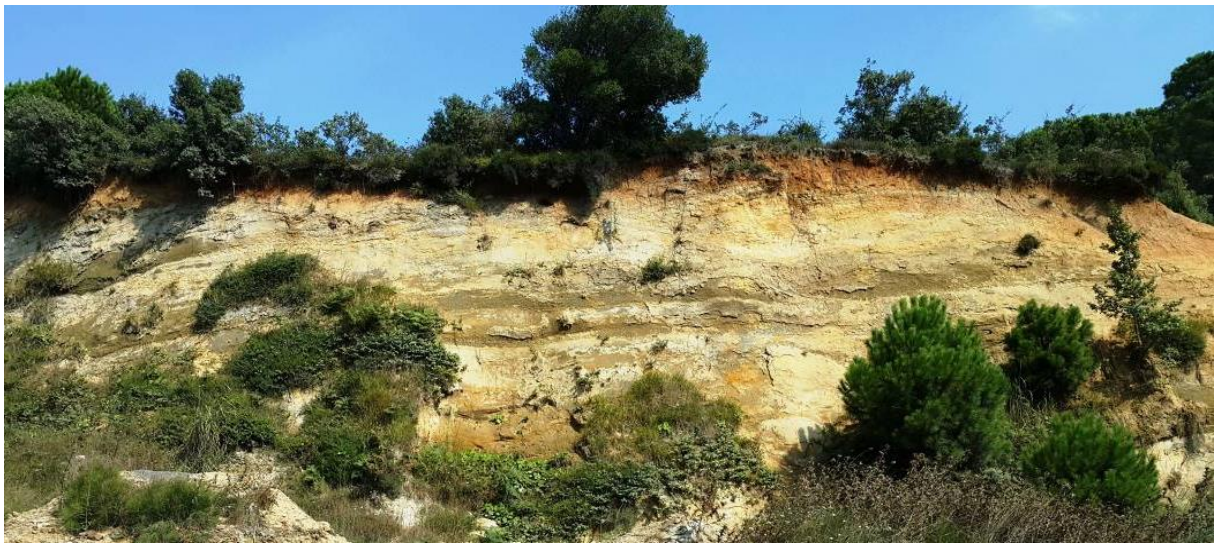
Penck (1919), Pacckelmann (1925) ve Haas (1968) birimi Trakya serisi içinde Kaya (1971) ise birimi Kartaltepe silisli şeyl üyesinin karşılığı olarak kabul etmiştir.



Şekil 4. 10: İnceleme alanında bulunan silisli şeyl-grovak ardalanmasının taş ocağındaki görünümü.

4.2.2 Belgrat Formasyonu (Tmpb)

İnceleme alanında yer alan Trakya Formasyonu, yer yer açısal uyumsuzluk ile Neojen Yaşlı Belgrat Formasyonu tarafından örtülmüştür. Belgrat Formasyonu ilk kez Eroskay (1978) tarafından kullanılmıştır. Belgrat Formasyonunun verdiği yüzlekler aşağıda Şekil 4. 11' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11: Cebeci köy güneyinde Belgrat formasyonu'na ait kil, kum ve az tutturulmuş kumtaşı ve kiltaşı düzeylerinden genel bir görünüm (konum: 41° 7'42.16"K ve 28°52'36.00"D).

Belgrat Formasyonu tipik yeri ve tipik kesiti İstanbul yarımadası kuzeyinde Karaburun-Kumköy-Kemerburgaz-Bolluca doğrultusunda yüzeylemektedir (Yurtsever ve Çağlayan

2002). Belgrat Formasyonun Cebeci köy dolayında verdiği yüzlekler aşağıda Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 de gösterilmiştir.

Birimin kalınlığı genelde 5-75 metre arasında değişmekle birlikte genel olarak 15-25 metre arasındadır (Yurtsever ve Çağlayan 2002). İnceleme alanında ise birimin kalınlığı yaklaşık 20 metre civarındadır.

Kırmızı, kahverengi, kahvemsi sarı, yer yer beyaz renkli yer yer çapraz katmanlı, kötü boylanmalı kırmızı kil ve silt hamurlu tutturulmamış çakıl ve kaba çakıllı çakıl ile orta ince arası tane boyunda kumlardan oluşmuştur. Birimin alt seviyelerinde yer yer düşük kalorili ince linyit bantları içeren yeşilimsi gri renkli bentonitik killer gözlenir. Silisleşmiş ağaç parçaları, teknemsi çapraz katmanlıdır. Tepe ve sırtlarda doğal yıkanma sonucu beyaz renk kazanmış ince kumdan kaba kuma değişen boyutta kumlar görülür (Yurtsever ve Çağlayan 2002).



Şekil 4. 12: Belgrat Formasyonuna ait kil, kum ve ince taneli çakılların arazide yeni kazılmış bir bölgedeki genel bir görünümü (konum: 41° 7' 41.61" K ve 41° 7' 41.61" K).

İnceleme alanında yapılan gözlemlerde ise birimin genel olarak sarımsı, boz, kızıl kahverenkli, kırmızımsı, az miktarda kil, silt, çakıl ve nadiren kaba çakıllı, orta-ince taneli kötü boylanmalı kumlardan ve zayıf tutturulmuş kumtaşlarından oluşmaktadır.

Belgrat formasyonu kendinden yaşlı birimlerin üstüne açısal diskordans ile çökelmektedir ancak Ergene ve Danişmen formasyonları üzerine açısız bir diskordans ile gelmektedir. (Yurtsever ve Çağlayan 2002).

Moloz ve çamur akıntıları ile gelişmiş olan Formasyon genelde, Kuvaterner' de meydana gelen tektonik aktiviteler sonucu faylanmalar nedeni ile şapka şeklinde tepelerde yüzeylenmektedir (Uslu, 2006). Bu şapka şeklindeki yüzeyleme birimin yüzeylediği yerlerde tipik ayırt edici özelliğidir.

İçerisinde fosil bulunmayan birim Üst Miyosen-Pliyosen aralığında (Umut ve diğ., 1984) kurak bir iklimde kısmen bataklık veya taşkın ovası çökelleriyle başlayan menderesli ve örgülü akarsu çökellerinden oluşmuştur (Yurtsever ve Çağlayan 2002).



Şekil 4. 13: Belgrat formasyonu'na ait kil, kum ve ince taneli çakılların genel bir görünüm (konum: 41° 7' 41.61" K ve 41° 7' 41.61" K).

Belgrat formasyonuna; Paeckelmann (1938) Belgrat serisi; Baykal (1963), Belgrat çakılları; Lebküchner (1974), Trakya Katı, Eroskay (1978), Bayrak ve Murat (1990), Belgrat formasyonu, olarak tanımlamışlardır.

4.2.3 Alüvyonlar (Qal)

İnceleme alanında güncel dere yatakları boyunca yayılım sunmaktadırlar. Kalınlığı alüvyonu besleyen derenin büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Alüvyonlar genel olarak tutturulmamış blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda kırıntılı malzemeler içerirler.

4.3 İNCELEME ALANININ YAPISAL JEOLOJİSİ

İnceleme alanında yer alan kireçtaşlarının birim sınırları şekil 4.2 de gösterilen harita olduğu gibi faylarla sınırlıdır. Bu faylar kuzey ve güney fayları olarak ikiye ayrılmıştır. Fayların net atım miktarı bilinmemekle birlikte Trakya formasyonunun grovak–şeyl istifi ile Cebeciköy kireçtaşı üyesini bir birinden ayırır. Fay zonunda bulunan grovak ve şeyller kireçtaşlarına oranla daha fazla deforme olmuş, kimi yerde tanınamaz hale gelmişlerdir. Fay düzleminin yakın çevresinde antitek ve sintetik çok sayıda fay düzlemi bulunmaktadır.



Şekil 4. 14. Cebeciköy kuzey fayı.



Şekil 4. 15. Cebeciköy kuzey fayı.



Şekil 4. 16. Cebeciköy güney fayı.



Şekil 4. 17. Cebeciköy güney fayı.



Şekil 4. 18: Kireçtaşlarında gelişmiş listrik normal fay düzlemi ve fay aynası.



Şekil 4. 19: Kireçtaşlarında gelişmiş listrik normal fay düzlemleri.

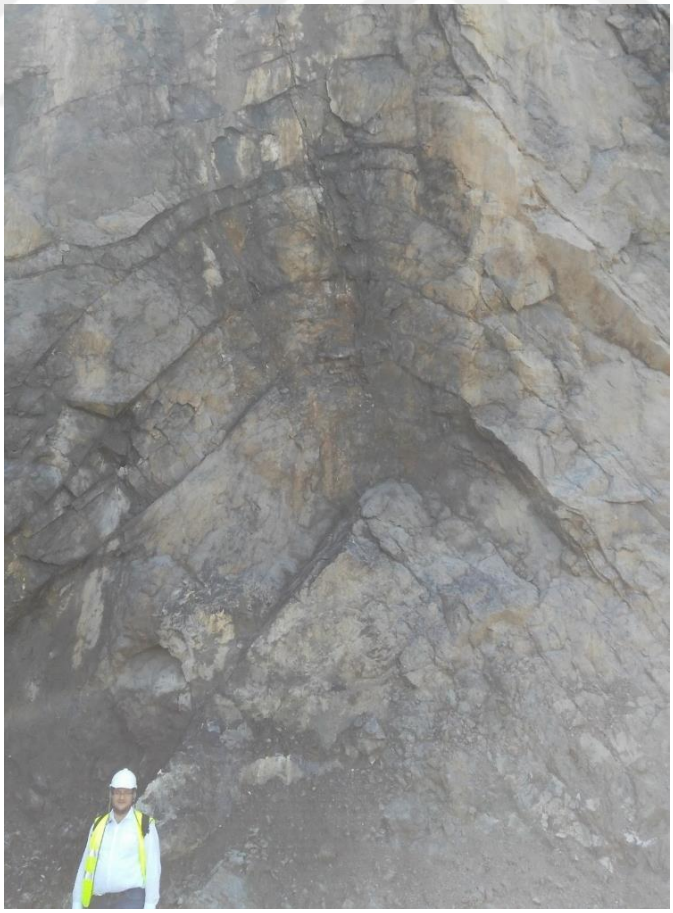


Şekil 4. 20: Kireçtaşlarında gelişmiş fay aynaları.

İnceleme alanında özellikle kireçtaşlarında antiklinal ve senklinal şeklindeki kıvrımlar ve yer yer tabakalarda küçük ölçekte antiklinal ve senklinal oluşan ondülasyonlar bulunmaktadır.



Şekil 4. 21: Kireçtaşlarında gelişmiş küçük ölçekte antiklinal ve senklinal şeklindeki kıvrımlar.

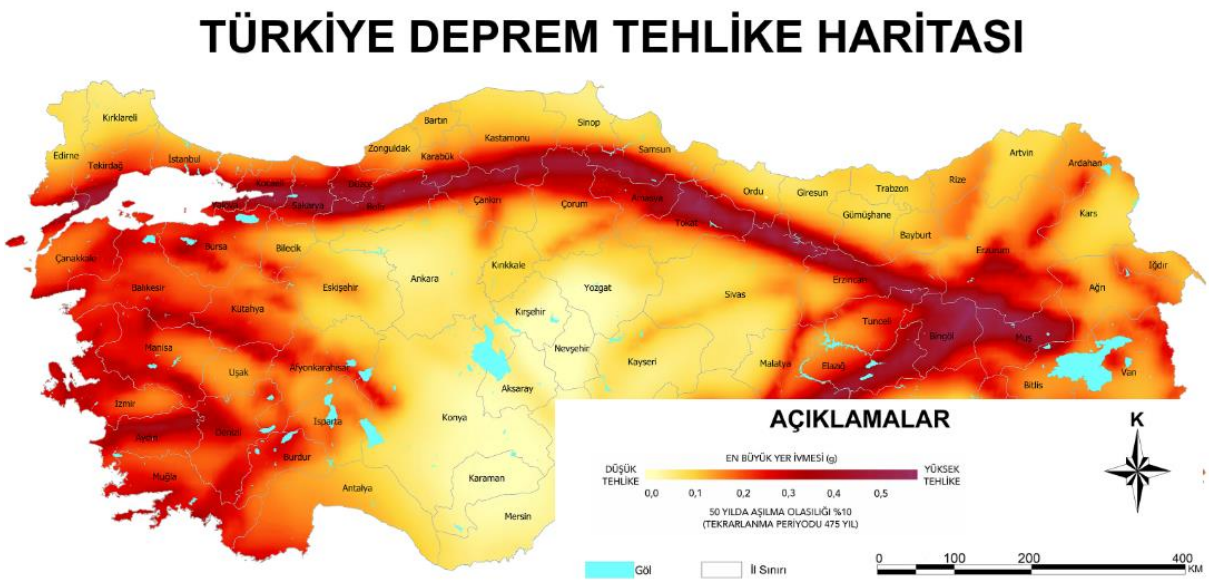


Şekil 4. 22: Kireçtaşlarında gelişmiş antiklinal şeklindeki kıvrım.

4.4 İNCELEME ALANININ DEPREMSELLİĞİ

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve deprem nedeni ile oluşacak bir duraysızlık durumunda, farklı k oranları için depremin etkisinin ne gibi bir değişim sunacağının yapılacak sayısal analizlerde değerlendirilebilmesi amacıyla deprem ivmesi hesaplanmıştır.

Depremsellik değerlendirmesi AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş ve 18 Mart 2018 tarih, 30364 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanmış olan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Şekil 4.23). Yayınlanmış bu yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak hazırlanmıştır. Yeni haritada deprem bölgeleri yerine 'en büyük yer ivmesi değerleri' gösterilmiştir. Haritan seçilen yer ivme değeri ayrıca Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından önerilen ampirik azalım eşitliği yardımıyla da hesaplanmıştır. Haritada kullanılarak alınan en büyük yer ivmesi değeri 0,302 olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 23: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi).

$$\log_{10} a = 0{,}42\ x\ M_w - \log(\mathrm{R} + 0.025 * 10^{0{,}42\ x\ M_w}) - 0{,}0033\ x\ R + 1{,}22 \qquad [4.1]$$

İnceleme alanına en yakın diri fay olan KAF'ın (Kuzey Anadolu Fayı), dik uzaklığı yaklaşık 27 km'dir. Buna göre, bu fay üzerinde olabilecek bir depremin inceleme alanında meydana getirebileceği ivme değerleri, eşitlik [4.1] de gösterilen ampirik azalım eşitliği kullanılarak farklı deprem moment büyüklükleri ile hesaplanmış ve Tablo 4. 1'de sunulmuştur. Ampirik azalım eşitliğinden seçilen deprem ivmesi değeri çeşitli araştırmacılar tarafından İstanbul için

önerilen olası deprem büyüklüğün 7,5 olacağı varsayımı üzerine bu moment büyüklüğü kullanılarak seçilmiştir. Bu değer aynı zamanda Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile de yaklaşık olarak aynı değere denk gelmektedir.

Tablo 4. 1: Deprem büyüklüğüne göre ivme değerleri.

M_v	R	a	a sismik
5,00	27,00	56,45	0,06
5,50	27,00	85,97	0,09
6,00	27,00	126,88	0,13
6,50	27,00	179,57	0,18
7,00	27,00	241,39	0,25
7,50	27,00	306,42	0,31
8,00	27,00	367,47	0,37

4.5 İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİSİ

İnceleme alanında hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde bölgede yarı geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere iki akifer sistemi mevcuttur.

Bölgedeki litolojik birimlerden Belgrat Formasyonu yarı geçirimli bir akifer sistemi oluşturmaktadır. Bu akifer sisteminin hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde tamamen kum, çakıl ve kil içeren kırıntılı bir malzemeden oluşmaktadır. Ancak içerdiği kil nedeniyle birim yarı geçirgen bir akifer olma özelliği göstermektedir.

İnceleme alanında bulunan diğer bir birim ise Trakya Formasyonun Cebeciköy kireçtaşı üyesidir. Kireçtaşları genel olarak iyi bir akifer olma eğiliminde olsalar da bu birim hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde geçirimsiz bir birimdir. Bunun nedeni birimin suyu sadece içerdiği ana süreksizlik düzlemi olan faylar aracılığıyla iletmesi ve ancak içeresinde gelişen karstik boşluklarda suyu tutmasından kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında taş ocaklarının tabanlarında birimin suyu iletmemesinden dolayı yüzey akışı ve yer yer süreksizliklerden süzülen sular nedeni ile farklı derinliklerde göletler oluşmuştur (Şekil 4. 24).

Aynı zamanda kireçtaşlarında gelişmiş olan süreksizlik düzlemlerinde zaman zaman düşük miktarda muhtemelen yüzeysel akışa bağlı olarak süzülmeler şeklinde bir akış mevcuttur. Ayrıca bu birim içerisinde yersel olarak değişik boyutlarda karstik boşluklar bulunmaktadır (Şekil 4. 25).



Şekil 4. 24: İnceleme alanında bir kireçtaşı ocağında yüzey akışı ve yer yer süreksizliklerden süzülen sular nedeni ile oluşmuş gölet.



Şekil 4. 25: Cebeciköy kireçtaşı içerisinde gelişmiş karstik boşluklar.

Trakya Formasyonun grovak ve şeyl ardalanmasından oluşan kesimleri ise hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Bunun nedeni yine birimin suyu sadece içerdiği ana süreksizlik düzlemi olan faylar aracılığıyla iletmesi ve şeyllerin geçirimsiz birimler olmasından kaynaklıdır.

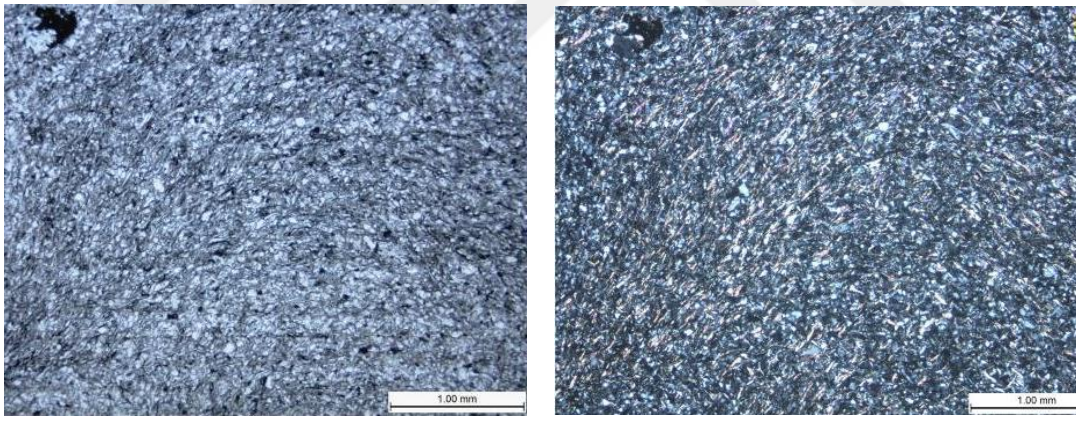
4.6 İNCELENEN KAYAÇLARIN MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında yapılan çalışmalar kapsamında aynı geometriye sahip şevlerde iki farklı litoloji birimi için modelleme yapılıp karşılaştırma yapılacağından dolayı litolojik tanımlama adına alınan örneklerden petrografik analizler yapılmıştır.

4.6.1 Kumtaşları İçin Yapılan Petrografik Analizler

İnceleme alanında bulunan Grovak ve silisli şeylleri temsilen alınan KMT-1 örneğinin mikroskoptaki genel görünümleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

İncelenen kayacın oldukça ufak taneli olduğu ve feldspat, kuvars, muskovit ve klorit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç bu haliyle feldspatik vake, olarak tanımlanmıştır. Silisli şeyl içerisinde köşeli kuvars ve feldspat taneleri ile aralarında siyah renkleriyle dikkat çeken opak mineraller vardır (Şekil 4. 26 A). Kayacı oluşturan kuvars ve feldspat tanelerinde 1. sıra girişim renkleri (Şekil 4. 26 B).

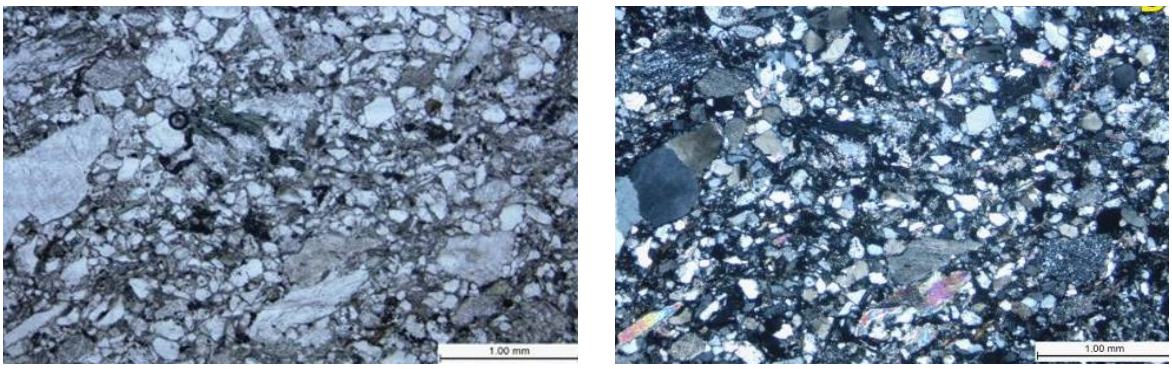


A B

Şekil 4. 26: KMT-1 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol).

İnceleme alanında bulunan Grovak ve silisli şeylleri temsilen alınan KMT-2 örneğinin ise mikroskoptaki genel görünümleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

İncelenen kayacın Kmt-1 örneğine kıyasla daha iri taneli olduğu kuvars, feldspat, kaya kırıntısı, mika ve klorit mineralleri ile opak minerallerden oluştuğu belirlenmiştir. Kayaç genel olarak litik vake ve türünde kumtaşlarıdır. Şekil 4. 27’ de kayacı oluşturan kuvars, feldspat, klorit ve muskovit mineralleri.

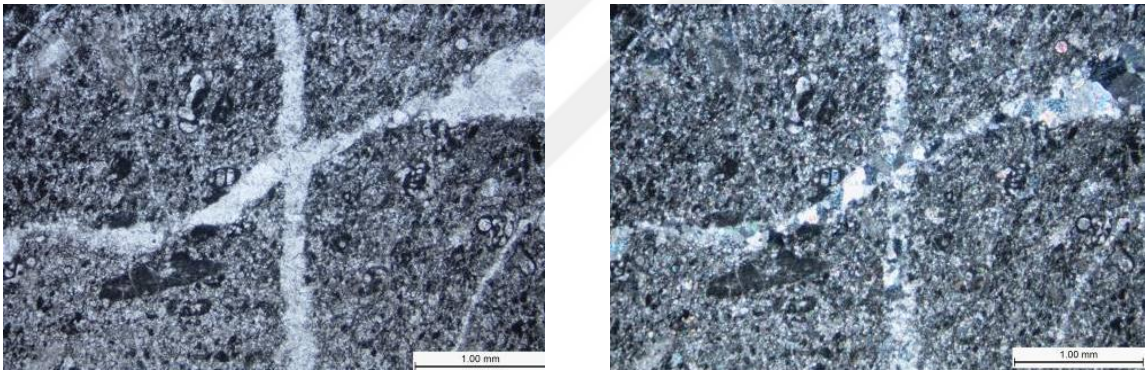


A B

Şekil 4. 27: KMT-2 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol).

4.6.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Petrografik Analizler

İnceleme alanında bulunan mikrtik kireçtaşlarını temsilen alınan KÇT-1 örneğinin mikroskoptaki genel görünümleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. KÇT-1 örneği sparit damarlı biyomikrit olarak adlandırılmıştır (Şekil 4. 28).

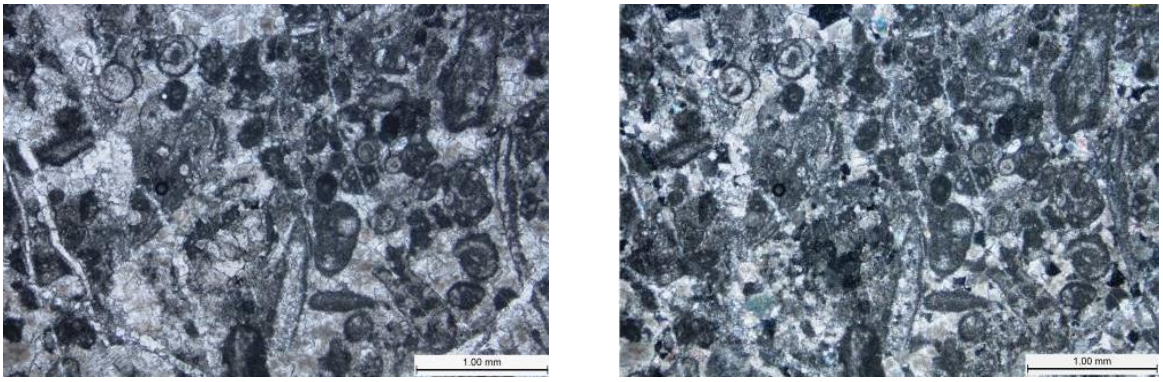


A B

Şekil 4. 28: KÇT-1 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol).

İnceleme alanında bulunan açık gri, yer yer mavimsi gri, renk tonlarıyla kolayca ayrılan dolamitik kireçtaşlarını temsilen alınan KÇT-2 örneğinin mikroskoptaki genel görünümleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Kayaç intraklastlı biyomikrit türündeki dolomitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Şekil 4. 29).

Arazinin genelinde yayılım sunan bu dolomitik kireçtaşları, inceleme alanında farklı ocaklarda özellikle fay zonlarında izlenen tektonizma etkisiyle ikincil dolomitleşmenin bir sonucu olarak gelişmişlerdir (Gözübol ve Aysal, 2008).



A B

Şekil 4. 29: KÇT-2 örneğinin Mikroskop altındaki genel görünümü (A tek nikol B çift nikol).

4.7 İNCELENEN KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yapılan tez çalışması kapsamında Mühendislik Jeolojisi çalışmaları sırasında kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için taş ocaklarından blok numuneler alınmış ve bu numunelerden karot örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 4.30). Karot örnekleri üzerinde İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Doğal Yapı Malzemeleri Laboratuvarında kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Kayaç numuneleri üzerinde; birim ağırlık, elastisite modülü ve poisson oranı, üç eksenli basınç dayanımı, kayada direkt kesme ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4. 30: Fiziksel ve mekanik deneyler için hazırlanan karot örnekleri.

4.7.1 Kumtaşları İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri

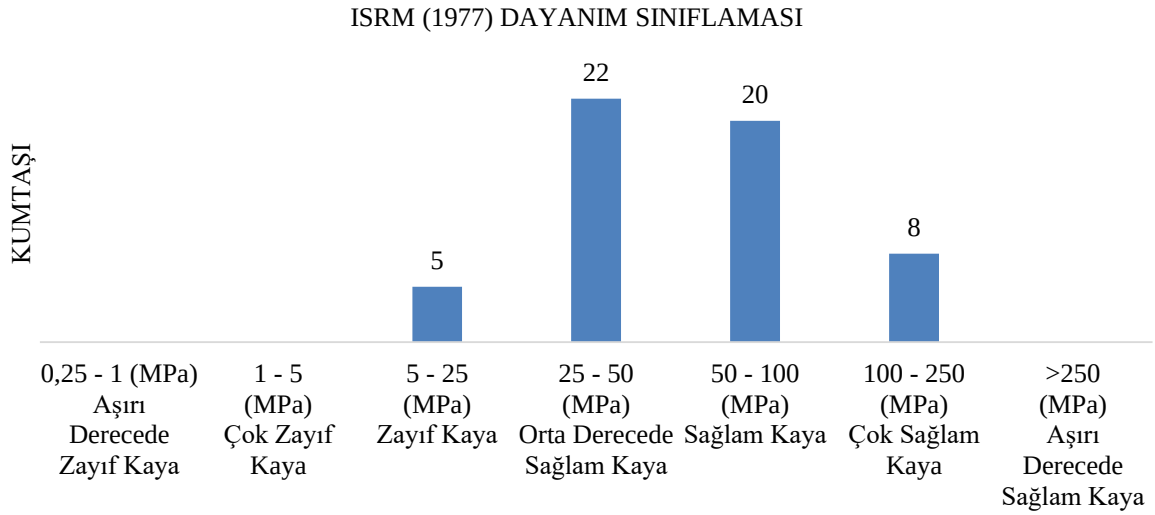
İnceleme alanındaki kumtaşlarından alınan blok numuneler üzerinde yapılan elastisite modülü (E_i), poisson oranı (υ), birim ağırlık (γ) ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), deney sonuçları (Tablo 4.2) de sunulmuştur.

Tablo 4. 2: Kumtaşları için Birim Ağırlık, Tek Eksenli Basınç, Elastisite Modülü ve Poisson Oranları deney sonuçları özet Tablosu.

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci}	Ei	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kmt-1	29,15	44,70	-	-
Kmt-2	27,88	45,40	-	-
Kmt-3	27,83	15,80	-	-
Kmt-4	28,13	37,50	-	-
Kmt-5	27,93	32,50	-	-
Kmt-6	27,16	49,00	-	-
Kmt-7	27,32	30,30	-	-
Kmt-8	26,99	32,40	-	-
Kmt-9	27,39	20,20	-	-
Kmt-10	27,20	35,70	-	-
Kmt-11	27,29	73,60	-	-
Kmt-12	27,18	101,80	-	-
Kmt-13	27,47	78,70	-	-
Kmt-14	26,74	145,80	-	-
Kmt-15	27,24	59,90	-	-
Kmt-16	26,83	166,70	-	-
Kmt-17	27,03	54,10	-	-
Kmt-18	26,76	187,70	-	-
Kmt-19	26,86	141,50	-	-
Kmt-20	26,65	146,50	-	-
Kmt-21	26,69	78,70	-	-
Kmt-22	26,59	67,80	-	-
Kmt-23	26,73	100,30	-	-
Kmt-24	28,67	93,80	16,50	0,10
Kmt-25	27,81	60,60	-	-
Kmt-26	28,01	140,70	-	-
Kmt-27	28,14	75,00	-	-
Kmt-28	28,17	83,70	-	-
Kmt-29	28,27	86,60	-	-
Kmt-30	26,34	43,83	7,76	0,11
Kmt-31	26,74	61,97	10,79	0,18
Kmt-32	26,63	30,69	-	-
Kmt-33	26,56	34,84	6,13	0,18

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci}	Ei	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kmt-34	26,45	71,20	9,81	0,17
Kmt-35	26,54	41,17	-	-
Kmt-36	26,64	67,38	-	-
Kmt-37	26,42	29,52	-	-
Kmt-38	26,52	79,71	9,81	0,10
Kmt-39	26,62	60,11	8,17	0,28
Kmt-40	27,07	23,30	-	-
Kmt-41	27,09	86,36	-	-
Kmt-42	27,11	61,05	14,71	0,27
Kmt-43	27,07	57,86	-	-
Kmt-44	27,18	56,50	8,41	0,12
Kmt-45	26,66	45,97	-	-
Kmt-46	27,18	44,65	4,90	0,16
Kmt-47	27,22	23,66	0,98	0,1
Kmt-48	27,22	32,37	5,10	0,16
Kmt-49	27,20	29,58	-	-
Kmt-50	27,28	33,69	1,63	0,10
Kmt-51	27,20	19,62	-	-
Kmt-52	27,19	34,58	-	-
Kmt-53	27,24	37,03	4,90	0,12
Kmt-54	27,33	27,10	3,15	0,12
Kmt-55	27,22	25,17	-	-

Aşağıdaki histogramda ise Kumtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflamasına göre dağılımı gözükmektedir. Aşağıdaki histogram incelendiğinde kumtaşlarının zayıf kaya-çok sağlam kaya grubu aralığında kalmış olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 31: Kumtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflaması.

İnceleme alanında kumtaşlarından alınan blok numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları Tablo 4. 3 de sunulmuştur.

Tablo 4. 3: Kumtaşları için üç eksenli basınç dayanımı deneyleri özet Tablosu.

Örnek kodu	Birim Hacim Ağırlık	Asal Gerilmeler		Kohezyon	Sürtünme Açısı
	γ	σ_1	σ_3	c	φ
	[kN/m^3]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[º]
KMT-3.1	26,37	80,03	5	12,69	40,10
	26,46	99,55	10		
	26,57	125,97	15		
KMT-3.2	26,58	82,79	5	14,39	39,10
	26,64	107,66	10		
	26,55	126,67	15		
KMT-3.3	26,62	57,19	5	8,38	38,70
	26,62	78,88	10		
	26,71	100,47	15		
KMT-3.4	25,92	59,83	5	8,26	41,00
	25,82	87,75	10		
	25,94	107,54	15		

İnceleme alanını gözlemsel olarak değerlendirildiğinde inceleme alanının kuzeyinde Trakya Formasyonu'nun Karbonifer yaşlı kumtaşları mostra vermektedir ve üst kotlarda kalınlığı

birkaç metreyi geçmeyen çok ayrışmış zonun altında bu kumtaşları genelde az ayrışmış-taze, orta derecede sağlam-çok sağlam dayanımlıdır.

4.7.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri

İnceleme alanında kireçtaşlarından alınan blok numuneler üzerinde yapılan elastisite modülü (E_i), poisson oranı (υ), birim ağırlık (γ) ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), deney sonuçları Tablo 4.4 de sunulmuştur.

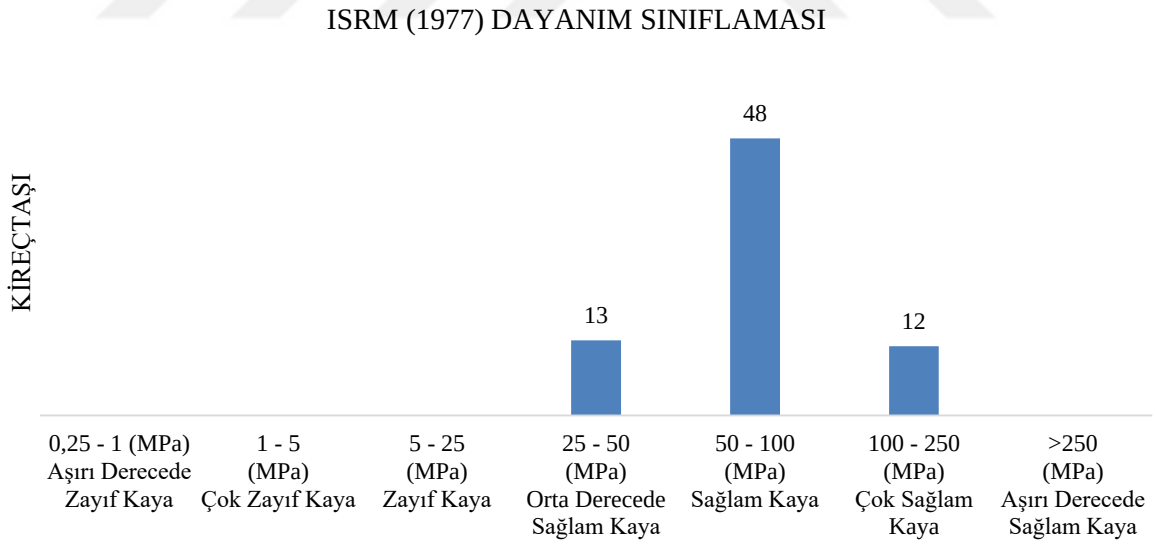
Tablo 4. 4: Kireçtaşları için Birim Ağırlık, Tek Eksenli Basınç, Elastisite Modülü ve Poisson Oranları deney sonuçları özet Tablosu.

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci}	E_i	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kçt-1	27,07	67,80	29,90	0,10
Kçt-2	27,01	106,10	-	-
Kçt-3	26,93	52,70	-	-
Kçt-4	26,89	141,50	-	-
Kçt-5	26,89	66,40	-	-
Kçt-6	26,98	98,90	-	-
Kçt-7	26,55	96,70	48,50	0,10
Kçt-8	26,81	68,50	-	-
Kçt-9	26,88	92,40	-	-
Kçt-10	26,87	93,80	-	-
Kçt-11	26,39	98,90	-	-
Kçt-12	26,71	73,60	-	-
Kçt-13	26,45	59,20	34,60	0,10
Kçt-14	27,11	62,00	-	-
Kçt-15	26,58	43,30	-	-
Kçt-16	26,63	106,10	-	-
Kçt-17	26,64	93,80	-	-
Kçt-18	26,81	57,70	-	-
Kçt-19	26,91	119,80	-	-
Kçt-20	26,83	72,90	52,00	0,15
Kçt-21	26,98	45,40	-	-
Kçt-22	26,63	80,10	-	-
Kçt-23	27,65	93,80	-	-
Kçt-24	26,86	109,00	-	-
Kçt-25	26,88	64,20	-	-
Kçt-26	27,00	107,50	-	-

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci}	E_i	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kçt-27	26,99	87,30	-	-
Kçt-28	26,77	133,50	-	-
Kçt-29	27,02	104,70	-	-
Kçt-30	27,08	82,30	-	-
Kçt-31	26,89	140,70	-	-
Kçt-32	27,22	70,70	56,00	0,15
Kçt-33	27,34	85,90	-	-
Kçt-34	27,47	101,00	-	-
Kçt-35	27,21	80,10	-	-
Kçt-36	27,11	115,50	-	-
Kçt-37	27,14	93,70	-	-
Kçt-38	27,21	90,90	-	-
Kçt-39	27,27	67,32	-	-
Kçt-40	27,39	53,28	-	-
Kçt-41	26,76	48,46	9,81	0,11
Kçt-42	27,59	83,26	15,41	0,14
Kçt-43	27,58	75,33	-	-
Kçt-44	27,3	45,72	-	-
Kçt-45	26,88	82,98	10,38	0,22
Kçt-46	26,69	43,46	-	-
Kçt-47	26,61	42,52	14,01	0,25
Kçt-48	27,43	46,51	9,81	0,20
Kçt-49	27,32	35,30	12,26	0,20
Kçt-50	26,92	65,06	-	-
Kçt-51	27,31	56,16	-	-
Kçt-52	27,11	58,19	-	-
Kçt-53	27,45	51,76	-	-
Kçt-54	27,51	64,90	-	-
Kçt-55	26,16	62,21	-	-
Kçt-56	26,49	45,34	-	-
Kçt-57	27,11	56,62	11,77	0,19
Kçt-58	27,36	37,60	14,71	0,24
Kçt-59	26,03	41,88	11,44	0,21
Kçt-60	26,28	69,79	-	-
Kçt-61	27,06	63,63	-	-
Kçt-62	26,91	57,20	-	-
Kçt-63	26,86	34,63	14,71	0,22

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci}	E_i	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kçt-64	26,72	50,61	17,16	0,36
Kçt-65	26,37	63,06	-	-
Kçt-66	26,43	56,21	14,71	0,12
Kçt-67	26,32	76,73	-	-
Kçt-68	27,15	47,07	-	-
Kçt-69	26,68	54,55	12,26	0,32
Kçt-70	26,21	76,90	-	-
Kçt-71	26,22	68,88	-	-
Kçt-72	26,34	106,63	-	-
Kçt-73	26,46	64,47	9,81	0,10

Aşağıdaki histogramda ise Kireçtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflamasına göre dağılımı gözükmektedir. Bu histogram incelendiğinde kireçtaşlarının orta derecede sağlam kaya-çok sağlam kaya grubu aralığında kalmış olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 32: Kireçtaşları için yapılmış olan tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin ISRM (1977) sınıflaması.

İnceleme alanında kireçtaşlarından alınan blok numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları Tablo 4.5 de sunulmuştur.

Tablo 4. 5: Kireçtaşları için üç eksenli basınç dayanımı deneyleri özet Tablosu.

Örnek kodu	Birim Ağırlık	Asal Gerilmeler		Kohezyon	Sürtünme Açısı
	γ	σ_1	σ_3	c	φ
	[kN/m^3]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[º]
KÇT-3.1	26,62	116,4	5	14,75	48,10
	27,03	140,73	10		
	26,78	183,18	15		
KÇT-3.2	25,64	161,50	5	36,47	34,80
	25,67	177,56	10		
	25,69	198,01	15		
KÇT-3.3	26,53	98,30	5	9,51	52,00
	26,38	140,31	10		
	26,26	182,42	15		
KÇT-3.4	26,26	147,66	5	12,73	57,90
	26,57	216,99	10		
	26,43	267,24	15		
KÇT-3.5	26,23	127,60	5	18,31	46,40
	26,31	150,44	10		
	26,28	188,85	15		
KÇT-3.6	25,92	105,55	5	13,27	47,90
	26,10	134,78	10		
	25,86	172,64	15		
KÇT-3.7	27,13	117,47	5	13,53	50,70
	26,93	156,36	10		
KÇT-3.8	25,79	105,96	5	8,99	53,40
	26,02	149,08	10		

İnceleme alanı gözlemsel olarak değerlendirildiğinde Güney kesimlerde Trakya Formasyonu'nun Karbonifer yaşlı kireçtaşları mostra vermektedir. Bu bölgede yer yer kumtaşları gözlense de hakim jeolojik birim kireçtaşlarıdır. Bu bölgede kireçtaşları genelde az ayrışmış-taze, sağlam-çok sağlam dayanımlıdır.

Yapılan laboratuvar deneylerinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde deney sonuçları arasında geniş bir değer aralığı olmasının nedeni kayaçların litolojik farklılıklarından kaynaklı olduğudur. Kumtaşları grovak ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Kireçtaşlarının bir kısmı mikritik bir kısmı ise dolomitiktir.

4.7.3 Süreksizliklerin Dayanım Parametreleri İçin Yapılan Laboratuvar Deneyleri

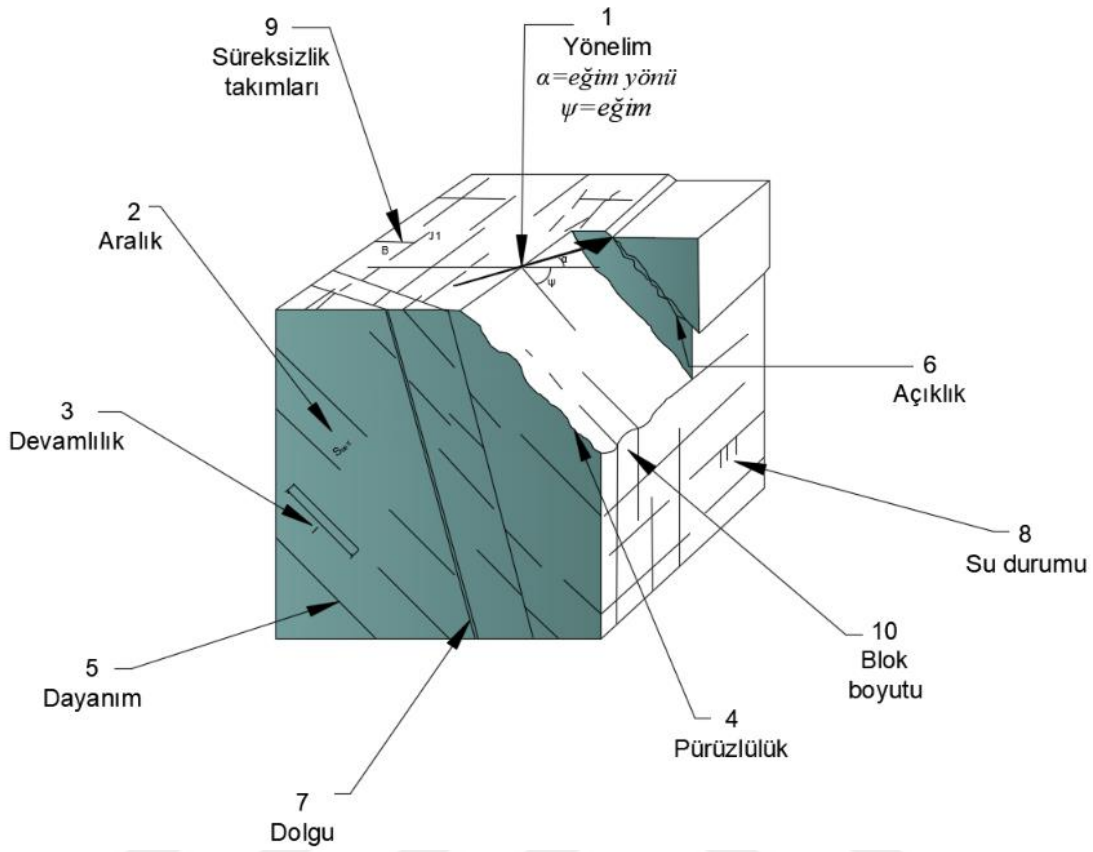
Sayısal analizlerde kaya kütlerinde süreksizliklerde modelleneceği için süreksizliklerin dayanım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda süreksizliklerin dayanım parametrelerini belirlemek amacıyla kayada kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. İnceleme alanında üç farklı çatlak yüzeylerinden alınmış örnekler üzerinde yapılmış olan kayada kesme kutusu deneyleri aşağıda Tablo 4.6 da sunulmuştur.

Tablo 4. 6: Kayada kesme kutusu deneyleri özet Tablosu.

Örnek kodu	Normal Gerilme	Makaslama Gerilmesi	Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı
	σ	τ	c	φ
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
τ-Kçt-1	109	241	33	60
	218	450		
	436	765		
τ-Kmt-1	106	193	42	43
	212	241		
	424	418		
τ-Kmt-2	107	199	59	46
	213	348		
	427	451		

4.8 SÜREKSİZLİKLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Kaya kütlerinin tanımlanması mühendislik yapısının duraylılığını denetleyecek jeolojik unsurların ve bunların fiziksel özelliklerinin tanımlanmasıyla ilgili verilen toplanması ve kaya kütlesini temsil edecek bir modelin oluşturulması işlemidir. Bu işlemde en önemli aşama süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kaya kütlelerinin mühendisliğe yönelik özelliklerini tanımlayan bir model Şekil 4. 33’ te verilmiştir.



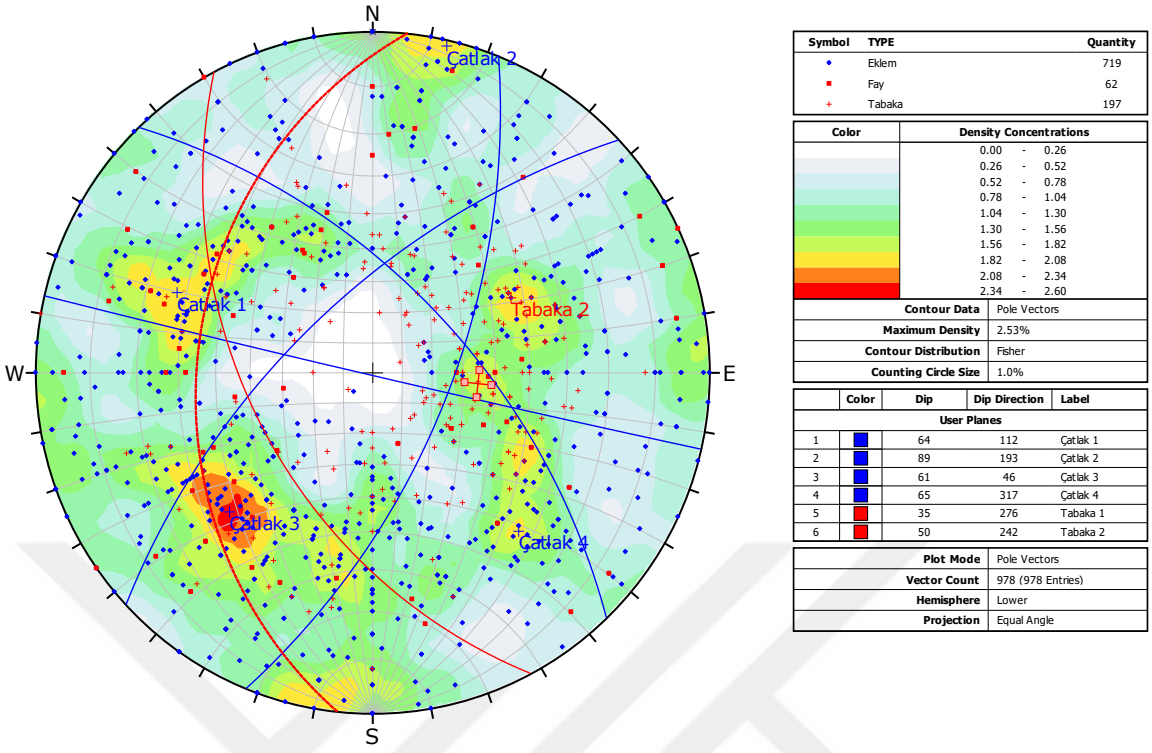
Şekil 4. 33: Kaya kütlelerinde süreksizliklerin karakteristikleri ve kaya kütlelerini tanımlayan parametreler (Wyllie, 1999).

Bu modele göre süreksizliklerin yönelim, aralık, açıklık, devamlılık, pürüzlülük, dayanım, dolgu durumu, su durumu, süreksizlik takımları ve blok boyutu özelliklerinin parametreleri belirlenir (ISRM, 1981). Bu işlem mostralarda belirlenen bir hat veya gözlem alanı boyunca yapılır.

Bu amaçla inceleme alanında ayrıntılı süreksizlik ölçümleri yapılmış ve streografik nete iz düşürülerek hakim süreksizlikler her iki litoloji birimi için de ayrı ayrı genelleştirilmiştir. Çalışma sırasında ölçülen ve hakim takımları tespit edilen süreksizliklerin genel özellikleri ISRM standartlarına uygun olarak belirlenmiş aşağıda ayrıntıları ile sunulmuştur.

4.8.1 Kumtaşlarındaki Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri

İnceleme alanının kuzey kesiminde Trakya Formasyonunun Karbonifer yaşlı kumtaşları mostra vermektedir. Bu bölgede yapılan çalışmalarda süreksizliklerin yönelimleri (eğim / eğim yönü) ölçülmüş ve streografik nete iz düşürülerek hakim süreksizlikler tespit edilmiştir (Şekil 4.34).



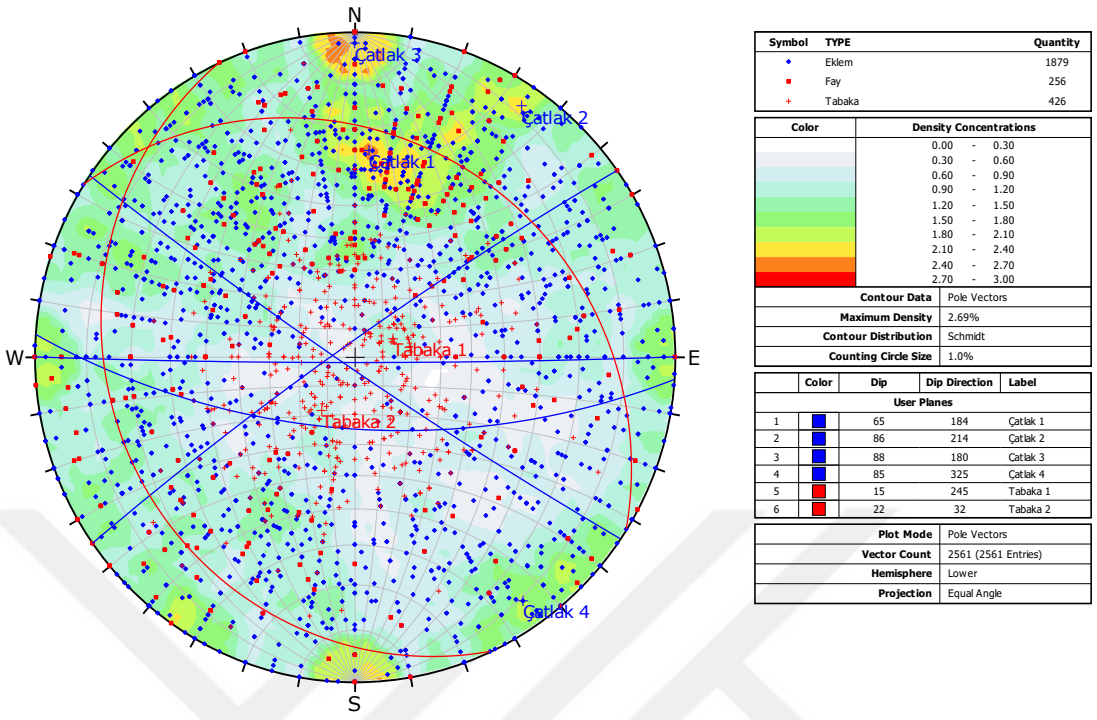
Şekil 4. 34: İnceleme alanında Kumtaşlarında ölçülen süreksizliklerin dağılımı ve hakim süreksizlik takımlarının tespiti.

Tablo 4. 7: İnceleme alanında Kumtaşlarında belirlenen hakim süreksizliklerin genel özellikleri.

Tip	Çatlak 1	Çatlak 2	Çatlak 3	Çatlak 4	Tabaka 1	Tabaka 2
Yönelim	64 / 112	89 / 193	61 / 046	65 / 317	35 / 276	50 / 242
Aralık (m)	Min. 20 cm, maks. 1.5 m, ort 50 cm.					
Devamlılık	Min. 100 cm, maks 10 m ve üzerinde, ort. 3 m.					
Açıklık	Genelde kısmen açık - açık yer yer çok sıkı ile çok geniş arasında değişen açıklarda (10 cm ile 0,1 mm arasında)					
Pürüzlülük	Genelde düz-az dalgalı, az miktarda dalgalı- pürüzlü					
Dolgu Özellikleri	Çoğunlukla ezik malzeme, az kil, kalsit dolgulu					
Su Durumu	Yer yer çok nadir sızıntı şeklinde					
Blok Boyutu	Küçük büyüklükte bloklar					
Ayrışma Durumu	Az ayrışmış - taze					

4.8.2 Kireçtaşlarındaki Süreksizliklerin Mühendislik Özellikleri

İnceleme alanının güney kesiminde ise Trakya Formasyonu'nun Karbonifer yaşlı kireçtaşları mostra vermektedir. Yapılan çalışmalarda süreksizliklerin yönelimleri (eğim / eğim yönü) ölçülmüş ve streografik nete iz düşürülerek hakim süreksizlikler tespit edilmiştir (Şekil 4. 35).



Şekil 4. 35: İnceleme alanında Kireçtaşlarında ölçülen süreksizliklerin dağılımı ve hakim süreksizlik takımlarının tespiti.

Tablo 4. 8: İnceleme alanında Kireçtaşlarında belirlenen hakim süreksizliklerin genel özellikleri.

Tip	Çatlak 1	Çatlak 2	Çatlak 3	Çatlak 4	Tabaka 1	Tabaka 2
Yönelim	64 / 184	86 / 214	88 / 180	85 / 325	15 / 245	22 / 032
Aralık (m)	Min. 5 cm, maks. 2 m, ort 60 cm.					
Devamlılık	Min. 20 cm, maks. 10 m, ort. 5 m					
Açıklık	Genelde kısmen açık - açık yer yer çok sıkı ile çok geniş arasında değişen açıklarda (10 cm ile 0,1 mm arasında)					
Pürüzlülük	Genelde dalgalı-pürüzlü, az miktarda düz-az dalgalı					
Dolgu Özellikleri	Çoğunlukla kalsit, az kil ezik dolgulu					
Su Durumu	Yer yer çok nadir sızıntı şeklide					
Blok Boyutu	Orta - Küçük büyülükteki bloklar					
Ayrışma Durumu	Az ayrışmış - taze					

4.8.3 Sayısal analizlerde kullanılan Süreksizlikler

Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre bu hakim süreksizliklerden şev duraylılığı açısından risk teşkil edebilecek ve şevin en duraysız olacağı düşünülen durumdaki süreksizlik konumları seçilerek jeoteknik model oluşturulmuş ve analizler bu modele göre yapılmıştır. Sayısal

analizlerin yapıldığı RS2 programı analizlerde en fazla 3 süreksizlik düzlemi eklemeyi kabul ettiği için aşağıda Tablo 4.9 belirlenen ve analize eklenen süreksizlik konumları gösterilmiştir.

Tablo 4. 9: Sayısal analizlerde kullanılan şevin en duraysız olacağı düşünülen durumdaki süreksizlikler ve yönelimleri.

Kumtaşları	Çatlak 2	Çatlak 4	Tabaka 2
	89 / 193	65 / 317	50 / 242
Kireçtaşları	Çatlak 1	Çatlak 2	Çatlak 4
	64 / 184	86 / 214	85 / 325

4.9 DURAYLILIK ANALİZLERİ ÖLÇÜTLERİ

Tez kapsamında süreksizliklerin bulunduğu kaya ortamında çalışıldığı için sayısal analizler yapılırken kaya ortamının süreksizlikleri ve süreksizlik özelliklerini ve kaya ortamın zayıflıkları da dikkate alınmış olup Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü analiz ölçütü olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak yapılan analizleri doğrulamak adına ve kıyas yapmak amacıyla Mohr-Coluomb yenilme kriteri ile de analizler yapılmıştır.

4.9.1 Hoek ve Brown Yenilme Kriteri

Hoek ve Brown (1995) çalışmaları kapsamında; gerilmeler ile makaslama mukavemeti arasında ki eğrisel değişkenliği belirlemişlerdir. Bu eğrisel değişkenlik ile önerdikleri yenilme ölçütü eşitlik [4.2] de gösterilmiştir. Buna göre:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(\frac{m_b\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s\right)^a \qquad [4.2]$$

Burada m_b, s ve a; boyutsuz malzeme sabitleridir. Bu sabitler aşağıda belirtilen eşitlik [4.3], [4.4] ve [4.5] ile hesaplanır.

$$m_b = m_i exp\left(GSI - \frac{100}{28} - 14D\right) \qquad [4.3]$$

$$s = \exp\left(GSI - \frac{100}{9} - 3D\right) \qquad [4.4]$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}}\right) \qquad [4.5]$$

Bu parametreler her iki kaya kütlesi için RocData bilgisayar yazılımı ile yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hem rezidüel hem de doruk parametreler için belirlenmiş, kaya kütlesi tasarım parametreleri bölüm 4.10.2.4'de Tablo halinde sunulmuştur.

4.9.2 Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri

Kaya kütlelerinin kohezyon ve sürtünme açısı bu çalışma kapsamında GSI sistemi baz alındığından Hoek-Brown (2002), yaklaşımı ile RocData bilgisayar yazılımı aracılığıyla aşağıdaki eşitlikler [4.6] ve [4.7] kullanılarak belirlenmiştir.

$$\varphi' = sin^{-1}\left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}\right] \quad [4.6]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n}](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/((1+a)(2+a))}} \quad [4.7]$$

Bu parametreler her iki kaya kütlesi için RocData bilgisayar yazılımı ile yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hem rezidüel hem de doruk parametreler belirlenmiş, kaya kütlesi tasarım parametreleri bölüm 4.10.2.3'de Tablo halinde sunulmuştur.

4.10 KAYA KÜTLELERİNİN ve SÜREKSİZLİKLERİN TASARIM PARAMETRELERİ

İnceleme alanında bulunan kaya kütlelerinin tasarım parametrelerinin tayini ve tasarım parametreleri bu bölümde anlatılacaktır. Kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin tasarım parametreleri in-situ (yerinde) deney yapılamadığı için yapılan laboratuvar deneyleri sonuçları ile görgül kaya kütle sınıflamalarının ampirik eşitliklerinden elde edilecektir.

4.10.1 Girdi Parametreleri

Kaya kütlesinin tasarım parametreleri, duraylılık analizlerde kullanmak amacıyla, ampirik eşitlikler aracılığıyla hesaplanacaktır. Bu bölümde bu eşitliklerde kullanılacak olan girdi parametreleri anlatılacaktır. Girdi parametreleri; kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, masif kayanın elastisite modülü, birim ağırlığı, poisson oranı, jeolojik dayanım indeksi, hoek ve brown sabiti ve örselenme faktörüdür.

4.10.1.1 Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü, Birim Ağırlığı ve Poisson Oranı

Laboratuvar ortamında yapılan deneylerin sonuçlarında her litoloji birimi için alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerin kendi litoloji gruplarına göre ortalamaları alınarak aşağıdaki Tablodaki şekilde girdi parametreleri olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Kireçtaşlarında 73 tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim ağırlık 19 elastisite modülü ve poisson oranı deneyleri, kumtaşlarında ise 55 tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim ağırlık 15 elastisite modülü ve poisson oranı deneyleri yapılmıştır.

Tablo 4. 10: Kumtaşları ve kireçtaşlarının girdi parametreleri olarak kullanılan değerleri.

Litoloji	Birim Ağırlığı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
	γ	σ_{ci},	E_i	υ
	[kN/m^3]	[MPa]	[GPa]	[ ]
Kumtaşı	27,20	62,65	8,40	0,20
Kireçtaşı	26,90	74,15	21,00	0,20

4.10.1.2 Süreksizliklerin Dayanım Parametreleri

Laboratuvar ortamında kumtaşları ve kireçtaşları üzerinde yapılan kayada kesme dayanımı deney sonuçlarına göre, içsel sürtünme açıları kumtaşlarında 43-46 derece, kireçtaşlarında 60 derece ve kohezyon ise kumtaşlarında 42-59 kPa, kireçtaşlarında 33 kPa olarak belirlenmiştir.

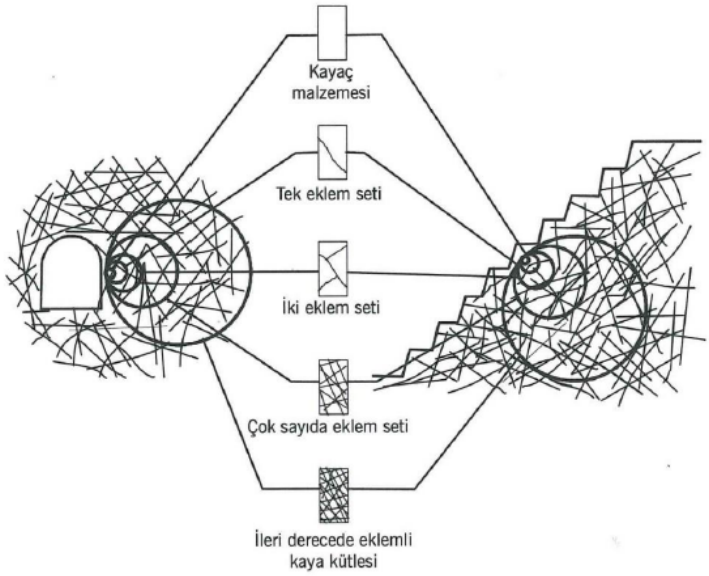
Ancak bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde kumtaşlarındaki süreksizliklerin tasarım parametreleri c=40 kPa ve φ=40°, kireçtaşlarındaki süreksizlik tasarım parametreleri ise c=30 kPa ve φ=40° olarak öngörülmüştür.

4.10.1.3 Jeolojik Dayanım İndeksi

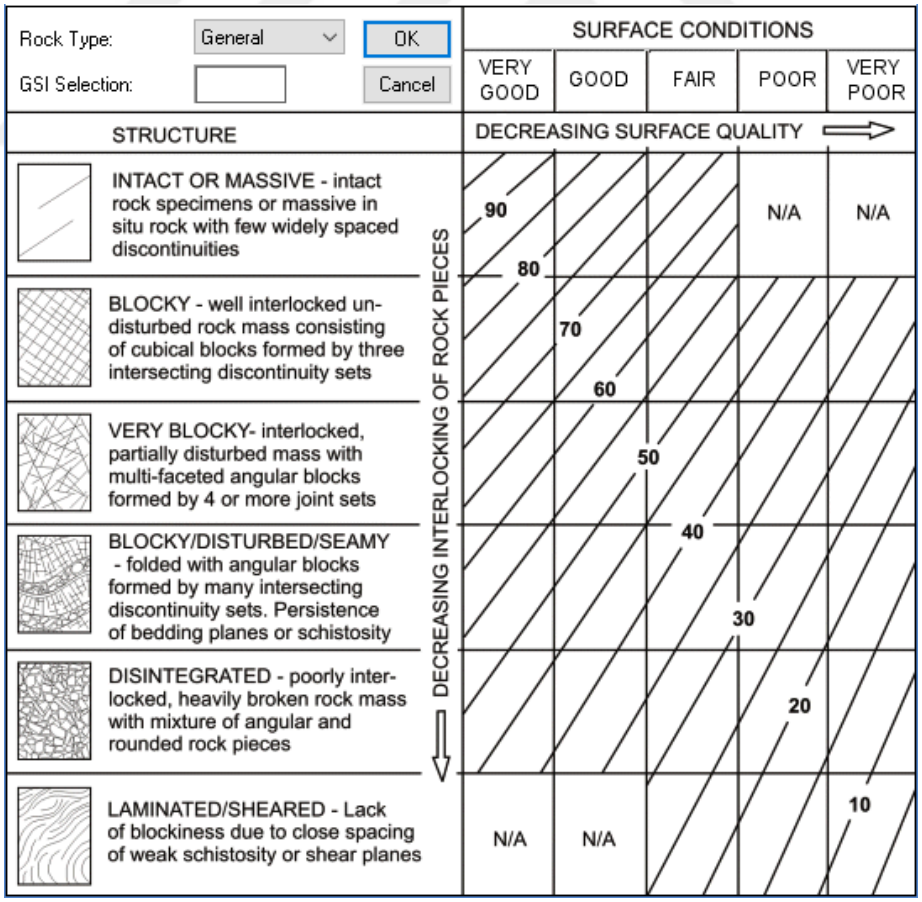
"Masif kayalarda kayaların mühendislik özellikleri, kaya malzemesi ile laboratuvar deneyleri aracılığıyla belirlenebilirken, Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri jeolojik dayanım indeksi ile belirlenebilir" (Ulusay ve Sönmez, 2007). Jeolojik dayanım indeksi kaya ortamında bulunan süreksizliklerin etkisinin de dahil edildiği görgül bir ölçüt olup, kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesinde kullanılır.

Hoek' a göre GSI değerinin arazi çalışmaları sırasında deneyimli jeoloji mühendislerinin yapacağı yüzeysel gözlemler sonucunda atanması gereklidir. GSI değeri için herhangi bir

hesaplamanın gerekmediği durumlar da kullanılması için bir jeolojik dayanım indeksi (GSI) abağı geliştirilmiştir.



Şekil 4. 36: Kaya malzemesinden kaya kütlesine geçişi gösteren kesit (Hoek, 1995).



Şekil 4. 37: Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Hoek ve diğ. (1995).

Tez çalışması kapsamında yapılacak olan sayısal analizlerde kayaçların karbonifer yaşlı olması, dolayısıyla geçirdiği jeolojik evrim ve deformasyonlar nedeniyle kaya kütlelerinin elasto-plastik davranış göstereceği öngörülmüştür. Bu sebeple kaya kütlesinin rezidüel parametreleri hesaplanmıştır. Rezidüel parametreleri hesaplamak için atanan GSI değerlerini rezidüel (GSI_r) değerleri Cai ve diğ. (2007)' lerinin önermiş olduğu aşağıda verilmiş eşitlik [4.8] yardımıyla hesaplanmıştır.

$$GSI_r = GSI\ x\ e^{-0{,}0134\ x\ GSI} \qquad [4.8]$$

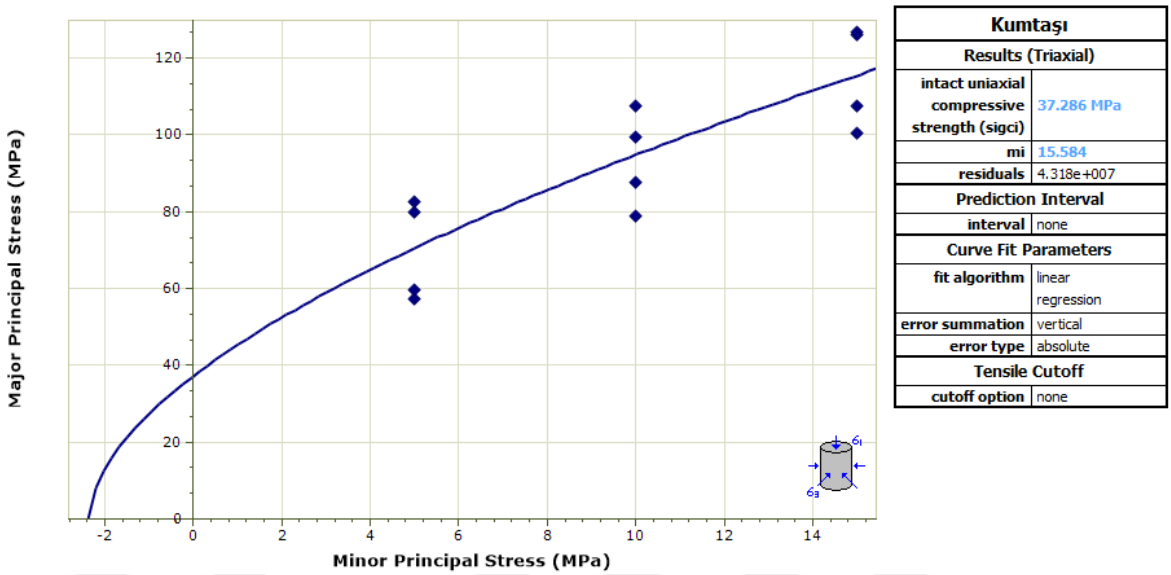
Tablo 4. 11: İnceleme alanı için önerilen GSI ve GSI_r değerleri.

Litoloji	Önerilen GSI değeri	Önerilen GSI_r değeri
Kumtaşı	55	26
Kireçtaşı	65	27

4.10.1.4 Hoek ve Brown Sabiti (m_i)

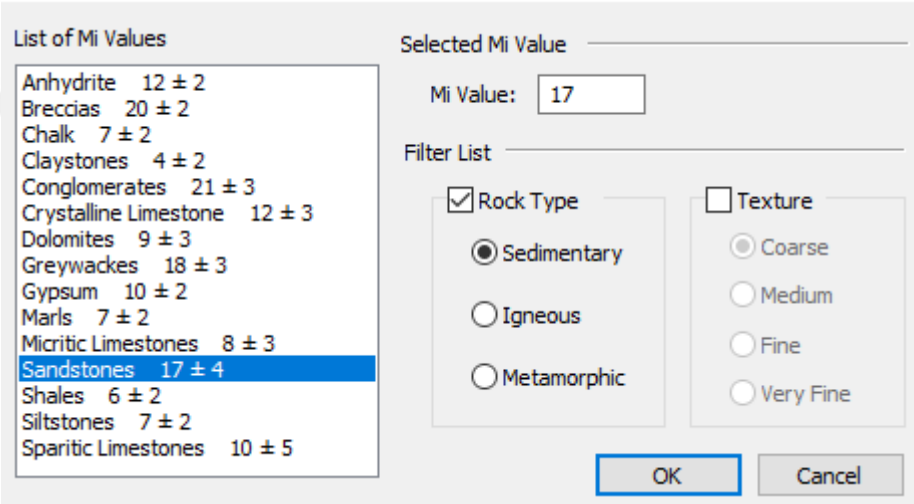
Kaya malzemesinin m_i parametresi RocData bilgisayar yazılımı aracılığıyla laboratuvarda yapılan üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen asal asal gerilmeler kullanılarak, özgün Hoek - Brown yenilme ölçütü ile belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında kumtaşı ve kireçtaşı için ayrı ayrı m_i değerleri RocData bilgisayar yazılımı kullanılarak ve yapılan kayada üç eksenli basınç deneylerinden hesaplanmış ve programın önermiş olduğu değerlerle karşılaştırılmış. Yapılan değerlendirme sonucunda ise uygun bulunan değerler kullanılmıştır.

Kumtaşları için m_i sabiti hesaplanırken laboratuvarda kumtaşları için yapılmış olan üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılmıştır. Yapılan hesaplamada mi değeri 15.584 olarak bulunmuştur. Ancak bu değer tek eksenli basınç dayanımının yaklaşık 37 MPa olduğu durumdadır (Şekil 4. 38).



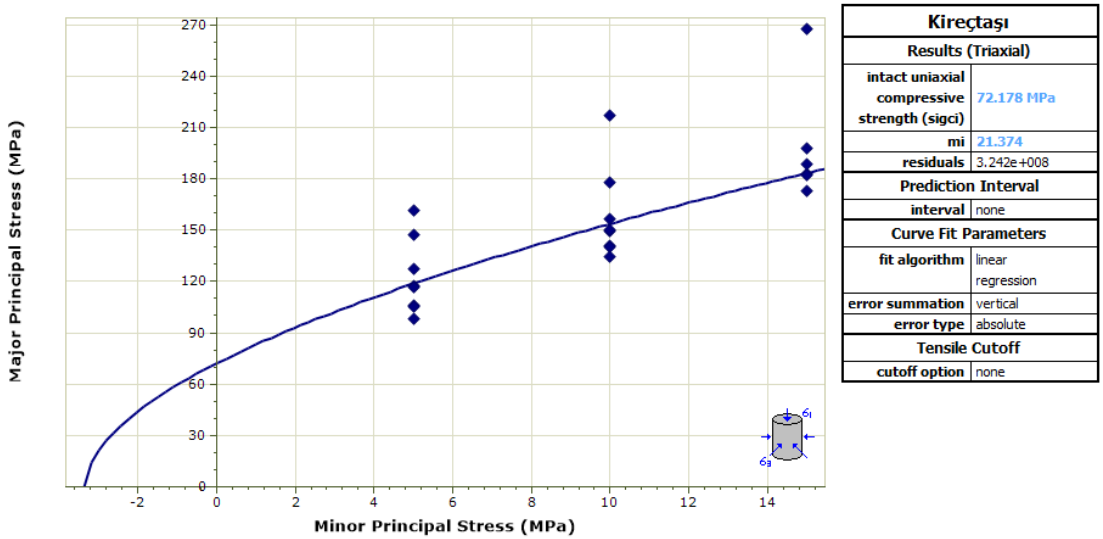
Şekil 4. 38: Kumtaşlarında yapılan üç eksenli deney sonuçlarına göre (m_i) tahmini.

RocData bilgisayar yazılımı tarafından önerilen m_i değeri kumtaşları için ortalama 17 ± 4 değerindedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında mi değeri 17 olarak alınmıştır. (Şekil 4.39)



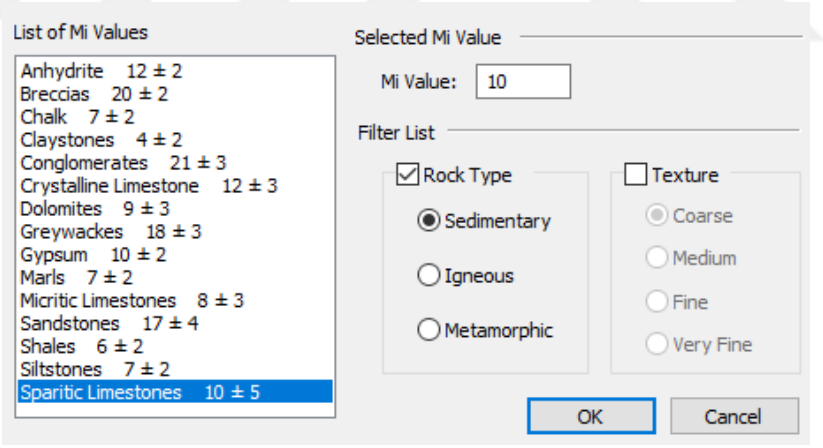
Şekil 4. 39: RocData programı kullanılarak kumtaşları için Kaya malzemesi (m_i) tahmini.

Kireçtaşları için m_i sabiti hesaplanırken laboratuvarda yapılmış olan üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılmıştır. Yapılan hesaplamada m_i değeri 21,374 olarak bulunmuştur. Ancak bu değer tek eksenli basınç dayanımının yaklaşık 72,178 MPa olduğu durumdadır (Şekil 4. 40).



Şekil 4. 40: Kireçtaşlarında yapılan üç eksenli deney sonuçlarına göre (m_i) tahmini.

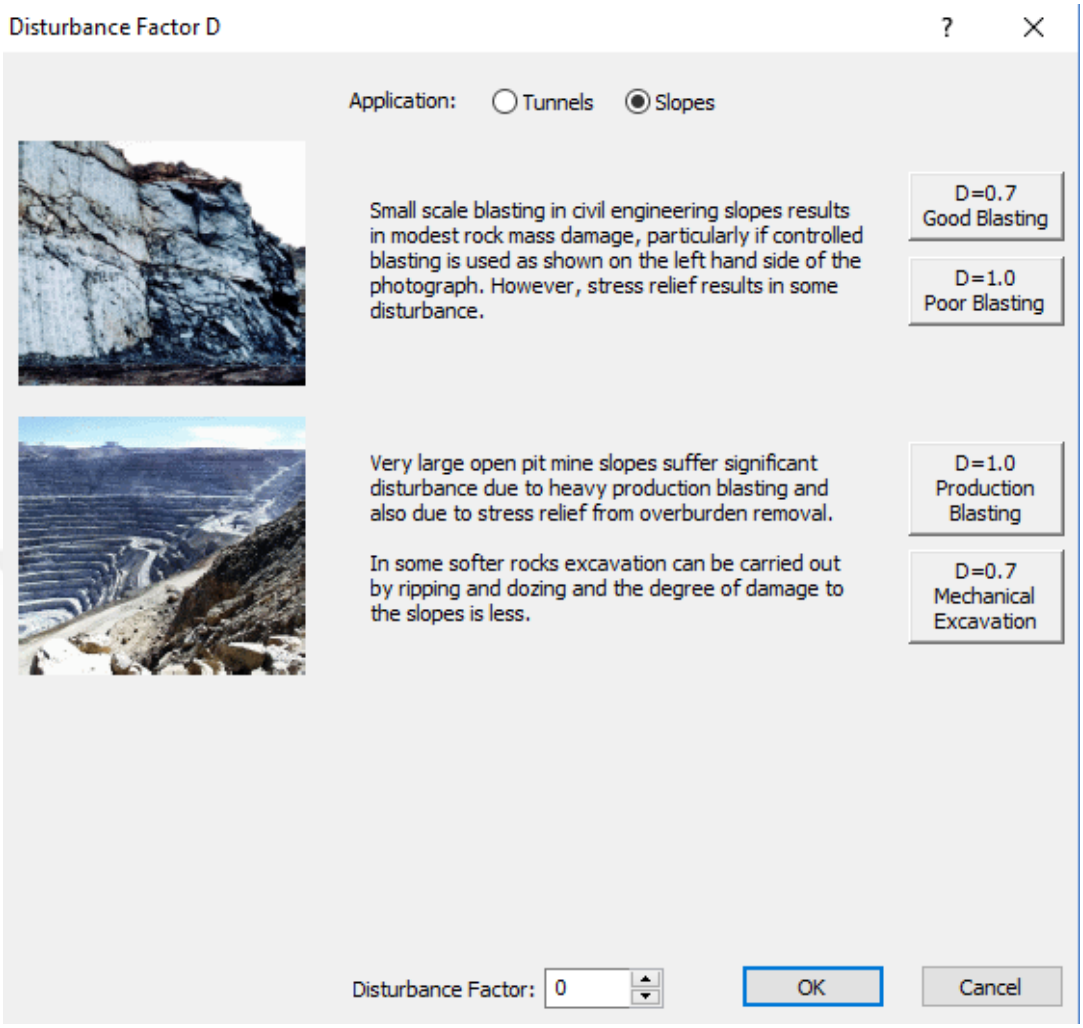
RocData bilgisayar yazılımı tarafından önerilen mi değeri kireçtaşları için ortalama 10 ± 2 değerindedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında mi değeri 10 olarak alınmıştır. (Şekil 4.41) laboratuvar deneyleri sonucunda mi değerinin yüksek çıkması nedeni ile güvenli tarafta kalmak adına RocData programında belirtilen mi değeri analizlerde kullanılmıştır.



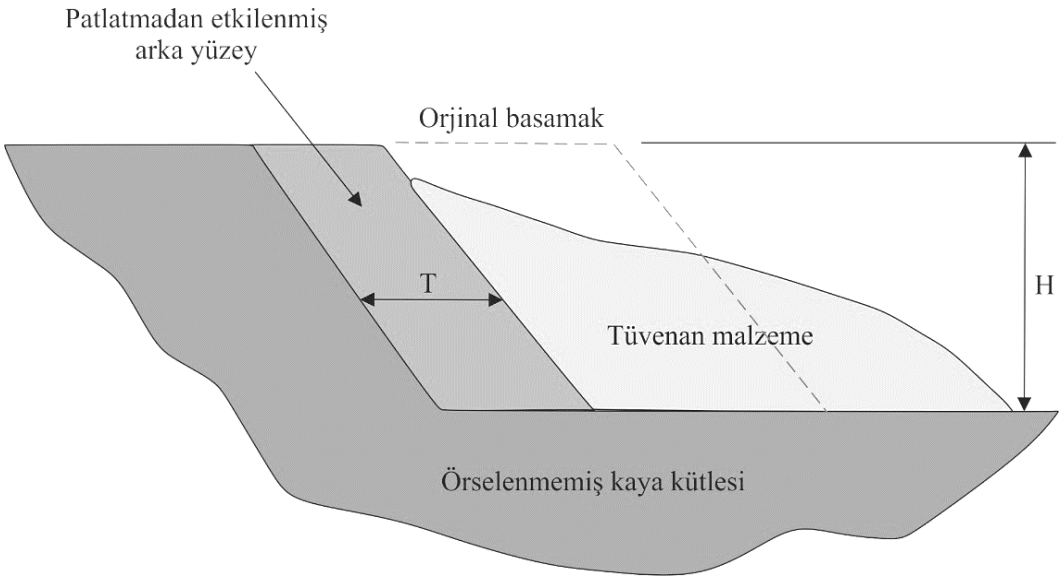
Şekil 4. 41: RocData programı kullanılarak kumtaşları için Kaya malzemesi (m_i) tahmini.

4.10.1.5 Örselenme Faktörü

Kaya kütlelerine yapılan teknik girişimler (patlamalı kazı ya da makinalı kazı) sırasında projelendirilen şev basamaklarında bir örselenme zonu oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.42' de RocData bilgisayar yazılımının önerdiği örselenme faktörü belirtilmiştir. Örselenme faktörü çalışma sahasında planlı bir şekilde patlamalı kazı yapılacağından ilk durum için D = 0 patlatma sonrası için ise D = 0.7 alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 42: Örselenme faktörü tahmini.



Şekil 4. 43: Kaya kütlesi ile teknik bir girişime maruz kalmış kaya kütlesi (Hoek, 2012).

Tablo 4. 12: Patlatma sonrası meydana gelen örselenme kalınlığı (T) (Hoek, 2012).

Tanımlama	Patlatmadan etkilenmiş arka yüzey
Geniş patlatma, sınırlı, az sınırlı ya da kontrolsüz	T = 2.0 - 2.5 H
Kontrolsüz patlatma ancak patlatma boş aynaya	T = 1.0 - 1.5 H
Patlatma, sınırlı ancak az kontrollü (bir ya da daha fazla tampon sıralı)	T = 1.0 - 1.2 H
Biraz kontrollü patlatma (bir ya da daha fazla tampon sıralı, patlatma boş aynaya)	T = 0.5 - 1.0 H
Dikkatlice kontrol edilmiş patlatma, boş aynaya	T = 0.3 - 0.5 H

İnceleme alanında yapılacak patlatma kontrollü olacağından dolayı örselenme kalınlığı T = 0,4 x H formülü ile hesaplanmış T = 0,4 x 12 m eşitliğinden T = 4,8 m olarak hesaplanmıştır.

4.10.2 Kaya Kütlesi Tasarım Parametreleri

Kaya kütlesi tasarım parametrelerinin hesaplanabilmesi girdi parametrelerinin kullanıldığı eşitlikler yardımıyla mümkün olmaktadır. Bu bölümde kaya kütlesi tasarım parametrelerinden Kaya kütlesinin deformasyon modülü (E_m), poisson oranı (υ_m), m_b, s ve a olarak adlandırılan Hoek ve Brown sabitlerinin eşitlikler yardımıyla hesaplanmasının nasıl yapıldığı anlatılacaktır ve bu çalışma için kullanılacak kaya kütlesi tasarım parametreleri belirlenecektir.

Sayısal analizlerde kullanılacak kaya kütlesi tasarım parametreleri belirlenirken kayaçların yaşı, dolayısıyla geçirdiği jeolojik evrimi nedeniyle kaya kütlelerinin elasto-plastik davranış göstereceği öngörülmüştür. Bu sebeple analizlerde kaya kütlelerinin tasarım parametreleri belirlenirken doruk ve rezidüel olarak parametreler belirlenmiştir.

4.10.2.1 Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülü

Kaya kütlesi deformasyon modülü hesaplanabilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından birkaç eşitlik geliştirilmesine karşın bu çalışma kapsamında Hoek ve Diederichs (2006)'da önermiş olduğu ve aşağıda verilen deformasyon modülü eşitliği kullanılarak kaya kütlelerinin deformasyon modülü hem kireçtaşları için hem de kumtaşları için hesaplanmıştır. Aşağıda kullanılan eşitlik [4.9] yardımıyla kaya kütlesi deformasyon modülü hem rezidüel hem de doruk olarak ayrı ayrı ve kullanılan iki örselenme faktörü de göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

$$E_m = E_i \, x \left(0{,}02 + \frac{1-\frac{D}{2}}{1+e^{\frac{(60+(15xD)-GSI)}{11}}} \right) \qquad [4.9]$$

Tablo 4. 13: Kumtaşları ve kireçtaşları için hesaplanan doruk ve rezidüel kaya kütlesi deformasyon modülleri.

Litoloji	Örselenmiş (D = 0,7)		Örselenmemiş (D = 0)	
	E_m Doruk	E_m Rezidüel	E_m Doruk	E_m Rezidüel
	[GPa]	[GPa]	[GPa]	[GPa]
Kumtaşı	1,24	0,26	3,43	0,53
Kireçtaşı	5,57	0,68	13,27	1,42

4.10.2.2 Kaya Kütlesinin poisson oranı

Kaya kütlelerinin poisson oranı yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranının tahminde kullanılacağı için hesaplanmış ve kaya kütleleri tasarım parametreleri bölümünde anlatılmıştır. Kaya kütlelerinin poisson oranını tahmin etmek için Varsarhelyi (2009) 'nin, GSI ve mi sabitini kullanılarak geliştirdiği eşitlik [4.10] kullanılmıştır. Hesaplanan poisson oranı değerleri Tablo halinde sunulmuştur (Tablo 4. 14).

$$\nu_{rm} = -0{,}002\, x\, GSI - 0{,}003\, x\, m_i + 0{,}457 \qquad [4.10]$$

Tablo 4. 14: Kumtaşları ve kireçtaşları için hesaplanan kaya kütlesi poisson oranları.

Litoloji	GSI	m_i	υ_{rm}
Kumtaşı	55	17	0,29
Kireçtaşı	65	10	0,29

4.10.2.3 Kaya Kütlesi için Hoek-Brown Sabitleri (m_b, s ve a)

Kumtaşları ve kireçtaşları için malzeme sabitleri ayrı ayrı hesaplanmış olup, kumtaşları için Tablo 4.15.' de ve kireçtaşları için Tablo 4.16.'da sunulmuştur.

Tablo 4. 15: Kumtaşları için hesaplanan m_b, s ve a malzeme sabitleri.

Litoloji	Örselenmiş (D = 0,7)			Örselenmemiş (D = 0)		
	m_b	s	a	m_b	s	a
Kumtaşı Doruk	1,6031	0,0015	0,504	3,8087	0,0067	0,504
Kumtaşı Rezidüel	0,3258	0,00002	0,5292	1,352	0,0003	0,5292

Tablo 4. 16: Kireçtaşları için hesaplanan m_b, s ve a malzeme sabitleri.

Litoloji	Örselenmiş (D = 0,7)			Örselenmemiş (D = 0)		
	m_b	s	a	m_b	s	a
Kireçtaşı Doruk	1,4616	0,0063	0,502	2,865	0,0205	0,502
Kireçtaşı Rezidüel	0,1812	0,00002	0,5273	0,7374	0,0003	0,5273

4.10.2.4 Kaya Kütlesinin Mohr-Coluomb Dayanım Parametreleri

Doğrulama ve kıyas yapmak amacıyla yapılan sayısal analizlerde kullanılmak üzere hesaplanan Mohr - Coluomb kaya kütlesi dayanım parametreleri aşağıda Tablo 4. 17 de verilmiştir.

Tablo 4. 17: Kireçtaşları için hesaplanan doruk ve rezidüel Mohr-Coluomb Dayanım Parametreleri.

Jeolojik Birim	Doruk		Rezidüel	
	Kohezyon	Sürtünme Açısı	Kohezyon	Sürtünme Açısı
	c	φ	c	φ
	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
Kireçtaşı	2,38	46	0,96	34

4.11 YERİNDE GERİLME DURUMLARI

Bir kaya kütlesi, başka kuvvetlerin etkisi altında olmasa bile, üzerine gelen malzemenin ağırlığından, çevre basıncından ve geçmişte maruz kaldığı şartlardan dolayı bir şekilde sıfır olmayan yatay ve düşey gerilme bileşenine sahiptir (Goodman, 1980). Ortamda bulanan yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranı "k" oranı olarak ifade edilir ve eşitlik [4.11] de gösterilmektedir. Sayısal analizler yapılırken bir diğer girdi parametresi olarak k oranı kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında 6 farklı k oranı belirlenmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Bu bölümde çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ve çalışma alanı için hesaplanan k değerleri anlatılacaktır.

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \qquad [4.11]$$

Terzaghi ve Richart (1952) yerçekimsel gerilmelerin etkisinde olan ve üzerindeki tabakanın oluşumu sırasında yatay deformasyona izin verilmeyen bir kaya kütlesi için k değerinin derinlikten bağımsız olarak aşağıdaki eşitlik [4.12] ile önermişlerdir. Burada belirtilen v kaya kütlesinin poisson oranıdır. Aşağıda Tablo 4.18 de Terzaghi ve Richart (1952) tarafından önerilen k değerleri gösterilmiştir.

$$k = \frac{v}{1-v} \quad [4.12]$$

Tablo 4. 18: Terzaghi ve Richart (1952) tarafından önerilen k değerleri.

Litoloji	υ_{rm}	k
Kumtaşı	0,29	0,41
Kireçtaşı	0,29	0,41

Sheorey (1994) k oranının derinlikten ve kayacın elastisite modülünden bağımsız olmayacağını ve her derinlikte farklı olacağını ve artan derinliğe bağlı olarak k oranının giderek lineer olduğunu ortaya koymuş ve k oranının kestirimi için basitleştirilmiş bir formül önermiştir. Bu eşitlik aşağıda eşitlik [4.13] te gösterilmiştir.

$$k = 0{,}25 + 7\ x\ E_h \left(0{,}001 + \frac{1}{z}\right) \quad [4.13]$$

Aşağıda Tablo 4.19 da Sheorey (1994) tarafından önerilen k değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 19: Sheorey (1994) tarafından önerilen k değerleri.

Litoloji	E_{rm} (GPa)	z (m)	k
Kumtaşı	3,43	280	0,36
Kireçtaşı	13,27	280	0,67

Hoek ve Brown (1978) yayınlanmış ve ölçülmüş olan pek çok yerinde gerilme değerini incelemişler ve k oranı için bir sınır koşulu belirlemişlerdir. Bu çalışmaları sonucunda k oranın için sadece derinlik ile bağımlı hiperbolik bir ilişki önermişlerdir. Bu sınır koşulu aşağıda eşitlik [4.14] te gösterilmiştir.

$$0{,}3 + \frac{100}{z} < k < 0{,}5 + \frac{1500}{z} \quad [4.14]$$

Aşağıda Tablo 4.20 de Hoek ve Brown (1978) tarafından önerilen sınır k değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 20: Hoek ve Brown (1978) tarafından önerilen sınır k değerleri.

z (m)	k_{min}	k_{maks}
280	0,66	5,86

Lim ve Lee (1995) derledikleri hidrolik çatlatma deneyi verilerini değerlendirerek yaptıkları çalışma ile bir düşey gerilme eşitliği önermişler. Bu eşitlik aşağıda eşitlik [4.15] te gösterilmektedir.

$$\sigma_h = 2{,}657 + 0{,}032x\ z \qquad [4.15]$$

Aşağıda Tablo 4.21 de Lim ve Lee (1995) tarafından önerilen yatay gerilme ve düşey gerilme değerleri hesaplanmış eşitlik [4.11] yardımıyla k oranı bulunmuştur.

Tablo 4. 21: Lim ve Lee (1995) tarafından önerilen düşey gerilme ve k oranları.

	γ (MN/m^3)	z (m)	σ_v (MPa)	σ_h (MPa)	k
Kumtaşı	0,027	280	7,56	11,62	1,51
Kireçtaşı	0,027	280	7,56	11,62	1,51

Herget (1987) tarafından yapılan çalışmada ise k oranı için alt ve üst sınırlar belirlenmiş ve oda hoek ve Brown gibi bir eğrisel eşitlikten bahsetmiştir. k oranı için minimum, maksimum ve ortalama değer aralıklarını eşitlikler yardımıyla belirlemiştir. Bu eşitlikler aşağıda [4.16], [4.17] ve [4.18] de gösterilmiştir.

$$k_{ort} = 1{,}25 + 267/\ z \qquad [4.16]$$

$$k_{maks} = 1{,}46 + 357/\ z \qquad [4.17]$$

$$k_{min} = 1{,}10 + 167/\ z \qquad [4.18]$$

Aşağıda Tablo 4.22 de Herget (1987) tarafından önerilen minimum, maksimum ve ortalama k değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 22: Herget (1987) tarafından önerilen minimum, maksimum ve ortalama k oranı değerleri.

z (m)	k_{min}	k_{ort}	k_{maks}
280	1,7	2,2	2,74

Pine ve Kwakwa (1989) yaptığı çalışma ile bir maksimum düşey gerilme eşitliği önermişlerdir. Bu eşitlik aşağıda eşitlik [4.19] da gösterilmektedir.

$$\sigma_{h(maks)} = 15 + 0{,}028\ x\ z \qquad [4.19]$$

Aşağıda Tablo 4.23 te Pine ve Kwakwa (1989) tarafından önerilen yatay gerilme ve düşey gerilme değerleri hesaplanmış eşitlik [4.11] yardımıyla k oranı bulunmuştur.

Tablo 4. 23: Pine ve Kwakwa (1989) tarafından önerilen düşey gerilme ve k oranları.

	γ (MN/m^3)	z (m)	σ_v (MPa)	σ_h (MPa)	k
Kumtaşı	0,027	280	7,56	22,84	3,01
Kireçtaşı	0,027	280	7,56	22,84	3,01

Yukarıdaki eşitler yardımıyla hem kumtaşları için hem de kireçtaşları için farklı k oranları belirlenmiş aşağıda Tablo 4. 24 te sayısal analizlerde kullanılan k değerleri gösterilmiştir. Aşağıdaki Tabloda belirlenen k değerleri seçilirken mümkün olduğunca iki litoloji birimi için hesaplanan ortak k değerleri kullanılmaya çalışılmıştır. Genel kabul olarak belirlenen k değeri ise; genelde sayısal analizler yapılırken birçok araştırmacı ve proje firmaları tarafından kullanılan değer olduğu için seçilmiştir.

Tablo 4. 24: Sayısal analizlerde kullanılan k değerleri.

Sayısal analizlerde kullanılan k değerleri	Kim tarafından önerildiği
0,41	Terzaghi ve Richart (1952)
0,66	Sheorey (1994), Hoek ve Brown (1978)
1,00	Genel kabul
1,50	Lim ve Lee (1995)
2,00	Herget (1987)
3,00	Pine ve Kwakwa (1989)

4.12 DURAYLILIK ANALİZLERİ

Günümüzde sayısal (nümerik) analizler kaya şev duraylılığı problemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bunun sebebi zayıf-çok zayıf kaya kütleleri veya aşırı eklemli kaya kütleleri haricinde kaya şev duraylılıklarının limit denge analizleri ile kontrol edilmesinin çok doğru bir yaklaşım olmamasıdır. Çünkü hemen hemen bütün kaya kütleleri süreksizlikler içermektedir.

Sayısal modeller; yerinde gerilmeler ve su sevileri gibi bir dizi başlangıç koşulana maruz kalan kaya kütlelerinin mekanik tepkisini, sınır koşullarını ve şev kazısı gibi sonradan oluşan değişiklikleri değerlendirme amaçlı bilgisayar programlarıdır. Bir sayısal model analiz programının verdiği sonuçlar ya denge ya da yenilme şeklindedir (Loring ve Varona, 2001).

Sayısal modelde bir kaya kütlesi zonlara bölünür. Her bir zona bir malzeme modeli ve özellikleri tayin edilir. Malzeme modelleri, malzemenin nasıl davrandığını tanımlayan gerilme-birim deformasyon ilişkileridir. En basit model malzemenin elastik özelliklerini (elastisite modülü ve poisson oranı) kullanan doğrusal modeldir. Elastik-plastik modeller ise bir zonun maruz kalabileceği kesme gerilmesini sınırlamak için kullanılırlar (Loring ve Varona, 2001).

Duraylılık analizleri; sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, sayısal analiz metoduyla yapılmıştır. Analizlerin bu metotla yapılmasının sebebi sayısal analizler, faylar ve yeraltı suyu gibi ortamın jeolojik özelliklerini hesaba katması ve şevlerin gerçek davranışı hakkında analitik modellere kıyasla daha gerçekçi yaklaşımlar sağlamasıdır.

Çalışılan kaya ortamının yaşı, geçirdiği jeolojik evrim nedeni ile kaya kütlelerinin elasto-plastik davranış göstereceği öngörülmüştür. Sayısal analizler, patlatmadan dolayı oluşacak örselenme zonlarının etkisi ile kaya ortamdaki süreksizliklerin, fayların ve eklem takımlarının davranışlarını da göz önünde bulundurularak genel şev için yapılmıştır.

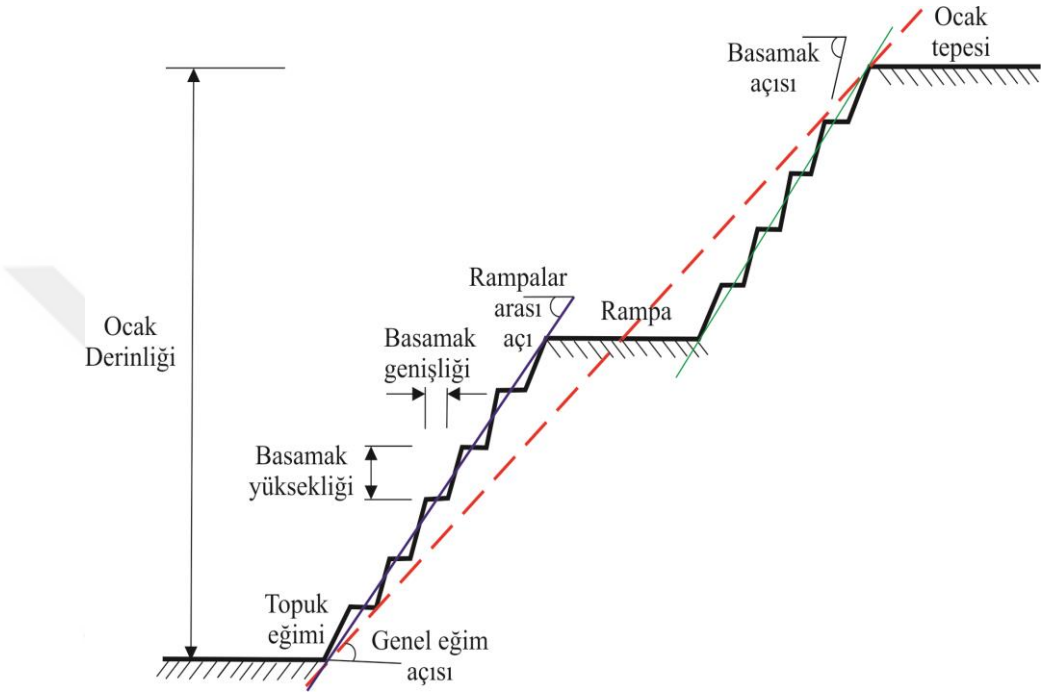
Sayısal analizlerde RS2 Versiyon 10.008 (Phase) programı kullanılmıştır. Sayısal analizlerde Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünün, analiz ölçütü olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun nedeni, kaya ortamın geçirdiği orojenezler dolayısıyla çok fazla süreksizlik içermesidir. Ancak yapılan analizleri doğrulamak adına ve kıyas yapmak amacı ile mevcut geometride kireçtaşları için süreksizlikler olmadan sadece kaya kütle özellikleriyle Mohr-Coluomb yenilme kriteri ile analizler yapılmıştır. Ayrıca yine kıyas yapmak adına Plaxis 2D programı kullanılarak mevcut geometride sadece kaya kütle özellikleriyle kireçtaşları için de analizler yapılmıştır.

RS2 programı kullanılarak yapılan sayısal analizlerde sonuçların en hassas şekilde elde edilmesi amacıyla programda analizler yapılırken ağ (mesh) tipi; standart, element tipi; 6 düğümlü üçgen, ağ element sayısı; 20000 ve tekrarlama (iteration) sayısı; 2000 olarak seçilmiş ve tüm analizlerde sabit tutulmuştur.

Sayısal analiz sonuçlarına göre karşılaştırma yapılacağından İki farklı litoloji birimi için aynı geometriler kullanılarak (kazı geometrisi ve mevcut geometri) modeller kurulmuş ve analizler yapılmıştır. Bu modeller aşağıda Şekil 4. 45, Şekil 4. 46, Şekil 4. 47 ve Şekil 4. 48’ de gösterilmiştir. Modellerin anlaşılması bakımından ağlar modeller üzerinde gösterilmemiştir. Ayrıca geometrinin de etkisinin değerlendirilmesi adına iki litoloji grubunda hem arazideki

mevcut geometri hem de tasarım geometrileri için analizler yapılmıştır. Seçilen analiz geometrilerinin yaklaşık ocak derinliği 280 metredir.

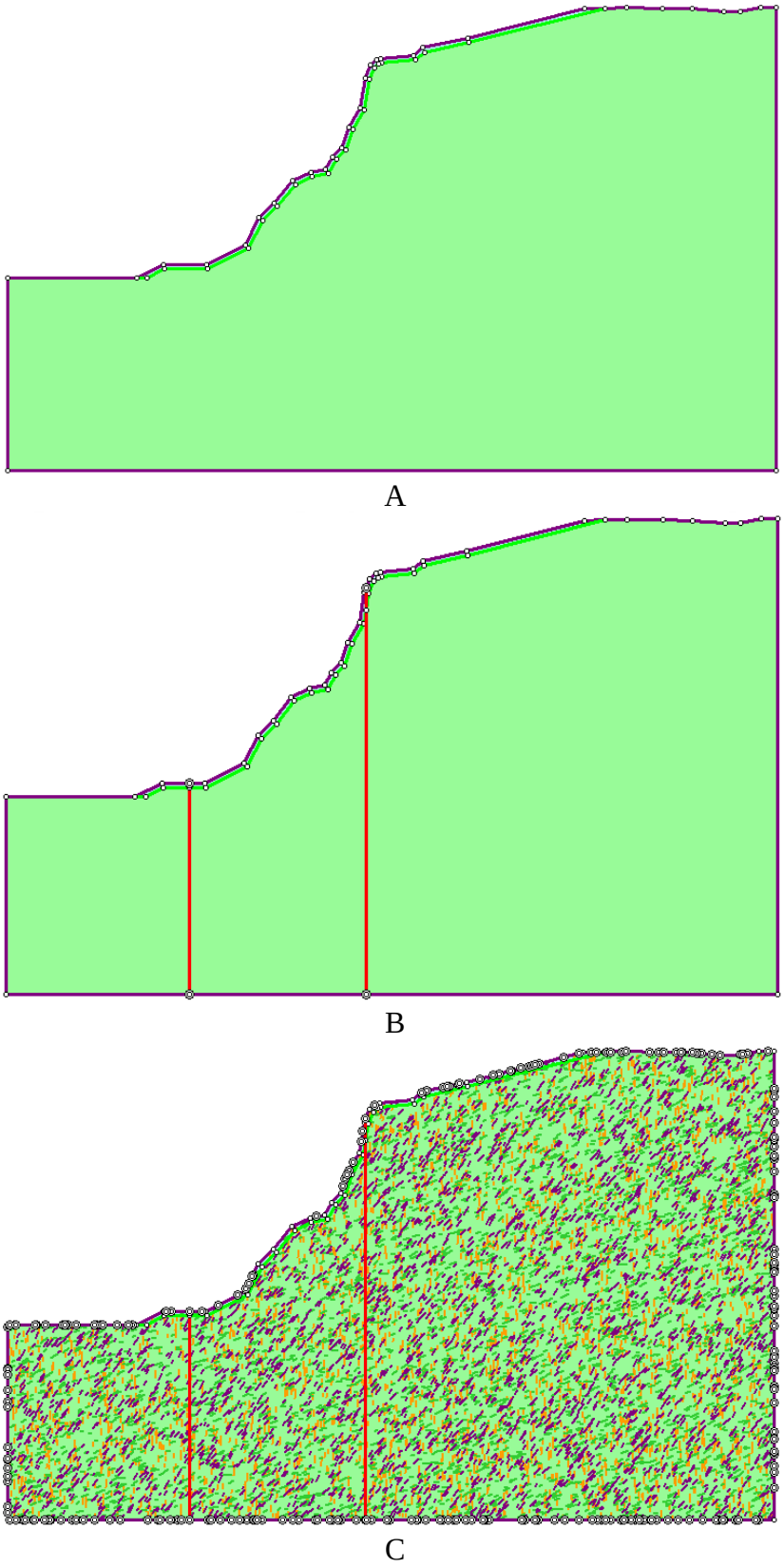
Sayısal analizlerde kullanılan tasarım geometrileri Wyllie ve Mah, 2004'ten alınan tipik bir açık kazı geometrisine bağlı kalınarak oluşturuluştur (Şekil 4.44).



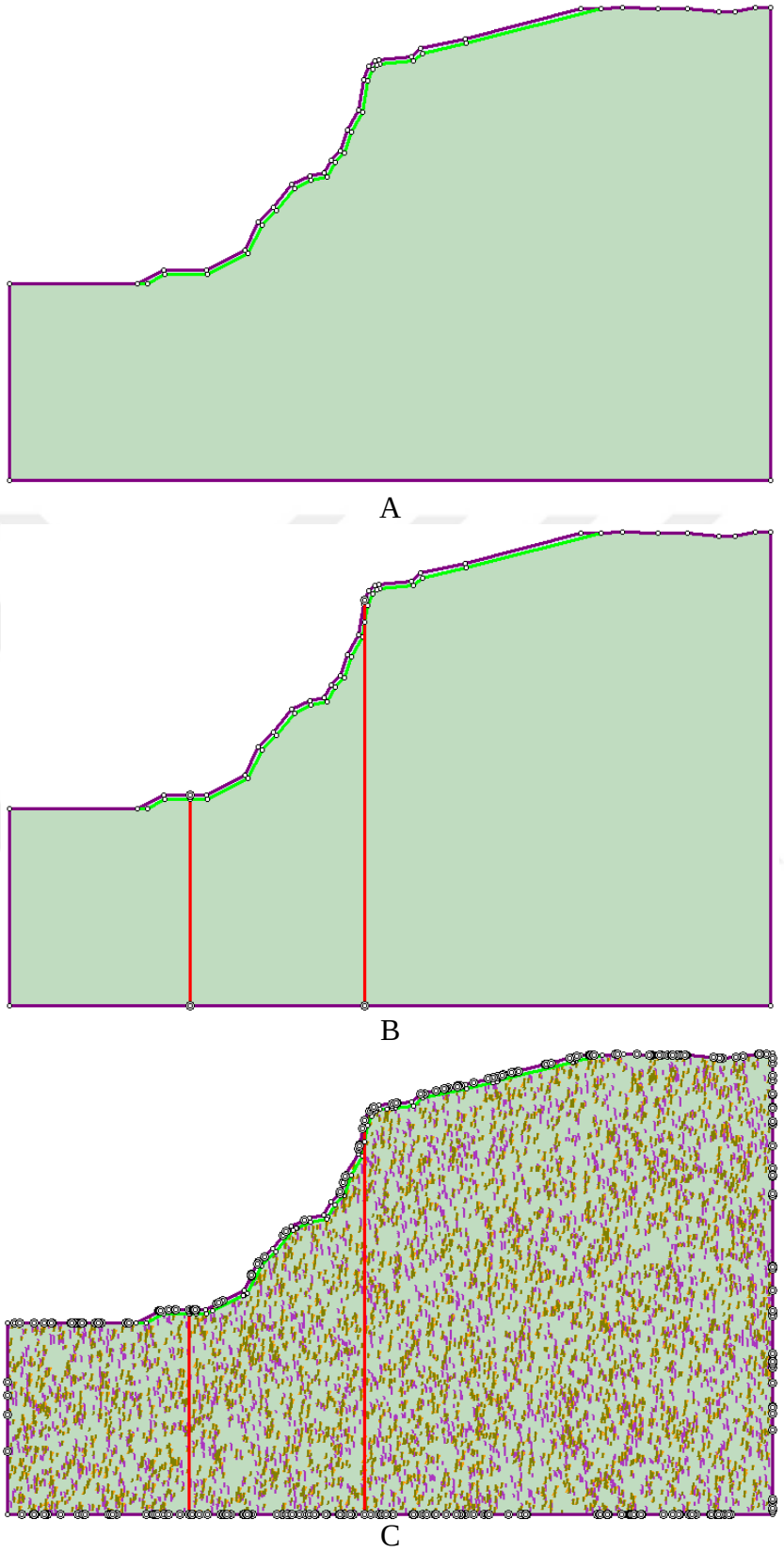
Şekil 4. 44: Genel şev açısı, yol arası açı ve palye geometrisi arasındaki ilişkiyi gösteren tipik açık ocak şev geometrisi (Wyllie ve Mah, 2004).

Sayısal analizler de kaya ortamındaki süreksizliklerin analiz sonuçlarına etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile analizler yapılırken önce litolojik özelliklerle birlikte kaya kütlesi tasarım parametreleri ile mevcut geometri ve tasarım geometrisi modellenerek analizler yapılmıştır. Bu model "Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)" olarak adlandırılmıştır. Daha sonra bu modellere arazide gözlemlenen düşey faylar işlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Buna "Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)" ismi verilmiştir. Son olarak bu faylı modeller üzerine eklem takımları da eklenerek analizler gerçekleştirilmiştir ve "Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)" olarak adlandırılmıştır. Analizlere eklenen bu süreksizlikler bölüm 4.8 Tablo 4.9 da anlatılmıştır.

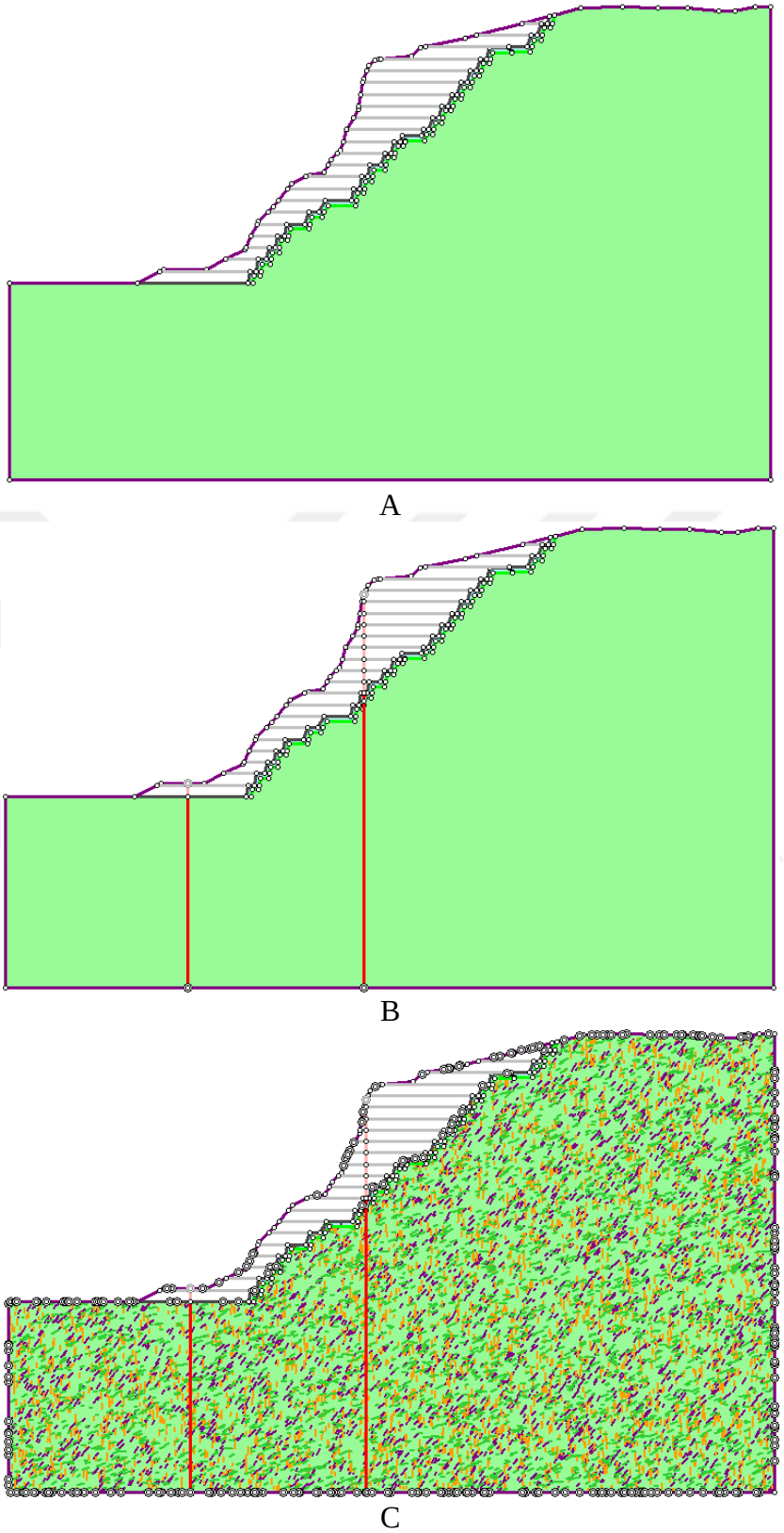
Sayısal analizler yapılırken her kurulan model için 6 farklı "k" oranı ile analizler yapılmıştır. k oranındaki değişimin analiz sonuçları üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan k değerleri bölüm 4.11 Tablo 4.24 te gösterilmiştir.



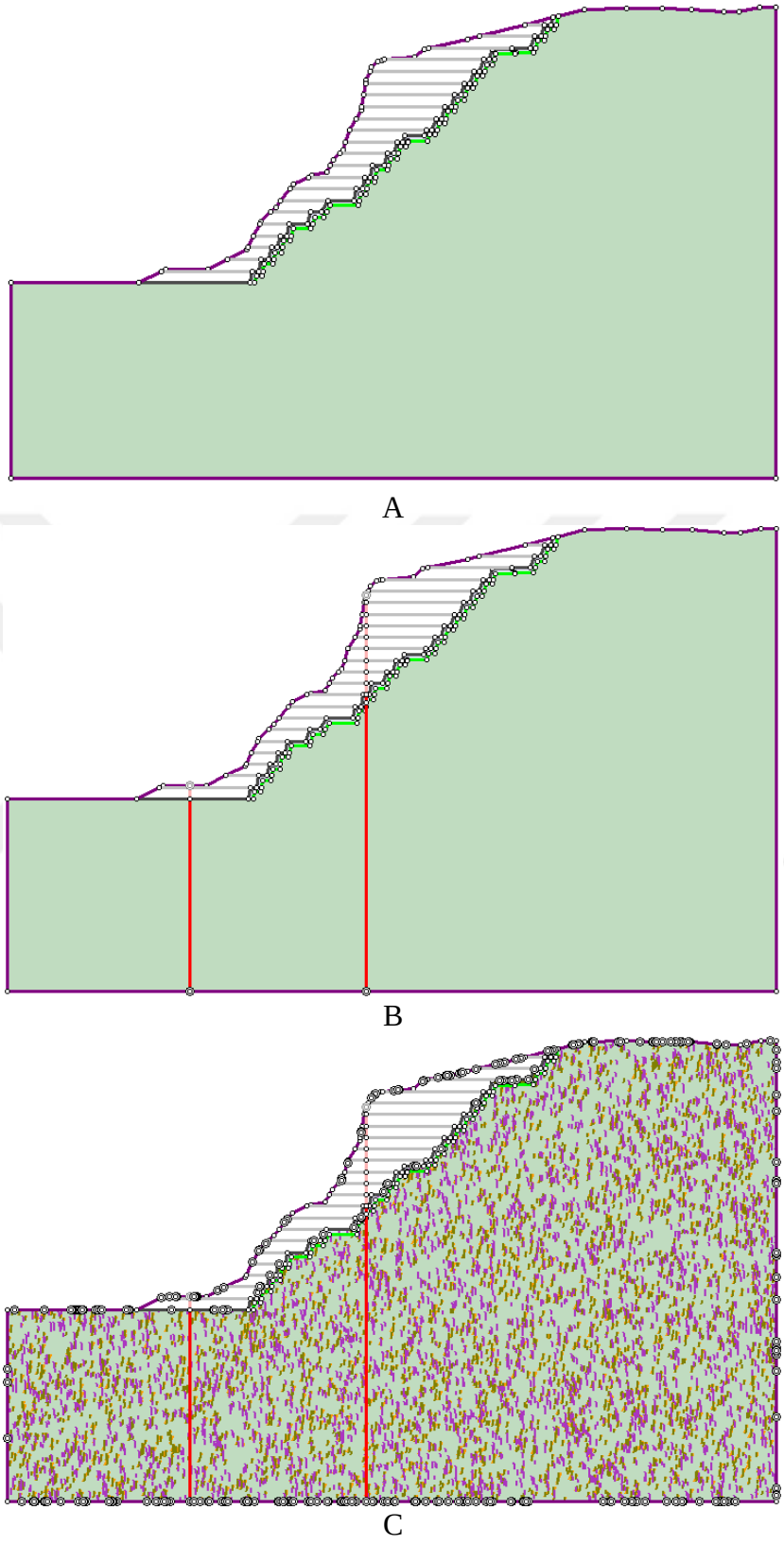
Şekil 4. 45: Kumtaşları için mevcut geometri kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler).



Şekil 4. 46: Kireçtaşları için mevcut geometri kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler).



Şekil 4. 47: Kumtaşları için kazı geometrisi kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler).



Şekil 4. 48: Kireçtaşları için kazı geometrisi kesitinin analize yönelik RS2 (Phase) modeli. A) Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen), B) Kaya Kütlesi (Düşey Faylı), C) Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler).

4.12.1 Kumtaşları İçin Yapılan Sayısal Analizler

Bu bölümde inceleme alanında bulunan karbonifer yaşlı kumtaşları için yapılan sayısal analiz sonuçları anlatılacak ve yorumlanacaktır. Kumtaşları için 42 adet toplam yer değiştirme (deplasman) 36 adet güvenlik sayısı (SRF) 36 adet depremli güvenlik sayası (S-SRF) analizi yapılmıştır.

4.12.1.1 Kumtaşları İçin Yapılan Toplam Yer Değiştirme (Deplasman) Analizleri

Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan yer değiştirme analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 25 te sunulmuştur. Ancak mevcut geometride örselenme zonu modele eklendiğinde analizler iterasyon (tekrarlama) hatası vermiş ve program analizleri çözememiştir. Bu nedenle mevcut geometri için toplam yer değiştirme değerlerini bulabilmek adına örselenme zonu kaldırılarak analizler yapılmış ve Tablo 4. 26 da sunulmuştur.

Tablo 4. 25: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).

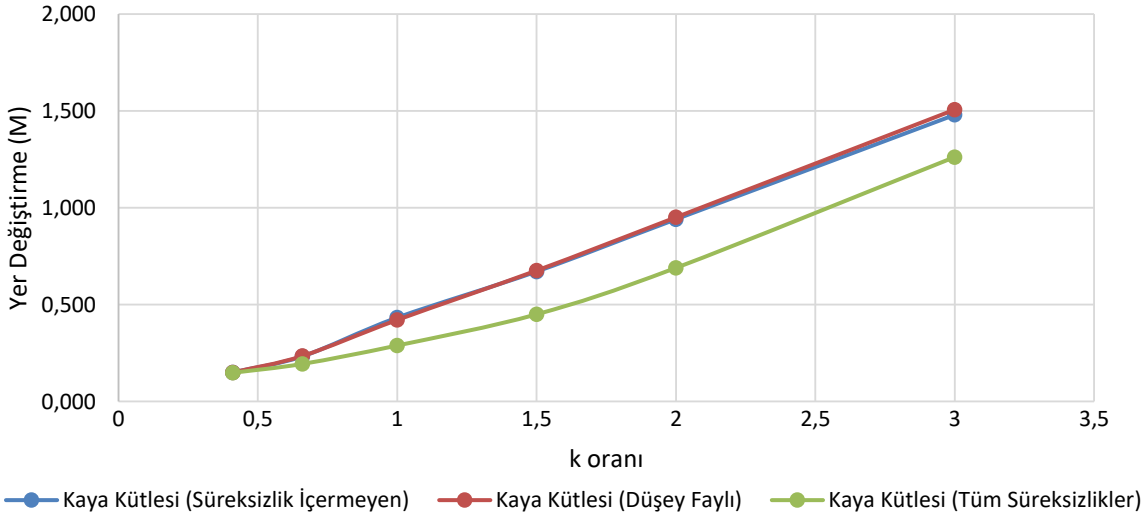
k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,95	5,57	2,32	0,152	12,92	5,56	2,32	0,153	24,93	7,99	3,12	0,149
0,66	Analiz iterasyon hatası veriyor.				13,44	8,53	1,58	0,240	28,29	11,51	2,46	0,196
1	Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.				37,86	15,04	2,52	0,290
1,50	Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.			
2	Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.			
3	Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.				Analiz iterasyon hatası veriyor.			

Tablo 4. 26 ve 4. 27 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmelerin (σ_1) k oranı arttıkça arttığı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde neredeyse diğer modellere kıyasla 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak en küçük asal gerilmelerin (σ_3), süreksizlik

içermeyen ve düşey faylı kaya kütlelerinde k oranı 1 den büyük olduğu durumlarda, arttıkça sabit kaldığı tüm süreksizlikleri içeren modelde ise neredeyse 2 kat arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 4. 26: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analizi sonuçları (örselenme zonu olmadan).

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,95	5,57	2,32	0,150	12,92	5,56	2,32	0,150	25,85	12,9	2,00	0,148
0,66	12,95	8,54	1,52	0,233	13,44	8,53	1,58	0,235	26,46	15,1	1,75	0,194
1	14,34	12,95	1,11	0,433	16,13	12,88	1,25	0,421	29,14	16,11	1,81	0,289
1,5	19,56	12,95	1,51	0,671	21,32	12,87	1,66	0,676	42,39	19,78	2,14	0,450
2	25,89	12,95	2,00	0,941	27,44	12,84	2,14	0,951	51,76	18,77	2,76	0,690
3	38,84	12,95	3,00	1,480	39,35	12,79	3,08	1,507	79,52	25,74	3,09	1,262



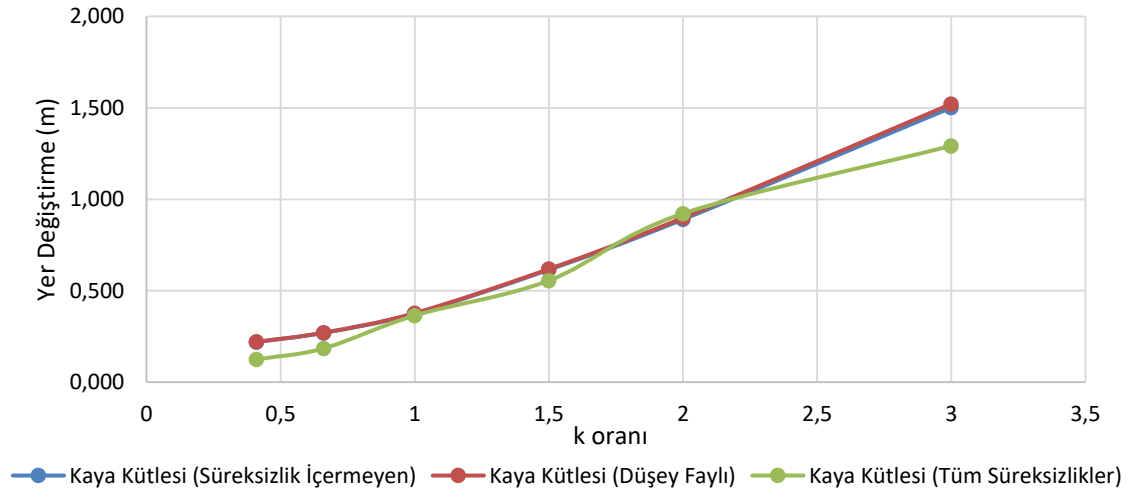
Şekil 4. 49: Kumtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları

Şekil 4. 49 incelendiğinde kumtaşlarında mevcut geometride k oranı arttıkça tüm jeolojik koşullar için yer değiştirme miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Süreksizlik içermeyen ve düşey faylı kaya kütlesi modellerin analiz sonuçlarında yer değiştirme miktarlarının hemen hemen aynı kaldığı fakat tüm süreksizliklerin eklendiği modelde yer değiştirmenin diğer modellere kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca toplam yer değiştirme miktarının ise k oranı artışına bağlı olarak yaklaşık 15 cm den 1,5 metreye kadar arttığı görülmektedir.

Kumtaşları için tasarım geometrisinde yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları aşağıda Tablo 4. 27 de sunulmuştur.

Tablo 4. 27: Kumtaşları için tasarım geometrisinde de yapılan toplam yer değiştirme, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analizi sonuçları.

k oranı	TASARIM GEOMETRİSİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,91	5,55	2,33	0,220	12,96	5,94	2,18	0,221	25,96	11,74	2,21	0,125
0,66	12,88	8,64	1,49	0,270	12,98	8,71	1,49	0,271	25,84	17,28	1,50	0,185
1	13,79	12,99	1,06	0,375	13,95	12,92	1,08	0,378	27,91	25,42	1,10	0,365
1,5	19,31	12,75	1,51	0,615	19,38	12,92	1,50	0,619	38,66	24,35	1,59	0,556
2	25,61	12,45	2,06	0,890	25,12	12,59	2,00	0,899	51,21	24,82	2,06	0,922
3	45,74	12,95	3,53	1,501	44,32	12,69	3,49	1,521	88,65	44,67	1,98	1,292



Şekil 4. 50: Kumtaşları için tasarım geometrisinde de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları.

Şekil 4. 50 incelendiğinde kumtaşlarında k oranı arttıkça tüm koşullar için yer değiştirme miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Yapılan analizlerde mevcut geometriye kıyasla tasarım geometrisinde her k oranı için hemen hemen bütün yer değiştirmelerin aynı değerde olması nedeni ile bu geometride toplam yer değiştirmeler üzerinde süreksizliklerin çok fazla bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca toplam yer değiştirme miktarının ise k oranı artışına bağlı olarak yaklaşık 15 cm den 1,5 metreye kadar arttığı görülmektedir.

Kumtaşları için yapılan yer değiştirme analizleri genel olarak değerlendirildiğinde mevcut geometride ve tasarım geometrisinde toplam yer değiştirme miktarlarının geometri fark etmeksizin k oranı arttıkça artmakta olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizlerde geometri fark etmeksizin en büyük asal gerilmelerin (σ_1) k oranı arttıkça arttığı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde neredeyse diğer modellere kıyasla 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

4.12.1.2 Kumtaşları İçin Yapılan Güvenlik Sayısı Analizleri

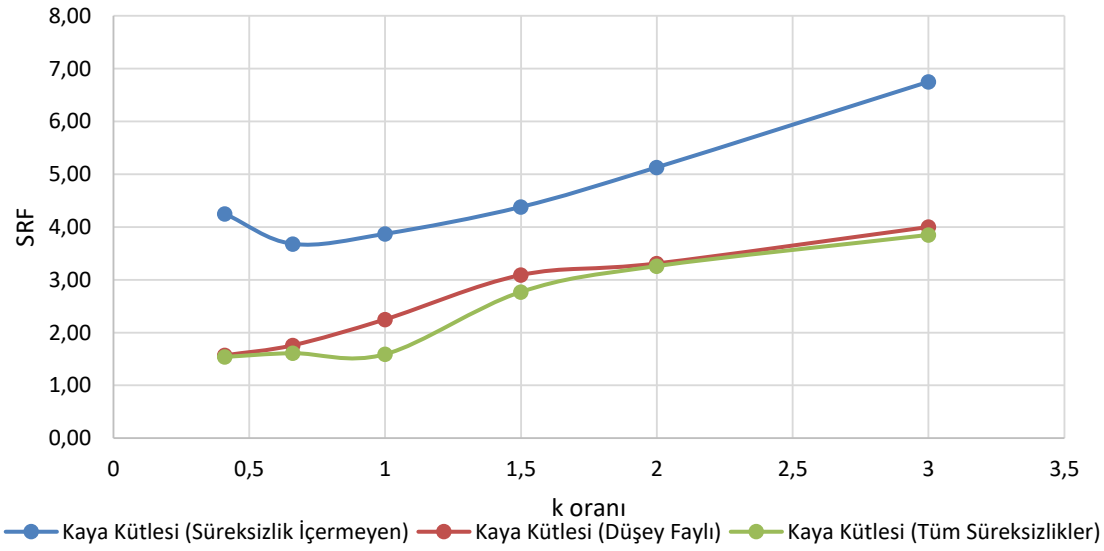
Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 28 de sunulmuştur.

Tablo 4. 28 ve 4. 29 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmelerin (σ1) k oranı arttıkça arttığı görülmektedir. Ancak en küçük asal gerilmelerin (σ3), genelde k oranı arttıkça arttığı ancak bazı k oranlarında sabit kaldığı ya da azaldığı görülmektedir.

Tablo 4. 28: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları.

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF
0,41	12,00	6,40	1,88	4,25	12,92	5,56	2,32	1,57	21,31	9,80	2,17	1,54
0,66	12,95	8,54	1,52	3,68	13,35	8,53	1,57	1,76	21,44	13,49	1,59	1,61
1	14,57	12,95	1,13	3,87	15,02	12,85	1,17	2,25	27,63	15,54	1,78	1,59
1,5	19,42	12,95	1,50	4,38	19,50	12,86	1,52	3,09	29,67	16,42	1,81	2,77
2	22,89	12,82	1,79	5,13	23,70	13,49	1,76	3,31	28,81	16,80	1,71	3,26
3	15,94	12,27	1,30	6,75	29,85	20,19	1,48	4,00	31,69	20,41	1,55	3,85

Aşağıda Şekil 4. 51 incelendiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi için güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece faylı ve bütün süreksizlikleri içeren kaya kütlesinde analiz sonuçları değerlendirildiğinde bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca süreksizliklerin güvenlik sayısını azalttığı ve tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayılarının da arttığı gözlemlenmektedir.

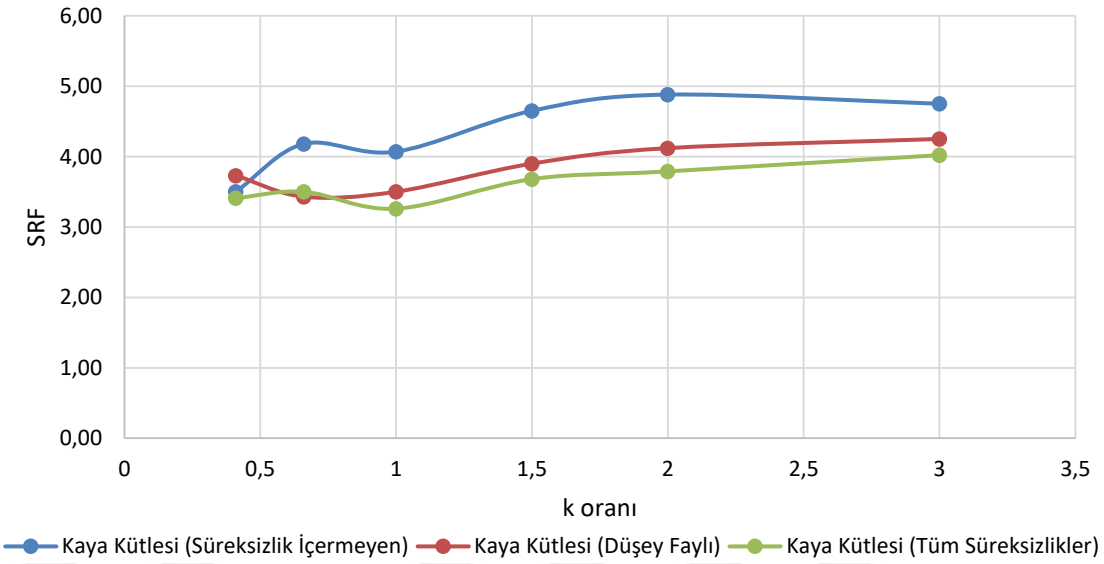


Şekil 4. 51: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Tablo 4. 29: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.

k oranı	TASARIM GEOMETRİSİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	SRF
0,41	12,33	5,86	2,10	3,50	11,96	5,98	2,00	3,73	22,56	12,96	1,74	3,41
0,66	12,89	8,52	1,51	4,18	12,94	8,52	1,52	3,43	24,04	13,87	1,73	3,50
1	13,80	12,84	1,07	4,07	15,60	12,86	1,21	3,50	26,28	15,78	1,67	3,26
1,5	19,30	12,71	1,52	4,65	19,34	12,85	1,51	3,90	26,62	16,18	1,65	3,68
2	15,09	10,37	1,46	4,88	18,40	11,11	1,66	4,12	25,06	17,11	1,46	3,79
3	20,30	15,07	1,35	4,75	18,64	11,93	1,56	4,25	26,73	17,52	1,53	4,02

Aşağıda Şekil 4. 52 incelendiğinde tasarım geometrisinde süreksizlik içermeyen kaya kütlesi için güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece faylı ve bütün süreksizlikleri içeren kaya kütlesinde analiz sonuçları değerlendirildiğinde, bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca süreksizliklerin bu modelde de güvenlik sayısını azalttığı anlaşılmıştır. Tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayılarının da artmaktadır.



Şekil 4. 52: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Kumtaşları için yapılan güvenlik sayısı analizleri genel olarak değerlendirildiğinde süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modellerinde mevcut geometride tasarım geometrisine kıyasla güvenlik sayılarının biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaya kütlesi modelinden düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren modellere geçildikçe güvenlik sayılarının nispeten azaldığı gözlemlenmektedir. Yapılan analizlerde k oranı arttıkça güvenlik sayılarının geometriden bağımsız olarak arttığı söylenebilir.

4.12.1.3 Kumtaşları İçin Yapılan Depremli Güvenlik Sayısı Analizleri

Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayıları analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 30 da sunulmuştur.

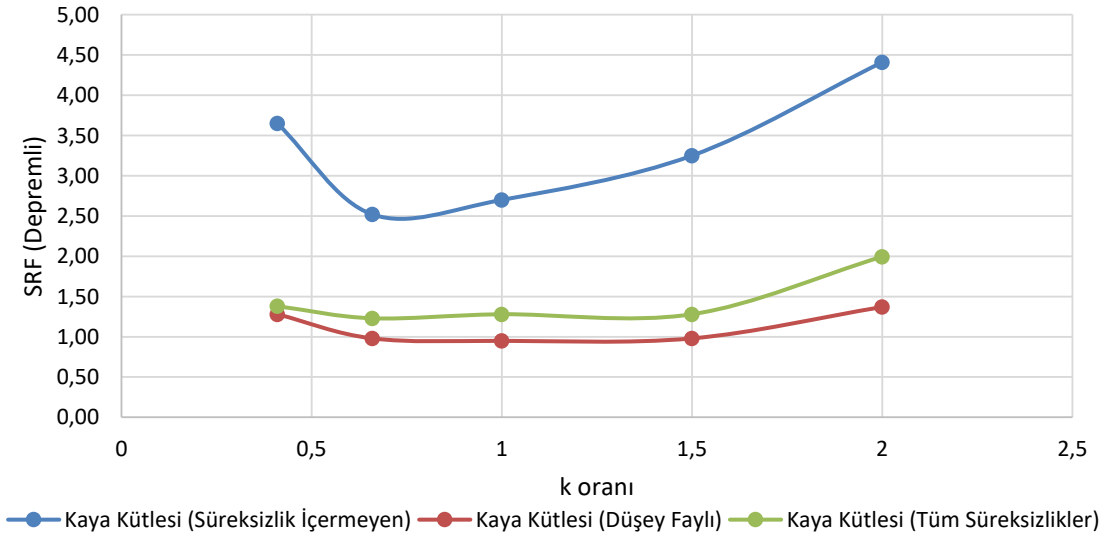
Tablo 4. 30 ve 4. 31 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmeler (σ_1) ve en küçük asal gerilmelerin (σ_3) k oranı arttıkça arttığı görülmektedir.

Aşağıda Şekil 4. 53 incelendiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modelinde depremli güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece düşey faylı ve bütün süreksizlikleri içeren analiz sonuçları değerlendirildiğinde, bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşüktür. Sadece düşey faylı modelde ise depremli güvenlik sayılarının diğer modellere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan analizlerde Tüm jeolojik koşullar için k oranının 0,66

dan büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça depremli güvenlik sayılarının da arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. 30: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF
0,41	12,21	5,92	2,06	3,65	13,56	5,50	2,47	1,28	23,00	9,86	2,33	1,38
0,66	13,04	8,57	1,52	2,52	14,68	8,48	1,73	0,98	24,22	12,34	1,96	1,23
1	15,39	12,95	1,19	2,70	17,32	12,79	1,35	0,95	30,22	15,65	1,93	1,28
1,5	19,42	12,95	1,50	3,25	22,42	12,82	1,75	0,98	43,08	18,61	2,31	1,28
2	23,39	14,93	1,57	4,41	29,24	12,78	2,29	1,37	58,85	39,25	1,50	2,00
3	25,01	18,14	1,38	4,78	31,04	16,35	1,90	2,51	64,06	40,03	1,60	2,42



Şekil 4. 53: Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları.

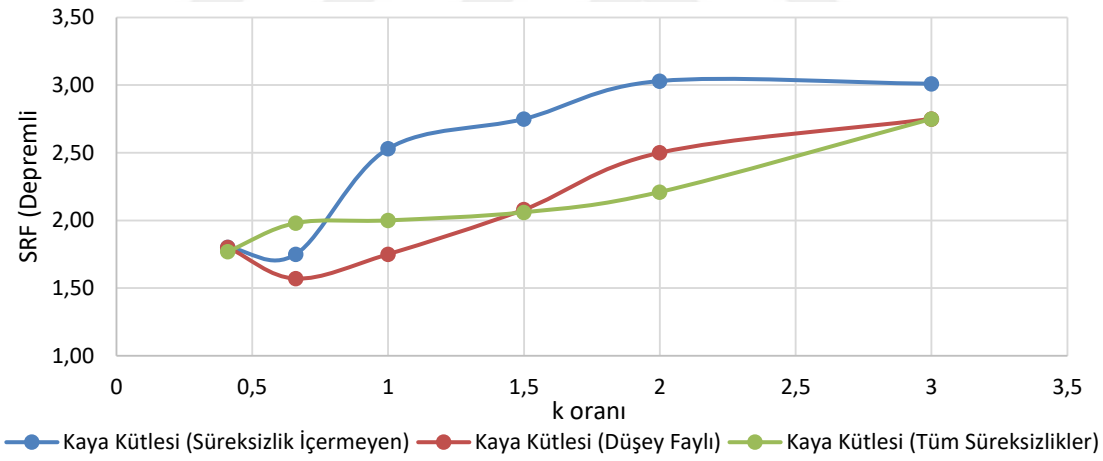
Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayıları analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 31 de sunulmuştur.

Aşağıda Şekil 4. 54 incelendiğinde tasarım geometrisinde düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modelleri için depremli güvenlik sayılarının yaklaşık olarak hemen hemen aynı olduğu süreksizlik içermeyen kaya kütlesinde depremli güvenlik sayısının biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan analizlerde Tüm jeolojik koşullar için k oranının

0,66 dan büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça depremli güvenlik sayılarının da arttığı da görülmüştür.

Tablo 4. 31: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.

k oranı	TASARIM GEOMETRİSİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF
0,41	12,84	5,50	2,33	1,80	12,87	5,49	2,34	1,80	23,09	9,83	2,35	1,77
0,66	12,84	8,48	1,51	1,75	13,77	6,48	2,13	1,57	23,66	12,96	1,83	1,98
1	14,81	12,75	1,16	2,53	16,37	12,79	1,28	1,75	29,70	15,47	1,92	2,00
1,5	19,64	12,77	1,54	2,75	19,70	12,83	1,54	2,08	31,68	16,39	1,93	2,06
2	23,54	12,86	1,83	3,03	24,77	12,45	1,99	2,50	32,55	16,86	1,93	2,21
3	36,53	30,23	1,21	3,01	27,18	16,11	1,69	2,75	33,90	19,30	1,76	2,75



Şekil 4. 54: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Kumtaşları için yapılan depremli güvenlik sayısı analizleri genel olarak değerlendirildiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modelinde tasarım geometrisine kıyasla depremli güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu ancak tasarım geometrisinde mevcut geometriye kıyasla düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerinde güvenlik sayılarının biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine geometri fark etmeksizin tüm jeolojik koşullar için k oranının 0,66 dan büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça depremli güvenlik sayılarının da arttığı gözlemlenmektedir.

4.12.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Sayısal Analizler

Bu bölümde inceleme alanında bulunan karbonifer yaşlı kireçtaşları için yapılan sayısal analiz sonuçları anlatılacak ve yorumlanacaktır. Kireçtaşları için 48 adet yer değiştirme (deplasman) 36 adet güvenlik sayısı (SRF) 36 adet depremli güvenlik sayası (S-SRF) analizi yapılmıştır.

4.12.2.1 Kireçtaşları İçin Yapılan Toplam Yer Değiştirme (Deplasman) Analizleri

Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan yer değiştirme analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 32 de sunulmuştur. Kumtaşlarında karşılaşılan iterasyon hatası kireçtaşlarında olmamıştır. Ancak litoloji farkının kıyaslanması için kireçtaşlarında mevcut geometri için hem örselenme zonlu hem de örselenme zonu içermeyen modellerde sayısal analiz yapılmıştır.

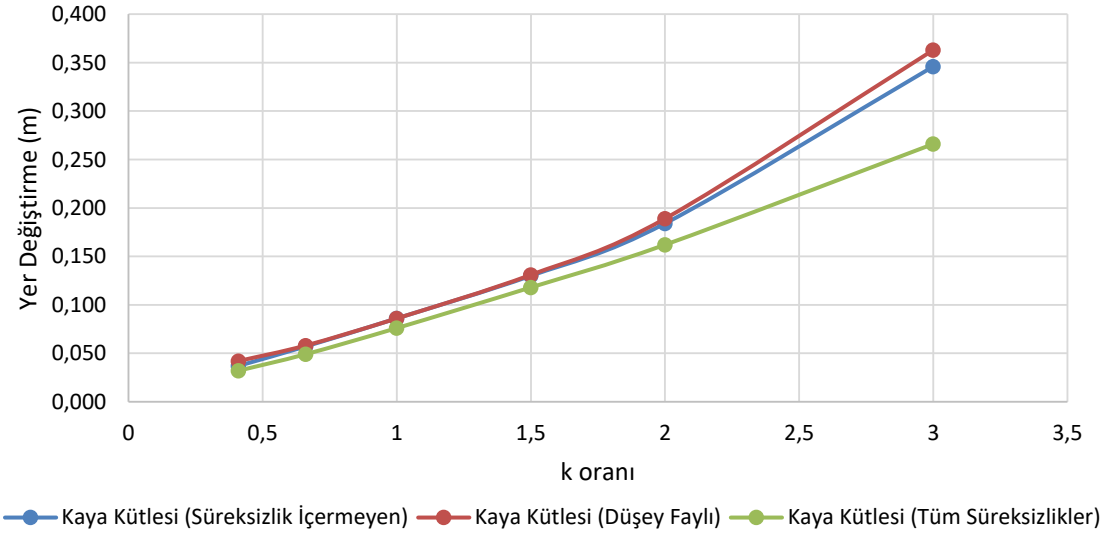
Tablo 4. 32, 4. 33 ve 4.34 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmelerin (σ_1) k oranı arttıkça arttığı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde neredeyse diğer modellere kıyasla 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak en küçük asal gerilmelerin (σ_3), süreksizlik içermeyen ve düşey faylı kaya kütlelerinde, k oranı 1 den büyük olduğu durumlarda, arttıkça sabit kaldığı tüm süreksizlikleri içeren modelde ise neredeyse 2 kat arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 4. 32: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,95	5,57	2,32	0,037	12,93	5,56	2,33	0,042	24,93	7,99	3,12	0,032
0,66	12,95	8,54	1,52	0,057	14,12	8,53	1,66	0,058	28,29	11,51	2,46	0,049
1	14,33	12,95	1,11	0,086	16,83	12,88	1,31	0,086	37,86	15,04	2,52	0,076
1,5	19,54	12,95	1,51	0,130	21,90	12,87	1,70	0,131	52,48	16,92	3,10	0,118
2	25,89	12,95	2,00	0,184	27,69	12,84	2,16	0,189	50,09	18,54	2,70	0,162
3	38,84	12,95	3,00	0,346	39,51	12,77	3,09	0,363	55,93	26,16	2,14	0,266

Aşağıda Şekil 4. 55 ve 4. 56 incelendiğinde mevcut geometride kireçtaşlarında k oranı arttıkça tüm koşullar için yer değiştirme miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Süreksizlik içermeyen

ve düşey faylı kaya kütlesi modellerin analiz sonuçlarında yer değiştirme miktarlarının hemen hemen aynı kaldığı fakat tüm süreksizliklerin de eklendiği kaya kütlesi modelinde yer değiştirmenin diğer modellere göre daha az olduğu görülmektedir. Toplam yer değiştirme miktarının ise k oranı artışına bağlı olarak yaklaşık 4 cm den 35 cm'ye kadar ulaşmaktadır.

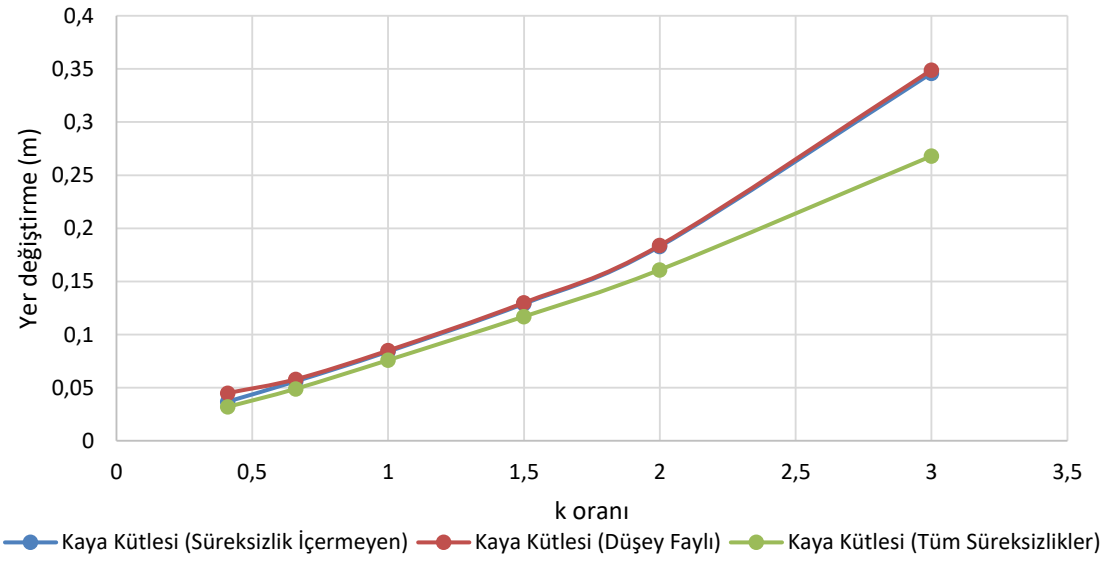


Şekil 4. 55: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları (örselenme zonlu).

Kireçtaşlarında mevcut geometri için örselenme zonu olmadan yapılan yer değiştirme analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 33 de sunulmuştur.

Tablo 4. 33: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonu olmadan).

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,95	5,57	2,32	0,037	12,93	5,56	2,33	0,045	24,37	10,84	2,25	0,032
0,66	12,95	8,54	1,52	0,056	14,12	8,53	1,66	0,058	24,72	14,58	1,70	0,049
1	14,32	12,95	1,11	0,084	16,83	12,88	1,31	0,085	28,11	17,74	1,58	0,076
1,5	19,53	12,95	1,51	0,129	21,9	12,87	1,70	0,13	39,45	21,59	1,83	0,117
2	25,89	12,95	2,00	0,183	27,69	12,84	2,16	0,184	53,52	25,19	2,12	0,161
3	38,84	12,95	3,00	0,346	38,8	12,76	3,04	0,349	80,59	49,13	1,64	0,268



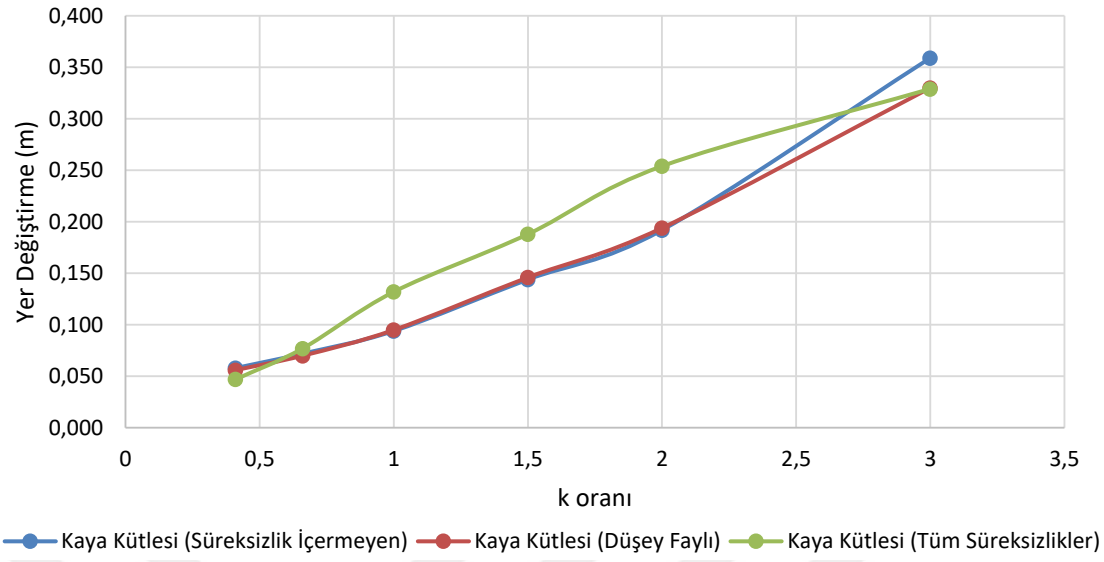
Şekil 4. 56: Kireçtaşları için mevcut geometri de yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları (örselenme zonu olmadan).

Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan yer değiştirme analiz sonuçları aşağıda Tablo 4.34 te sunulmuştur.

Tablo 4. 34: Kireçtaşları için tasarım geometrisin de yapılan toplam yer değiştirme analizi, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları (örselenme zonlu).

k oranı	TASARIM GEOMETRİSİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	Yer Değiştirme (m)
0,41	12,91	5,55	2,33	0,058	12,93	5,56	2,33	0,056	24,39	10,90	2,24	0,047
0,66	12,90	8,53	1,51	0,072	13,22	8,52	1,55	0,070	23,72	15,19	1,56	0,077
1	13,76	12,86	1,07	0,094	16,26	12,87	1,26	0,095	31,69	18,82	1,68	0,132
1,5	19,39	12,85	1,51	0,144	21,83	12,88	1,69	0,146	40,85	23,57	1,73	0,188
2	25,85	12,81	2,02	0,192	27,91	12,86	2,17	0,194	53,95	27,15	1,99	0,254
3	44,51	12,70	3,50	0,359	42,42	12,79	3,32	0,330	82,06	42,41	1,93	0,329

Aşağıda Şekil 4. 57 değerlendirildiğinde k oranı arttıkça tüm koşullar için yer değiştirme miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Toplam yer değiştirme miktarının k oranı artışına bağlı olarak yaklaşık 5 cm'den 36 cm kadar olduğu görülmektedir



Şekil 4. 57: Kireçtaşları için tasarım geometrinde yapılan toplam yer değiştirme analizi sonuçları.

Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan yer değiştirme analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde sayısal analizlerde örselenme zonunun yer değiştirmeler üzerinde mevcut geometri için etkisinin neredeyse hiç olmadığı söylenebilir. Yapılan analiz sonuçlarına göre hemen hemen bütün yer değiştirme miktarlarının aynı kalmış olduğu gözlenmektedir.

Kireçtaşları için yapılan yer değiştirme analizleri genel olarak değerlendirildiğinde mevcut geometride ve tasarım geometrisinde toplam yer değiştirme miktarlarının geometri fark etmeksizin k oranı arttıkça artmakta olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizlerde geometri fark etmeksizin en büyük asal gerilmelerin (σ_1) k oranı arttıkça arttığı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde neredeyse diğer modellere kıyasla 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

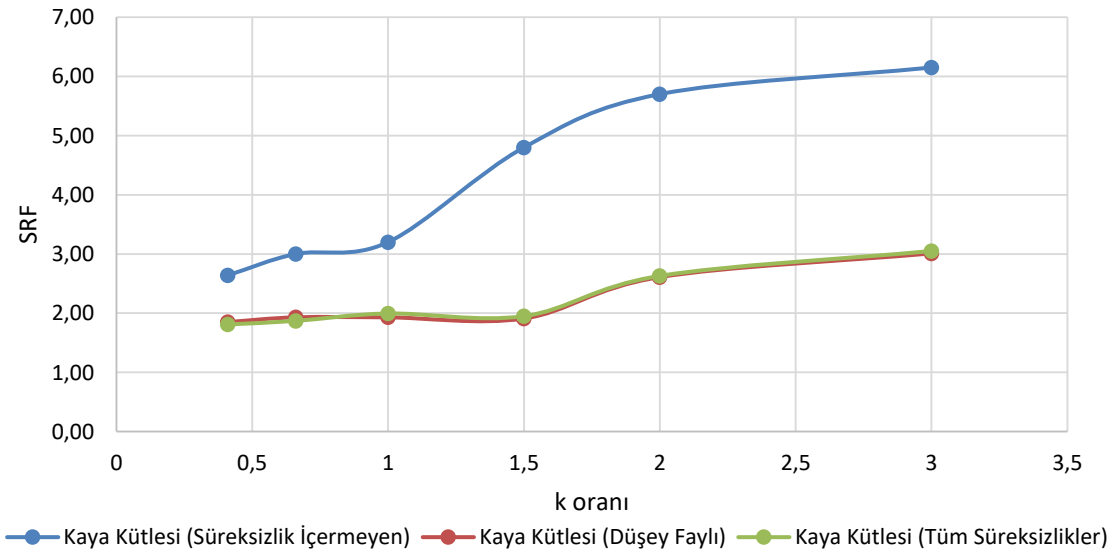
4.12.2.2 Kireçtaşları İçin Yapılan Güvenlik Sayısı Analizleri

Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 35 de sunulmuştur.

Tablo 4. 35 ve 4. 36 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmelerin (σ_1) k oranı arttıkça arttığı görülmektedir. Ancak en küçük asal gerilmelerin (σ_3), genelde k oranı arttıkça arttığı ancak bazı k oranlarında sabit kalmakta veya azalmaktadır.

Tablo 4. 35: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları.

k oranı	MEVCUT GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF
0,41	12,45	5,85	2,13	2,64	12,93	5,56	2,33	1,85	21,36	14,17	1,51	1,81
0,66	12,95	8,54	1,52	3,00	13,06	8,53	1,53	1,93	29,65	22,83	1,30	1,87
1	14,44	12,95	1,12	3,20	15,86	12,86	1,23	1,93	23,85	14,65	1,63	2,00
1,5	18,96	13,47	1,41	4,80	22,15	12,98	1,71	1,91	29,65	15,62	1,90	1,95
2	18,33	14,05	1,30	5,70	23,60	13,54	1,74	2,61	31,67	17,79	1,78	2,63
3	15,19	12,43	1,22	6,15	30,89	21,02	1,47	3,01	32,16	20,96	1,53	3,05



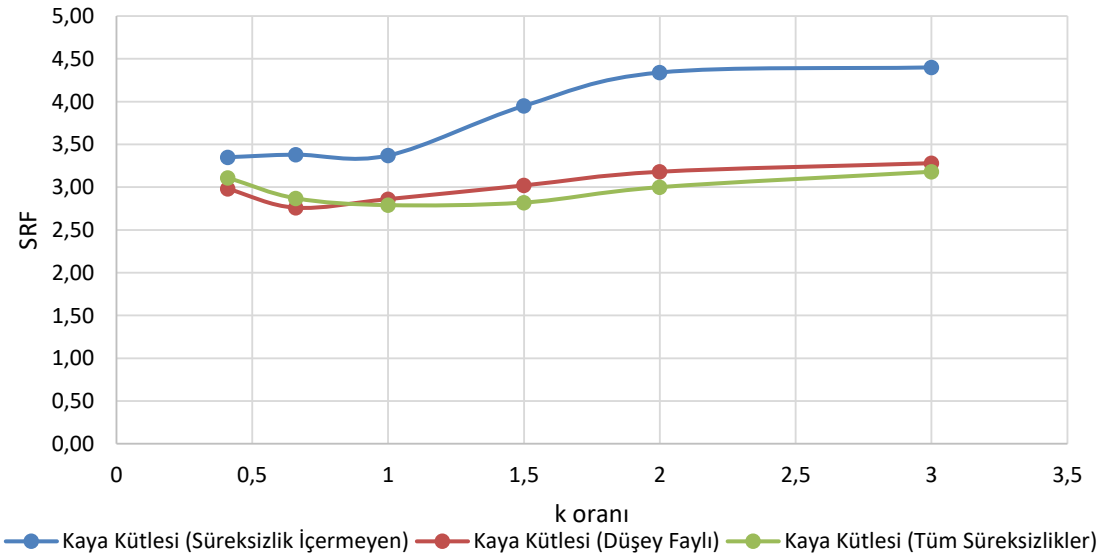
Şekil 4. 58: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Şekil 4.58 incelendiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi için güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece faylı ve bütün süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerinde analiz sonuçları değerlendirildiğinde bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşük olmaktadır. Tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayıları da artmaktadır.

Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 36 da sunulmuştur.

Tablo 4. 36: Kumtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 sonuçları.

k oranı	TASARIM GEOMETRİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF	σ_1	σ_3	σ_1 / σ_3	SRF
0,41	11,39	6,04	1,89	3,35	11,88	6,07	1,96	2,98	15,26	9,63	1,58	3,11
0,66	12,90	8,52	1,51	3,38	12,92	8,52	1,52	2,76	21,58	14,52	1,49	2,87
1	16,74	13,92	1,20	3,37	15,00	12,86	1,17	2,86	27,11	17,73	1,53	2,79
1,5	19,20	12,67	1,52	3,95	19,34	12,85	1,51	3,02	26,41	16,34	1,62	2,82
2	15,14	9,45	1,60	4,34	18,49	11,20	1,65	3,18	32,93	21,21	1,55	3,00
3	21,65	19,74	1,10	4,40	18,56	13,24	1,39	3,28	33,97	23,42	1,45	3,18



Şekil 4. 59: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Şekil 4. 59 incelendiğinde tasarım geometrisinde süreksizlik içermeyen kaya kütlesi için güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece faylı ve bütün süreksizlikleri içeren analiz sonuçları değerlendirildiğinde bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşüktür. Tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayıları da artmaktadır.

Kireçtaşları için yapılan güvenlik sayısı analizleri genel olarak değerlendirildiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modelinde tasarım geometrisine kıyasla

güvenlik sayılarının biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerinde güvenlik sayılarının tasarım geometrisinde mevcut geometriye kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca geometri fark etmeksizin süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modelinden düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerine geçildikçe güvenlik sayılarının nispeten azaldığı gözlemlenmektedir. Geometri fark etmeksizin tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayıları da artmaktadır.

4.12.2.3 Kireçtaşları İçin Yapılan Depremli Güvenlik Sayısı Analizleri

Kumtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayıları analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 37 da sunulmuştur.

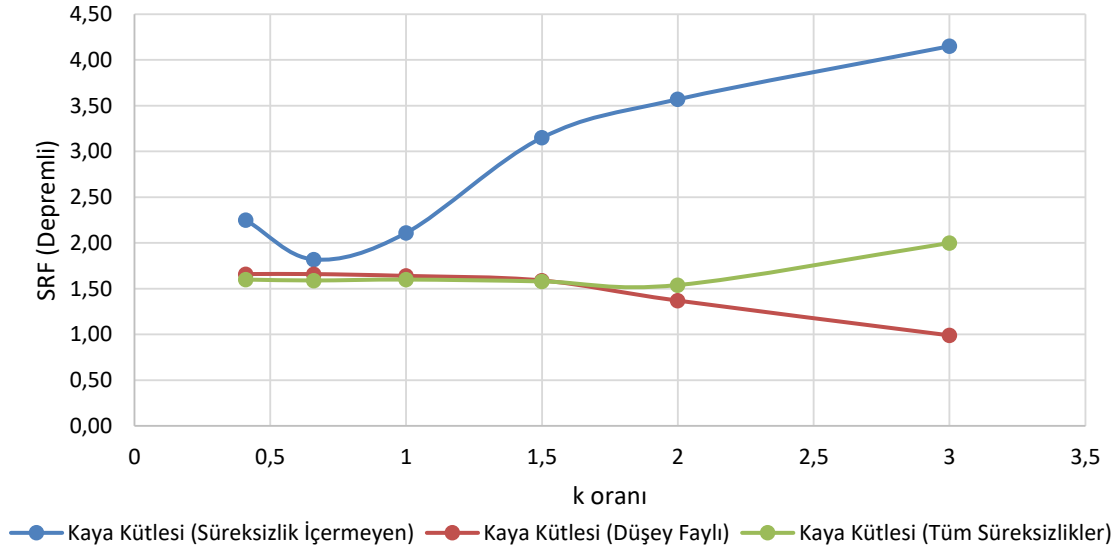
Tablo 4. 37 ve 4. 38 incelendiğinde yapılan analizlerde, en büyük asal gerilmeler (σ_1) ve en küçük asal gerilmelerin (σ_3) k oranı arttıkça arttığı görülmektedir.

Tablo 4. 37: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.

k oranı	Mevcut Geometri											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF
0,41	12,82	5,69	2,25	2,25	12,98	5,47	2,37	1,66	27,95	12,98	2,15	1,60
0,66	13,43	8,54	1,57	1,82	15,27	8,46	1,80	1,66	20,92	11,26	1,86	1,59
1,00	16,42	12,95	1,27	2,11	18,73	12,77	1,47	1,64	26,62	14,18	1,88	1,60
1,50	19,42	12,95	1,50	3,15	25,73	12,80	2,01	1,59	31,41	14,81	2,12	1,58
2,00	23,74	15,53	1,53	3,57	28,63	12,77	2,24	1,37	33,85	15,62	2,17	1,54
3,00	16,89	12,99	1,30	4,15	38,97	13,13	2,97	0,99	38,15	18,81	2,03	2,00

Aşağıda Şekil 4. 60 incelendiğinde mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modeli değerlendirildiğinde depremli güvenlik sayılarının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak sadece faylı ve bütün süreksizlikleri içeren analiz sonuçları değerlendirildiğinde bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat artan süreksizlik koşullarında depremli güvenlik sayıları da azalmaktadır. Yapılan analizlerde düşey faylı kaya kütlesi modeli hariç k

oranının 1 den büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça depremli güvenlik sayıları da artmaktadır.

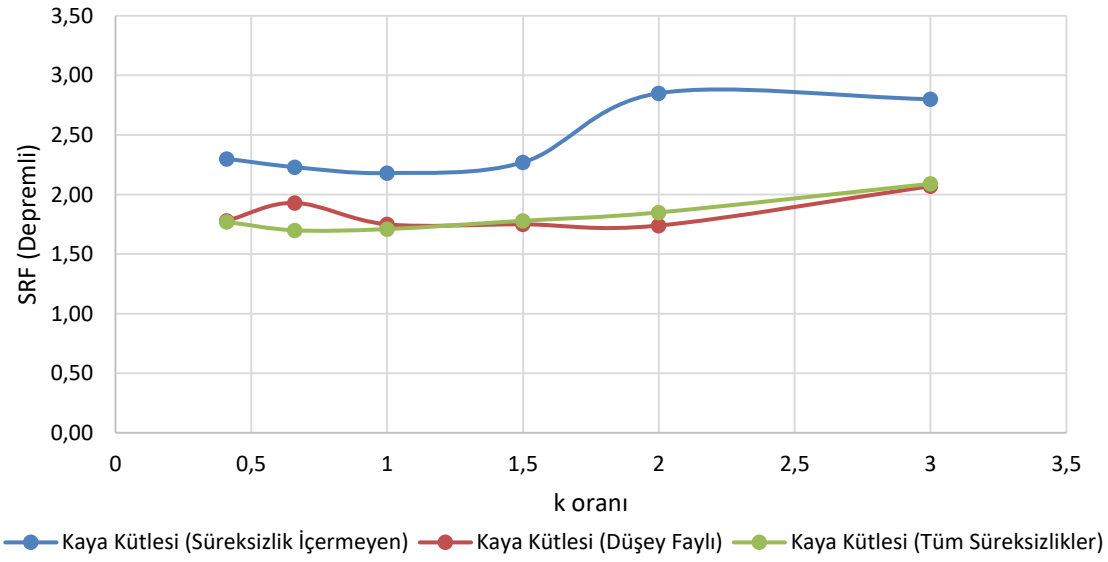


Şekil 4. 60: Kireçtaşlarında mevcut geometri için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Tablo 4. 38: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı, σ_1, σ_3 ve σ_1 / σ_3 analiz sonuçları.

k oranı	TASARIM GEOMETRİSİ											
	Kaya Kütlesi (Süreksizlik İçermeyen)				Kaya Kütlesi (Düşey Faylı)				Kaya Kütlesi (Tüm Süreksizlikler)			
	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF	σ1	σ3	σ_1 / σ_3	S-SRF
0,41	12,11	5,29	2,29	2,30	12,87	5,49	2,34	1,78	20,98	10,53	1,99	1,77
0,66	13,64	8,99	1,52	2,23	14,14	8,47	1,67	1,93	21,56	15,23	1,42	1,70
1,00	15,78	12,74	1,24	2,18	17,57	12,79	1,37	1,75	25,51	17,19	1,48	1,71
1,50	19,54	13,13	1,49	2,27	20,03	12,84	1,56	1,75	33,96	22,78	1,49	1,78
2,00	21,88	13,25	1,65	2,85	25,72	12,74	2,02	1,74	40,18	21,86	1,84	1,85
3,00	19,83	11,13	1,78	2,80	27,21	15,56	1,75	2,07	39,91	21,51	1,86	2,09

Aşağıda Şekil 4. 61 incelendiğinde tasarım geometrisinde düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modelleri için depremli güvenlik sayılarının yaklaşık olarak hemen hemen aynı olduğu süreksizlik içermeyen kaya kütlesinde depremli güvenlik sayısının biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan analizlerde Tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça depremli güvenlik sayılarında da artış olmaktadır.



Şekil 4. 61: Kireçtaşlarında tasarım geometrisi için yapılan depremli güvenlik sayısı analiz sonuçları.

Kireçtaşları için yapılan depremli güvenlik sayısı analizleri genel olarak değerlendirildiğinde tasarım geometrisinde mevcut geometriye kıyasla düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerinde güvenlik sayılarının biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine geometri fark etmeksizin tüm jeolojik koşullar için k oranının 0,66 dan büyük olduğu durumlarda, k oranı arttıkça mevcut geometride düşey faylı model hariç depremli güvenlik sayılarının da arttığı gözlemlenmektedir.

4.12.3 Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri İle Yapılan Doğrulama Analizleri

Bu bölümde analiz sonuçlarının doğruluğu adına fikir edinmek ve değerlendirmek amacıyla Plaxis 2D ve RS2 programı kullanılarak mevcut geometride sadece kaya kütle özellikleriyle kireçtaşları için Mohr-Coluomb yenilme kriteri ile analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları bu bölümde anlatılmıştır.

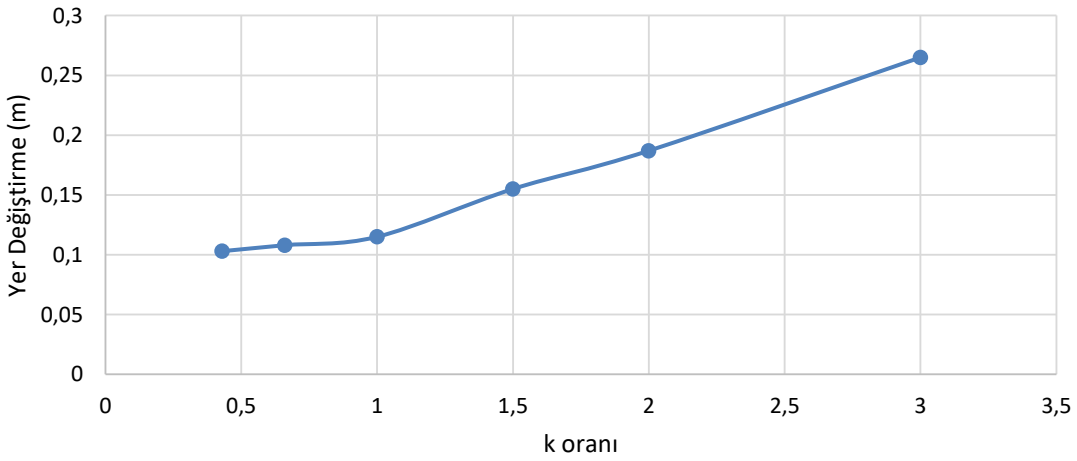
4.12.3.1 Plaxsis 2D Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri ile Yapılan Analiz Sonuçları

Doruk kaya kütlesi tasarım parametreleri ile Plaxsis 2D programı kullanılarak Mohr-Coluomb yenilme kriteri ile analizler yapılmış ve analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 38 de verilmiştir.

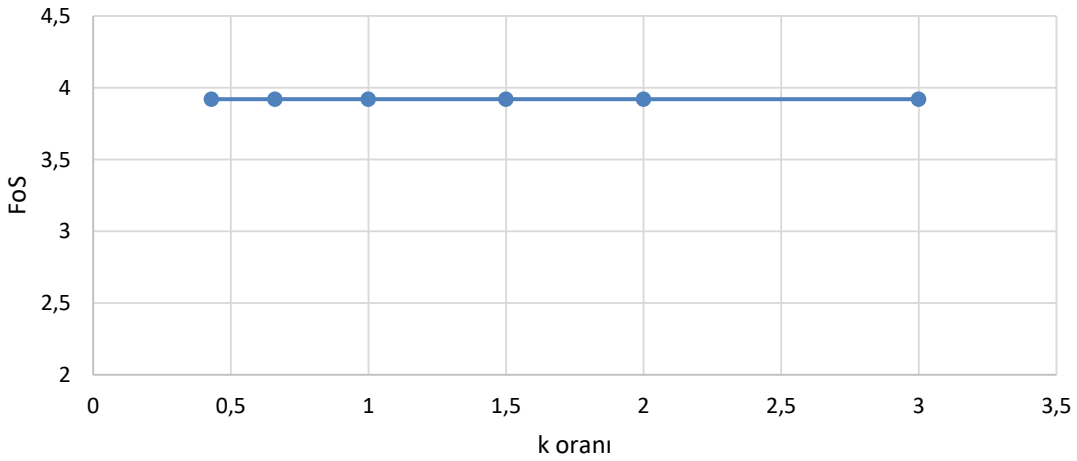
Şekil 4. 62 ve 4. 63 değerlendirildiğinde doruk kaya kütlesi tasarım parametreleri ile yapılan analiz sonuçlarında k oranı arttıkça toplam yer değiştirme miktarlarının arttığı ancak güvenlik sayılarının değişmediği görülmektedir.

Tablo 4. 39: Plaxsis 2D programı ile mohr-coluomb yenilme kriteri analiz sonuçları.

k oranı	Yer Değiştirme (m)	FoS
0,41	0,103	3,92
0,66	0,108	3,92
1	0,115	3,92
1,5	0,155	3,92
2	0,187	3,92
3	0,265	3,92



Şekil 4. 62: Plaxsis 2D programı ile Mohr-Coluomb yenilme kriteri yer değiştirme analiz sonuçları.



Şekil 4. 63: Plaxsis 2D programı ile Mohr-Coluomb yenilme kriteri güvenlik sayısı analiz sonuçları.

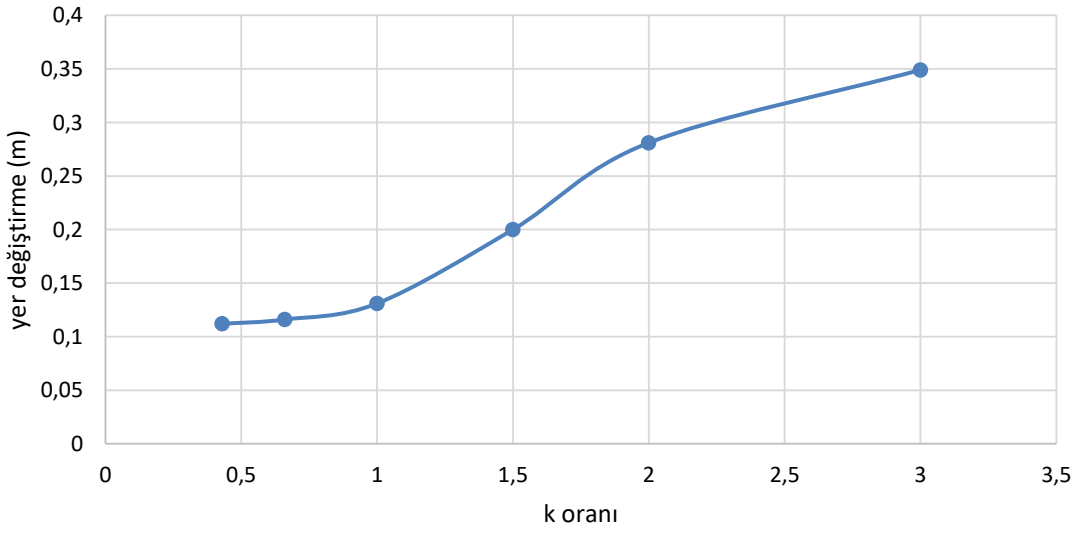
4.12.3.2 Plaxsis 2D Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri İle Hardering Soil Modeli Analiz Sonuçları

Plaxsis 2D programı kullanılarak rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri ve Mohr-Coluomb yenilme kriteri ile hardering soil zemin modeli kullanılarak analizler yapılmış ve analiz sonuçları aşağıda Tablo 4. 40 da verilmiştir.

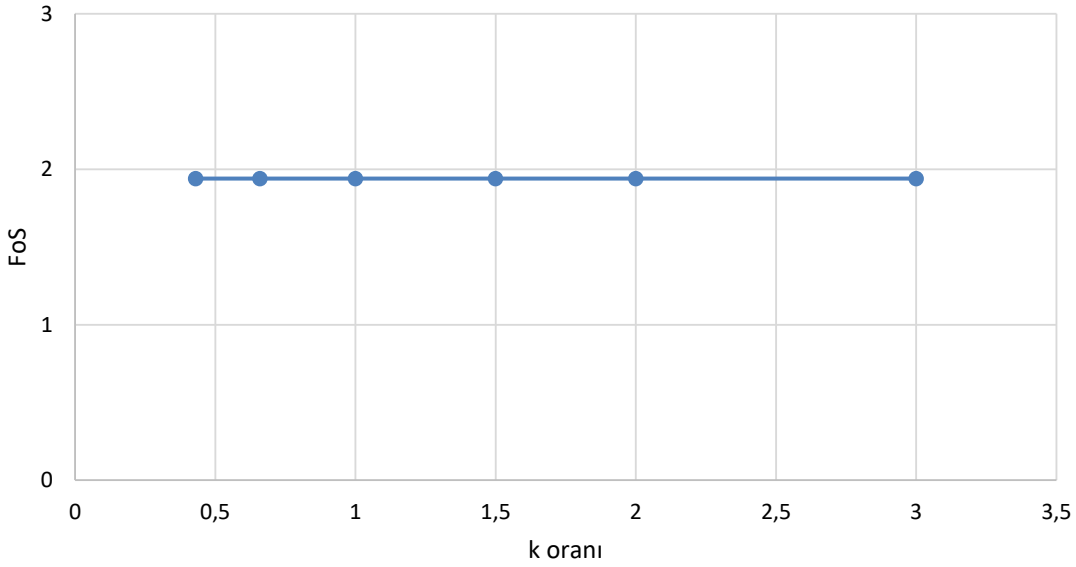
Tablo 4. 40: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan analiz sonuçları.

k oranı	Yer Değiştirme (m)	FoS
0,41	0,112	1,94
0,66	0,116	1,94
1	0,131	1,94
1,5	0,200	1,94
2	0,281	1,94
3	0,349	1,94

Aşağıda Şekil 4. 64 ve 4. 65 değerlendirildiğinde rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri ile yapılan analizler de k oranı arttıkça toplam yer değiştirme miktarlarının arttığı ancak güvenlik sayılarının değişmediği görülmektedir.



Şekil 4. 64: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan yer değiştirme analiz sonuçları.



Şekil 4. 65: Plaxsis 2D programı ile hardering soil modeli kullanılarak yapılan güvenlik sayısı analiz sonuçları.

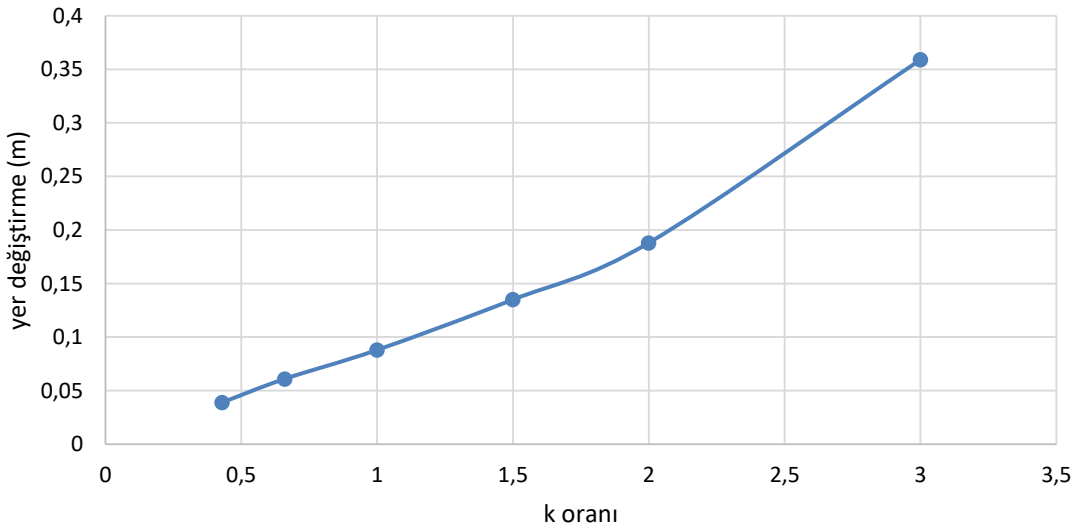
4.12.3.3 RS2 (Phase) Programı Kullanılarak Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri ile Analiz Sonuçları

RS2 (Phase) programı kullanılarak Mohr-coluomb Yenilme Kriteri ile yapılan analiz sonuçları aşağıda Tablo 4.41 de sunulmuştur.

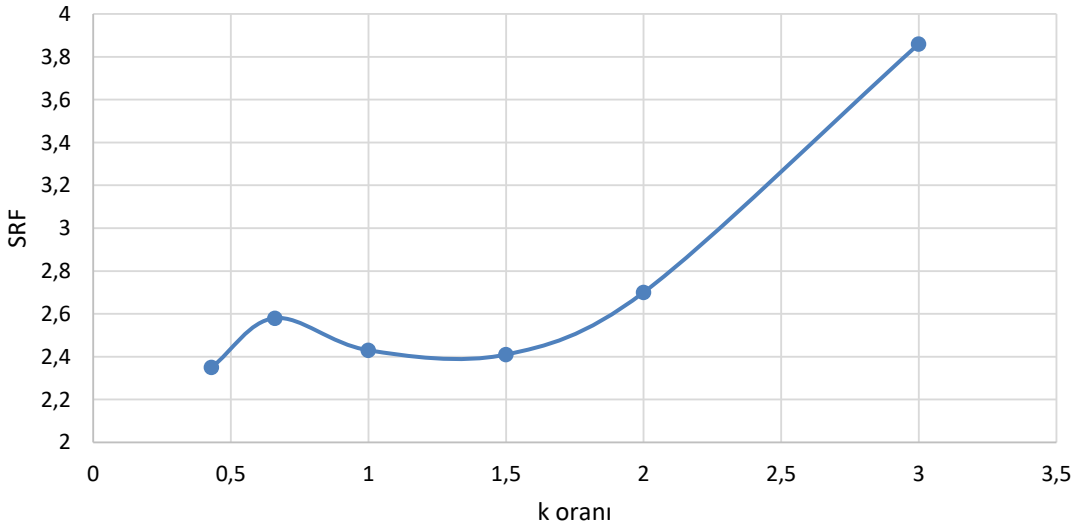
Tablo 4. 41: RS2 (Phase) Programı İle Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri Analiz Sonuçları.

k oranı	Yer Değiştirme (m)	SRF
0,41	0,039	2,35
0,66	0,061	2,58
1	0,088	2,43
1,5	0,135	2,41
2	0,188	2,70
3	0,359	3,86

Aşağıda Şekil 4. 66 ve 4. 67 değerlendirildiğinde yapılan analizler de k oranı arttıkça toplam yer değiştirme miktarlarının ve güvenlik sayılarının arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 66: RS2 (Phase) programı ile Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri kullanılarak yapılan yer değiştirme analizi sonuçları.



Şekil 4. 67: RS2 (Phase) programı ile Mohr - Coluomb Yenilme Kriteri kullanılarak yapılan güvenlik sayısı analizi sonuçları.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda inceleme alanının yer aldığı saha, Alt Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu'na ait Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi ve Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi ile onu yer yer örten Neojen yaşlı Belgrat Formasyonu ile güncel dere yatakları boyunca yayılım sunan alüvyonlardan oluşmaktadır.

Trakya Formasyonu, geçirdiği orojenezler nedeniyle çok fazla kırıklı çatlaklı bir yapı sunmaktadır. İnceleme alanında çok sayıda fay düzlemi ve kıvrım bulunmaktadır. Faylar genelde düşey ya da listrik faylardan oluşmaktadır. Kıvrımlar ise genelde tabakalarda küçük ölçekte antiklinal ve senklinal şeklinde oluşan ondülasyonlardan oluşmaktadır.

İnceleme alnındaki birimler hidrojeolojik açıdan değerlendirildiğinde geçirimsiz ve yarı geçirimli birimlerden oluşmaktadır. Belgrat Formasyonu yarı geçirimli, Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi ve Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesi ise geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır.

Yapılan petrografik analizler sonucunda kumtaşlarının genel olarak litik vake ve feldspatik vake türünde oluğu, kireçtaşlarının ise dolomitik kireçtaşı ve mikritik kireçtaşları olduğu belirlenmiştir.

Kumtaşlarındaki süreksizlikler genelde ortalama olarak 50 cm açıklıklı, 3 m devamlı, genelde kısmen açık, düz-az dalgalı, çoğunlukla ezik malzeme dolgulu, yer yer çok nadir sızıntı şeklinde su gelimi olan, küçük büyüklükte bloklardan oluşmaktadır. Kireçtaşlarındaki süreksizlikler ise genelde ortalama olarak 60 cm açıklıklı, 5 m devamlı, genelde kısmen açık, dalgalı-pürüzlü, çoğunlukla kalsit dolgulu, yer yer çok nadir sızıntı şeklinde su gelimi olan, orta-küçük büyüklükte bloklardan oluşmaktadır.

Taş ocaklarında üst kotlarda kalınlığı birkaç metreyi geçmeyen çok ayrışmış zonun altında kumtaşları genelde az ayrışmış-taze, orta derecede-çok sağlam dayanımlıdır, kireçtaşları ise genelde az ayrışmış-taze, sağlam-çok sağlam dayanımlıdır.

Sayısal analizler yapılırken süreksizliklerin bulunduğu kaya ortamında çalışıldığı için kaya ortamının süreksizlikleri ve süreksizlik özelliklerini ve kaya ortamın zayıflıkları da dikkate alınarak Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü analiz ölçütü olarak kullanılmıştır.

1.) Toplam yer değiştirme için yapılan sayısal analiz sonuçlarında;

❖ k oranı arttıkça k oranının artışına bağlı olarak toplam yer değiştirme miktarları kumtaşları için yaklaşık 15 cm den 1,5 m ye kadar kireçtaşları için ise yaklaşık 4 cm den 36 cm ye kadar olduğu tespit edilmiştir.

❖ Geometri, litoloji, süreksizliklerin durumu, kaya kütlesi vb. mühendislik özellikleri ve yenilme kriteri fark etmeksizin her koşulda k oranı arttıkça yer değiştirme miktarları artmaktadır. Bu durum Hoek ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışma ile de uyumludur. Hoek ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada Mohr-Coluomb yenilme kriteri kullanılmış ve k oranı arttıkça yer değiştirme miktarlarının arttığı ortaya konmuştur.

❖ Mevcut geometride yer değiştirme miktarlarının tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesinde süreksizlik içermeyen ve düşey faylı kaya kütlelerine kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Bunun iki nedenin olabileceği düşünülmektedir. Birincisi yer değiştirmelerin bir miktarının süreksizliklerin açıklıklarında sönümlendiği kalan miktarın ise kaya kütlesine yansıması olarak düşünülebilir. İkincisi ise süreksizlik parametreleri Mohr-Coluomb yenilme kriterleri ile belirlenmektedir. Süreksizlikler için Mohr-Coluomb yenilme kriteri tasarım parametrelerinin sayısal analizler yapılırken Hoek-Brown yenilme kriteri üzerinde olumlu bir etki yaratması olabilir. Bu iki durum için de detaylı araştırmalar yapılması gerekmektedir.

❖ Kireçtaşların da mevcut geometride yapılan örselenme zonu içeren ve örselenme zonu içermeyen modeller kıyaslandığında örselenme zonunun mevcut geometri için toplam yer değiştirmeler üzerinde etkisinin neredeyse olmadığı görülmektedir. Kaya kütlesi mevcut durumda duraylı olduğundan örselenme zonu yer değiştirmeye etki etmemiş olabilir. Bu konu da detaylı olarak araştırılmalıdır.

❖ Tasarım geometrisi için yapılan yer değiştirme analiz sonuçları değerlendirildiğinde süreksizlik içermeyen ve düşey faylı kaya kütlelerinde yer değiştirme miktarlarının k oranı arttıkça neredeyse aynı miktarda arttığı fakat tüm süreksizliklerin eklendiği modellerde sonuçların bu değerlerden farklı miktarlarda değiştiği görülmektedir.

❖ En büyük asal gerilmelerin ($\sigma 1$) k oranı arttıkça arttığı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde neredeyse diğer modellere kıyasla 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak en küçük asal gerilmelerin ($\sigma 3$), süreksizlik içermeyen ve düşey faylı kaya kütlelerinde k oranı

1 den büyük olduğu durumlarda, arttıkça sabit kaldığı tüm süreksizlikleri içeren modelde ise neredeyse 2 kat arttığı gözlemlenmektedir.

2.) Güvenlik sayısı için yapılan sayısal analiz sonuçlarında;

❖ Her iki litoloji biriminde yapılan analizler sonucunda geometrileri fark etmeksizin her koşulda şevler duraylı durumdadırlar.

❖ Her iki litoloji birimi içinde yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde, her iki geometri içinde süreksizlik içermeyen kaya kütlesinden, düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesine geçişte, güvenlik sayılarının giderek azaldığı belirlenmiştir. Bu durum süreksizliklerin geometriden bağımsız olarak güvenlik sayılarını azalttığını ortaya koymaktadır.

❖ Her iki litoloji birimi içinde tasarım geometrilerinde, düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlelerinde, mevcut geometriye kıyasla, güvenlik sayılarının tasarım geometrilerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum şev duraylılığı çalışmalarında uygun olarak tasarlanan, tasarım geometrilerinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

❖ Her iki litoloji birimi içinde tüm jeolojik koşullar için k oranının 1 den büyük olduğu durumlarda k oranı arttıkça güvenlik sayılarının da arttığı gözlemlenmektedir.

3.) Depremli güvenlik sayısı için yapılan sayısal analiz sonuçlarında;

❖ Her iki litoloji birimi içinde depremli güvenlik sayıları değerlendirildiğinde geometri fark etmeksizin süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modellerinde, düşey faylı ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerine kıyasla depremli güvenlik sayılarının biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

❖ Her iki litoloji birimi içinde depremli güvenlik sayıları değerlendirildiğinde Faylı modellerde k oranı arttıkça depremli güvenlik sayılarının nispeten süreksizlik içermeyen ve tüm süreksizlikleri içeren kaya kütlesi modellerine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum için yataydan gelen deprem ivmesinin, yatay gerilme bileşeni ile birlikte düşey faylar üzerinde olumsuz bir etki yaptığı söylenebilir. Deprem ivmesinin neden sadece düşey fayların olduğu geometrilere daha olumsuz etki yarattığının daha kapsamlı araştırılması gerekmektedir.

❖ Her iki litoloji birimi içinde k oranı arttıkça en büyük asal gerilmeler (σ_1) ve en küçük asal gerilmelerin (σ_3) arttığı görülmektedir.

4.) Mohr-Coluomb Yenilme Kriteri İle Yapılan Doğrulama Analizleri değerlendirildiğinde;

❖ Plaxis 2D programında kireçtaşları için mevcut geometride sadece kaya kütle özellikleriyle yapılan analizlerde, artan k oranına bağlı olarak yer değiştirme değerlerinin arttığı fakat güvenlik sayısı değerlerinin sabit kaldığı görülmektedir.

❖ Doruk kaya kütlesi parametreleri ile toplam yer değiştirme miktarının 10 cm den 27 cm kadar olduğu rezidüel kaya kütlesi parametreleri ile ise 11 cm de 35 cm e kadar olduğu görülmektedir.

❖ RS2 programı ile yapılan analizlerde k oranı arttıkça yer değiştirme ve güvenlik sayısı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Toplam yer değiştirme miktarının 4 cm den 36 cm kadar olduğu görülmektedir.

❖ RS2 programı ile kireçtaşlarında mevcut geometride süreksizlik içermeyen kaya kütlesi modelinde yapılan analizlerde, yenilme kriteri fark etmeksizin k oranı arttıkça yer değiştirme değerlerinin arttığı ve her k oranı için hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş, 1963, İstanbul Boğazı doğusunda mostra veren Paleozoyik arazide stratigrafik ve paleontolojik yeni müşahedeler. MTA Dergi., 60, 1-6, Ankara.

Aysal, N., Keskin, M., Peytcheva, I., Duru, O., 2017, Geochronology, geochemistry and isotope systematics of a mafic-intermediate dyke complex in the İstanbul Zone, New constraints on the evolution of the Black Sea in NW Turkey. Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464 p.,

Aysal, N., Keskin, M., Peytcheva, I., Duru, O., Akgündüz, S., 2015, Geochronology, *Geochemistry and isotope systematics of a maficintermediate dyke complex in The Istanbul Zone,* Northern Turkey, Goldschmidt2015, 155.

Baykal, A. F. ve Kaya, O., 1963. İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi, MTA Dergisi 61, Ankara

Cai, M., Kaiser, P. K., Tasaka, Y., Minami, M., 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44, 247-265

Can, Y., 2012, Taşlıtepe açık işletmesinde jeo-mekanik parametrelerin belirlenmesi ve şev stabilitesi çalışmaları, Doktora, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Yurtsever, A., ve Çağlayan M. A., 1/100000 ölçekli açınsama nitelikli, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, İstanbul-F21 ve G 21 (kısmen) Paftası. Ankara Türkiye

Er, S., Yılmaz, M., Ertin, A., Tugrul, A. ve Tokgöz, N., 2017, Assessment of excavatability abrasivity and slope stability in a sandstone quarry in İstanbul Turkey, *Journal Geologıcal Socıety Of Indıa,*89(5), 581-588

Eroskay, S. O., 1978, Kocaeli Yarımadası Güneyindeki Kireçtaşlarının Hidrojeolojisi ve Karst Parametrelerinin Analizi, İ.Ü. Yerbilimleri Fakültesi, TUBİTAK TBAG-124 Projesi

Fukushima, Y., Tanaka, T., 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. Bulletin of the Seismological Society of America, 80, 757-783.

Goodman, R.E., 1980. Introduction to Rock Mechanics. Wiley, New York.

Gözübol A.M., Aysal N., "Cebeciköy Kireçtaşı Ocaklarında Litolojik Ve Yapısal Kökenli İşletme Sınırları.", İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, cilt.21, ss.25-35, 2008

Griffiths, D. V. ve Lane, P. A., 1999, Slope stability analysis by finite elements, Geotechnique, 49 (3), 387-403.

Gutsuz P., Akyüz H., ve Sunal G., 2009, İstanbul Zonu'nun Yapısal Evrimine Dair Bir Ön Çalışma, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 494, Ankara.

Hack, R., Alkema, D., Kruse G. A. M., Leenders, N. ve Luzi, L., 2007, Influence of earthquakes on the stability of slopes, Engineering geology, 91 (1), 4-15.

Herget, G., 1987. Stress assumptions for underground excavations in the Canadian shield. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 24, 95-97.

Hoek, E., Brown, E.T., 1980. Underground Excavation in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, London, UK.

Hoek, E., 1995, Strentgh of rock and rock masses, ISRM News Journal, 2, 2, pp 4-16.

Hoek, E., Carranza Torres, C., Corkum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition.

Hoek, E., Diederichs, M. S., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, pp 203-215.

Hoek, E. ve Brown, E. T., 1997, Practical estimates of rock mass, International journal of rock mechanics and mining sciences, 34 (8), 1165-1186.

Hoek, E., 2012, Blast Damage Factor D, Technical note for RocNews.

Hoek, E., Carter, T. G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, 47th Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA, USA June 23-26

ISRM, International Society for Rock Mechanics, 1981, Rock Characterization, Testing and Monitoring_ISRM Suggested Methods, ET Brown (ed.), Pergamon Press, Oxford.

Karaman K., 2013, Kaya şev duraylılığının farklı yöntemlerle değerlendirilmesi (Ünye,Ordu), Jeoloji mühendisliği dergisi, 37 (1), 27-47.

Kaya, O., 1971. İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, Ege Üniversitesi, Doktora Tezi Fen Fakültesi Jeoloji Kürsüsü, İzmir.

Kaya, O. ve Lys, M., 1980, İstanbul Boğazının Batı Yakasında (Kilyos) Yeni Bir Triyas Bulgusu, M.T.A. Dergisi 93/94, 20-26, Ankara

Ketin, İ ve Güner, G., 1989. İstanbul Bölgesinde Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu'nun Yapısal Özelliği, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 11, 13-18

Kömürlü, E., 2012, Kaya ve Taneli Malzemelerde Yanal Gerilmelerin Tahkimat Tasarımı Üzerindeki Etkileri, Yüksek lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Lim, H.-U., Lee, C.-I., 1995. Fifteen years' experience on rock stress measurements in South Korea. In: Proceedings International Workshop on Rock Stress Measurements at Great Depth, Tokyo, Japan, pp. 7-12.

Lorig, L. and Varona, P. (2001) Practical Slope stability analysis using finite-difference codes. In: Slope Stability in Surface Mining, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, pp.115-24.

Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., 2005, The geological strength index: applications and limitations, Bull. Eng. Geol. Environ, 64, pp 55-65.

MULLER, L. The European approach to slope stability problems in open pit mines. Proc. 3rd Symposium on Rock Mechanics. Colorado School of Mines Quarterly, Vol. 54, No. 3, 1959, pages 116-133

OKAY, A.I., ŞENGÖR, A.M.C. VE GÖRÜR, N. 1994, The Black Sea, Kinematic history of opening and its effect on the surrounding regions Geology, 22, 367-270.

Okay, A. I., Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of Northern Turkey, In: B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath and M. Seranne (eds) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen, Geological Society [London] Special Publication 156, pp 475-515.

Okay, A. I., Bozkurt, E., Satır, M., YiğitbaĢ, E., Crowley, Q. G. ve Shang, C. K. (2008). Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. Tectonophysics, 461, 252-264.

Özgül, N., 2011, *Stratigraphy and some structural features of the İstanbul palaeozoic*, Turkish Journal of Earth Sciences, 21, 817-866.

ÖNALAN, M., 1981, İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen İstifinin Çökelme Ortamları, İstanbul Yerbilimleri Derg., c. 2, 3-4, 161-177.

Özgül, N., Özcan, İ., Akmeşe, İ., Üner, K., Bilgin, İ., Korkmaz, R., Yıldırım, Ü., Yıldız, Z., Akdağ, Ö., Tekin, M., 2011, İstanbul İl Alanının Jeolojisi, İBB, 305 s.

Özvan, A., Dinçer, İ., Gökoğlu, A. ve Sevimli, U.İ., 2010, Kaya kütle özelliklerinin şev tasarımına etkisi (Kahramanmaraş-Gaziantep devlet yolu), İstanbul yerbilimleri dergisi, 23 (1), 1-8.

Pine, R.J., Kwakwa, K.A., 1989. Experience with hydrofracture stress measurements to depths of 2.6 km and implications for measurements to 6 km in the Carnmenellis granite. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26, 565-571.

Read, J. and Keeney, L. (2009) Chapter 3, Geological Model, Guidelines for Open Pit Slope Design, J. Read and P. Stacey (eds), CRC Press/Balkema, The Netherlands, pp. 53-67.

Sheorey, P.R., 1994. A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 31, 23-34.

Sogore, D., 2018, Slope stability of the open pıts-rock, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi

Soren, K., Budi, G. Ve Sen P., 2014, Stability analysis of open pit slope by fınıte dıfference method. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(5), 326-334.

Taşkıran, T., Yavuz, V. S., Keskin, M. S., 2015. Şev Stabilitesinin İki ve Üç Boyutlu Modeller ile incelenmesi, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Dergisi, Diyarbakır, Sayı 1, 1-8s.

Terzaghi, K., Richard, F.E., 1952. Measurement of stresses in rock. Geotechnique 12, 105-124.

Tuncay, E. ve Ulusay R., 2000, Süreksizlik denetimli şev duraysızlıklarının değerlendirilmesinde olasılığa dayalı kinematik analiz yaklaşımı ve bir uygulama, Yerbilimleri, 22 (2000), 205-222.

Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., Özcan, İ., Sarıkaya H. Ve Saraç G., 1984 Tekirdağ ili - Silivri - Pınarhisar alanının jeolojisi, M.T.A. Rap. No:7349, Ankara

Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2. Baskı, Ankara, ISBN: 975-395-466-2, s.14-163,256

Vasarhelyi, B. 2009. A Possible Method for Estimating the Poisson's Rate Values of the Rock Masses. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, 44(3), 313-322.

Wyllie, D. C., 1999. Foundation on Rock, 2nd edn., Taylor and Francis, London, UK, 401

Wyllie, D.C. and Mah, C.W., 2004. Rock Slope Engineering Civil and Mining, pp. 4-21, pp. 153-175, Spon Pres, New York.

Yalçınlar, İ., 1951. İstanbul Civarının Paleozoik Arazisine Dair Yeni Müşahedeler, T. Jeol. K.Bült. V. III, 1, 125-129, Ankara

Yılmaz M., Ertin A., Er. S. ve Tugrul, A., 2018, Numerical modelling of steep slopes in open rock quarries, *Journal Geological Society of India,* 91(2), 232-238.

https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi

https://www.plaxis.com/

https://www.rocscience.com/software/rocdata

https://www.rocscience.com/software/RS2

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ramazan Haslet DİLLİ
Doğum Yeri	İSTANBUL
Doğum Tarihi	30.05.1990
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	+90 546 643 50 00
E-Posta Adresi	hasletdilli@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	MÜHENDSİLİK FAKÜLTESİ
Bölümü	JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
Mezuniyet Yılı	2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği Programı